

REVISTA MEXICANA DE FITOPATOLOGÍA

MEXICAN JOURNAL OF PHYTOPATHOLOGY

Fully Bilingual

COVID-19 y FITOSANIDAD

Editores:

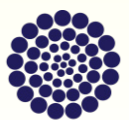
Gustavo Mora Aguilera

Norma Ávila Alistac

Graciela Ávila Quezada

Patricia Rivas Valencia

Número Especial
Volumen 39(4) 2021



CONACYT



Editoras(es) de Número Especial * Editors the Special Number

Dr. Gustavo Mora Aguilera, COLPOS
Dra. Norma Ávila Alistac, UACH
Dra. Graciela Avila Quezada, UACH
Dra. Patricia Rivas Valencia, INIFAP

Editoras(es) Revisión Número Especial * Review Editors the Special Number

Dr. Daniel Teliz Ortíz, COLPOS
Dr. Hipolito Cortez Marigal, IPN
Dr. Antonio Mora Aguilera, COLPOS
Dr. Sergio Ramírez Rojas, INIFAP
Dr. Sergio de los Santos Villalobos, ITSON
Dra. Irasema del Carmen Vargas Arispuro, CIAD
M.C. Gerardo Acevedo Sánchez, LANREF-COLPOS

Editor en Jefe * Editor in Chief

Dr. Gustavo Mora Aguilera, COLPOS

Editora Técnica * Technical Editor

Dra. Norma Ávila Alistac, UACH

Composición Web y RMFito * Web and RMFito Composition

M.C. Eduardo Guzmán Hernández, LANREF, COLPOS
M.C. Oscar Eder Flores Colorado, LANREF, COLPOS

Editoras Adjuntas * Senior Editors

Dra. Silvia Bautista Baños, IPN
Dra. Graciela Dolores Ávila Quezada, UACH
Dra. Sylvia Patricia Fernández Pavía, UMSNH
Dra. Irasema del Carmen Vargas Arispuro, CIAD

Comité Editorial Internacional * International Editorial Advisory Board

Dr. Rodrigo Valverde, LSU AgCenter, USA
Dr. Sami Jorge Micheref, UFCA, Brasil
Dr. Miguel Dita Rodríguez, EMBRAPA, Br.
Dr. Vicente Febres, UF, USA

Diseño portada: Composición del cultivo de agave (*Agave tequilana*) (superior), 'La cosecha roja' de Vicent Van Gogh (inferior) y *Aspergillus-virus* COVID-19 (centro).

Créditos de diseño: Mora-Gutiérrez M, Acevedo-Sánchez G, Mora-Aguilera G and Ávila-Alistac N.

FOREWORD * PRÓLOGO	I
Álvarez-Buylla Roces ME, Conacyt	
COVID-19 Pandemic: A plant health vision of a multidimensional problem * Pandemia	1
COVID-19: Una visión desde la fitosanidad a un problema multidimensional. Mora-Aguilera G, Ávila-Alistac N and Acevedo-Sánchez G.	
Section 1. COVID-19: THE VIRUS, DISEASE AND EPIDEMIOLOGY * COVID-19: EL VIRUS, ENFERMEDAD Y EPIDEMIOLOGÍA	
COVID-19 in the International Year of Plant Health * COVID-19 en el año Internacional de la Sanidad Vegetal.	59
Gutiérrez-Samperio JJ.	
My name is Bernardino Cruces, 85 year-old, I am a farmer * Mi nombre es Bernardino Cruces, tengo 85 años, soy productor.	63
Cruces-Pedraza B.	
Basic Coronavirus biology and vaccines for COVID-19 * Biología básica del Coronavirus y vacunas para COVID-19.	69
García-Ruiz H, LaTourrette K and García-Ruiz MT.	
A retrospective analysis of plant and human epidemics for COVID-19 comprehension * Un análisis retrospectivo de epidemias en plantas y humanos para comprender COVID-19.	88
Mora-Aguilera G and Acevedo-Sánchez G.	
Analysis of chronic diseases associated to SARS-CoV-2 infection in children and young people in Mexico * Análisis de enfermedades crónicas asociadas a la infección de SARS-CoV-2 en niños y jóvenes de México.	181
Álvarez-Maya I, Mora-Aguilera G and Acevedo-Sánchez G.	
Can food be a risk factor in the transmission of SARS-CoV-2? * ¿Pueden los alimentos ser un factor de riesgo en la transmisión del SARS-CoV-2?	193
Vargas-Arispuro I, Martínez-Téllez MA, Sáenz-Hidalgo HK, Mora-Aguilera G, Orduño-Cruz N and Avila-Quezada GD.	
Chlorine and its importance in the inactivation of bacteria, can it inactivate viruses? * El cloro y su importancia en la inactivación de bacterias, ¿Puede inactivar virus?	198
Muñoz-Castellanos LN, Borrego-Loya A, Villalba-Bejarano CV, González-Escobedo R, Orduño-Cruz N, Villezcas-Villegas GP, Rodríguez-Roque MJ, Avila-Quezada GD and Vargas-Arispuro I.	

Potential of citrus extract as disinfectant in SARS-CoV-2 prevention * Potencial de extracto de cítricos como desinfectante en la prevención de SARS-CoV-2. 207
Schneegans-Vallejo N, López-Guerrero V, Martínez-Ramírez OC, Ramos-García ML, Guillén-Sánchez D and Rivas-Valencia P.

Section 2. COVID-19 AND AGROFOOD SECURITY * COVID-19 Y SEGURIDAD AGROALIMENTARIA

Economy of the mexican agriculture sector in times of COVID-19 * Economía del sector agrícola mexicano en tiempos COVID-19. 218
Rivas-Valencia P, Rosales-Rivas LA, Ávila-Quezada GD and Martínez-Martínez TO.

Microbial genetic resources in food security to face COVID 19 pandemic * Recursos genéticos microbianos en la seguridad alimentaria ante la pandemia COVID-19. 233
Zelaya-Molina LX, de los Santos-Villalobos S, Chávez-Díaz IF and Córdova-Albores LC.

Benefic organisms in agricultural crops: Towards a safety and healthy food in response to COVID-19 and future syndemics * Organismos benéficos en cultivos agrícolas: Hacia una producción de alimentos sanos e inocuos en respuesta a COVID-19 y futuras sindemias. 261
Samaniego-Gaxiola JA.

Mexican native varieties and plant health in the context of COVID-19: The case of *Solanum lycopersicum* * Variedades nativas mexicanas y fitosanidad en el contexto del COVID-19: Caso *Solanum lycopersicum*. 282
Cortez-Madrigal H, Nord R and Villar-Luna E.

Changes in the research conduction on agro-biotechnology due to COVID-19: The case of LBRM-COLMENA Research Node * Cambios en la conducción de investigación en agro-biotecnología debido a la enfermedad de COVID-19: El caso del Nodo de Investigación LBRM-COLMENA. 293
Ayala-Zepeda M, Díaz-Rodríguez AM, Ahumada-Flores S, Parra-Cota FI and de los Santos-Villalobos S.

Section 3. PLANT HEALTH AND COVID-19 * FITOSANIDAD Y COVID-19

The serial and generation intervals from SARS-CoV-2 transmission dynamics and their potential application in the epidemiology of two citrus diseases * Los intervalos serial y de generación de la dinámica de transmisión de SARS-CoV-2 y su aplicación potencial en la epidemiología de dos enfermedades de los cítricos. 307
Pérez-Hernández O, Sautua F, Domínguez-Monge S, Góngora-Canul CC and Carmona M.

- Perspectives of integrated pest management in CDMX urban agriculture and impacts of SARS-CoV-2 health emergency** * Perspectivas del manejo integrado de plagas en la agricultura urbana CDMX e impacto de la emergencia sanitaria SARS-CoV-2. Cuevas-Castilleja J, Martínez-Luz A, López-Arzate MA, Ramírez-García IA, Mora-Aguilera G and Ávila-Alistac N. 328
- Tomate (*Solanum lycopersicum*) production and bacterial canker management during COVID-19** * Producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*) y manejo del cancro bacteriano durante COVID-19. Reyes-Tena A, Fernández-Pavía SP and Hernández-Macías B. 351
- Effect of COVID-19 on the phytosanitary condition and commercialization of avocado in Jalisco** * Efecto de COVID-19 en la fitosanidad y comercio del aguacate en Jalisco. Castañeda-Cabrera C, Perales-Segovia C, Miranda-Salcedo MA and González-Gaona E. 362
- COVID-19 impacts on the guava crop production system in Calvillo, Aguascalientes, Mexico** * Impacto de COVID-19 en el sistema de producción del Guayabo en Calvillo, Aguascalientes, México. González-Gaona E, Padilla-Ramírez JS, Perales-Segovia C, Castañeda-Cabrera C and Miranda-Salcedo MA. 372
- Section 4. TEACHING AND RESEARCH DURING CONFINEMENT * DOCENCIA E INVESTIGACIÓN DURANTE EL CONFINAMIENTO**
- Brief teaching experience facing COVID-19** * Breve experiencia docente ante el COVID-19. Zamora-Macorra EJ. 384
- Research challenges during the COVID-19 pandemic: The experience of a functional genomics laboratory** * Desafíos de investigación durante la pandemia COVID-19: La experiencia de un laboratorio de genómica funcional. Manoj-Kumar A. 387
- Reflections on the scientific research carried out in Mexico during the COVID-19 pandemic** * Reflexiones sobre el desarrollo de la investigación científica mexicana durante la pandemia COVID-19. Santoyo G. 389
- Phytopathology teaching during COVID-19: UNA Costa Rica case** * La enseñanza de la Fitopatología en tiempos de COVID-19: Caso UNA Costa Rica. Calvo-Araya JA. 397

Teaching and research in plant health in times of COVID-19 * La enseñanza e investigación en fitosanidad en tiempos de COVID-19. Solano-Báez AR, Lara-Rojas F and Márquez-Licona G.	410
Challenges of COVID-19 pandemic: The postgraduate case in Sustainable Management of Natural Resources - UIEP * Desafíos en tiempos de COVID-19: El caso del posgrado en Manejo Sustentable de Recursos Naturales - UIEP. Fajardo-Franco ML and Aguilar-Tlatelpa M.	421
COVID-19: Threat or ally in the teaching-learning process in phytopathology? * ¿COVID-19: Amenaza o aliado de la enseñanza-aprendizaje en Fitopatología? Granados-Montero MM.	426
Section 5. COVID-19 STUDENT VISION * LA VISIÓN COVID-19 DEL ESTUDIANTE	
My interest for agriculture and COVID-19 emotions as graduate student * Mi interés por la agricultura y emociones por COVID-19 como estudiante de postgrado. González-Cruces A.	432
Consequences of COVID-19 on my experiment of gene overexpression in beans * Consecuencias de COVID-19 en mi experimento de sobreexpresión de un gen en frijol. González-Meléndez SS.	435
COVID-19 effects on my social and family life as student * Efecto de COVID-19 en mi vida social y familiar como estudiante. de la Hoz-Ruiz G.	437
Toward COVID-19 we all have our stories, this is mine * Ante COVID-19 todos tenemos diferentes historias. Esta es la mía. García-Reynoso JA.	439
The pandemic and the lost dreams of a junior engineer * La pandemia y los anhelos ahogados de un ingeniero recién egresado. Villalobos-Camacho JR.	442
COVID-19 impact on UAT postgraduate students * Impacto del COVID-19 en alumnos de Postgrado de la UAT. Rubio-Tinajero S and Zapata-Contreras J.	446

FOREWORD

Conacyt and COVID-19: Commitment of our scientific communities towards society

Dra. María Elena Álvarez-Buylla Roces

Directora General

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt)

After more than thirty years of neoliberal governments and policies, Mexico is at a historic junction. Humanistic, scientific, and technological development and innovation (HCTI) research models need to change, and all the sectors involved must be advocated for participation in the productive transformation of the nation. This transformation must appeal to and include public and private higher education institutions, research centers, and public sector institutions at the federal, state, and municipal levels, as well as civil society organizations, companies, and local and regional communities willing to responsibly support humanistic, social, scientific and technological development research endeavors.

The SARS-CoV-2 pandemic has made many more Mexican men and women understand that the proposed changes are possible and that they cannot be postponed. In the response of the different HCTI communities to the pandemic in Mexico, research, technological development, and public education efforts have addressed the biological factors of the disease and its contagion dynamics to develop suitable epidemiological mitigation mechanisms. It has also become imperative that these efforts address the structural causes and ramifications of the pandemic. This should involve making visible and addressing, among other things, the pre-existing chronic diseases that aggravate the effects of the pandemic among the Mexican population; the inequality and social exclusion that create differentiated conditions of health vulnerability; the relationship between these inequalities and the colonial, capitalist and patriarchal regime in which we live; the voracious relationship that modern human beings have established with the Earth; and connections between corporate food production systems and the dissemination of new microorganisms and viruses that affect the ecological balance between different populations. To succeed on the HCTI sector efforts, it is crucial to establish effective communication channels between different types of knowledge so that it becomes possible to link new advances in scientific and humanistic research with traditional knowledge and, in this way, find long-term solutions to the human being community problems. Opening these communication channels would enhance the possibility of collectively building routes towards a more just and healthy future.

In 2020 and 2021, the National Council of Science and Technology (Conacyt) challenged the Mexican HCTI community and other actors to undertake or intensify their efforts in assuming the social responsibility of their work to face COVID-19. The enthusiastic response resulted in various curative and preventive health actions such as the production of sanitizing gel for public hospitals; the manufacture of respirators and ventilators; the development of the first stages of the Patria vaccine; the use of data science and artificial intelligence for epidemiological modeling and decision-making in the Health Sector; clinical

trials and tests of new drugs; a special postdoctoral program in medicine; the call for national research proposal for COVID-19 (Pronaii); and development of the National Network of Laboratories for COVID-19 analysis. Before and during the pandemic, a cluster of Conacyt programs and calls have provided to HCTI community the opportunity to act on the structural causes of the high vulnerability of the Mexican population to this and other pandemics. Conacyt will continue on this effort. In particular, to support systemic research on how the hegemonic model of ecosystem transformation and food production, distribution, processing, and consumption, increases this vulnerability. Conacyt has launched calls for research proposals under the National Strategic Programs for Water; Toxicities; Socio-Ecological Systems; Health; and Food Sovereignty. It has also called for proposal for Development of Technological Innovations for a Mexican Agriculture Free of Agro-toxic supplies; for Science Frontier Research; and for Universal Access to Knowledge.

Conacyt welcomes the publication of this Special Issue, volume 39(4), of the *Mexican Journal of Phytopathology*, entitled '**COVID-19 and Plant Health**', and congratulates both, the editors for this timely initiative and the members of the *Mexican Society of Phytopathology* that responded to the journal request. This Special Issue examines the relationship between COVID-19 and Plant Health activities and disciplines from different perspectives, all of them relevant and interconnected, some unusual and very opportune. This issue will allow readers to develop a more holistic and integrative understanding of the pandemic and the problems associated with it by focusing on six key areas: **1.** It addresses and answers basic questions of the readers: what is COVID-19 and SARS-CoV-2; how it has affected the health and labor activities of the population (especially among young and small farmers); what are the common features of plant crop and human epidemiology and what can they learn from each other in terms of theory and practical actions during the current pandemic; **2.** It shows how social measures taken to reduce the contagion risk have affected the production, national and international distribution and consumption of agricultural products, both in general and in specific crops; **3.** It highlights the importance of recovering the native germoplasm, the farmer's agricultural practices and knowledge, agroecological control of pests and diseases, local rural food consumption, and urban agriculture, to face the supplies dependency and fragility of corporate agri-food circuits; **4.** It indicates why agricultural production using non-toxic phytosanitary practices and a healthy diet are crucial for reducing the incidence of morbidities that lead to fatal outcomes due to SARS-CoV-2; **5.** It reports the challenges of practicing plant health teaching and professional practice under confinement and social distancing conditions, and celebrates the didactic creativity and adaptability shown by the academic plant health community; **6.** It provides a channel for students of phytopathology and related disciplines to talk to us about the challenges and uncertainties they have had to face during the pandemic, as well as the lessons, the paradigm shifts, and the new tasks that this historical moment has presented to them.

Conacyt hopes that initiatives analogous to this Special Issue multiply so that the HCTI scientific communities become increasingly involved in the development of solutions to the most pressing national problems.

Mexico City
November 10, 2021



PRÓLOGO

Conacyt y COVID-19: Compromiso de nuestras comunidades científicas con la sociedad

Dra. María Elena Álvarez-Buylla Roces
Directora General
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt)

Después de más de treinta años de gobiernos y políticas neoliberales, México está en una encrucijada histórica. Necesita transformar sus modelos de investigación humanística, científica y de desarrollo tecnológico e innovación (HCTI), y convocar a todos los sectores involucrados a participar en el cambio fructífero de la vida nacional. Esta transformación debe atraer e incluir a las instituciones de educación superior públicas y privadas, a los centros de investigación e instituciones del sector público de los ámbitos federal, estatal y municipal, y a las organizaciones de la sociedad civil, las empresas y las comunidades locales y regionales dispuestas a apoyar con responsabilidad las actividades de investigación humanística, social, científica o de desarrollo tecnológico.

La pandemia de SARS-CoV-2 ha hecho que muchas mexicanas y mexicanos comprendan que los cambios planteados son posibles e impostergables. En cuanto a las respuestas de las comunidades de HCTI a la pandemia en México, ha sido necesario que los esfuerzos de investigación, desarrollo de tecnologías y educación pública atiendan a los factores biológicos de la enfermedad y a sus dinámicas de propagación para generar mecanismos idóneos de control epidemiológico. Simultáneamente, se ha vuelto indispensable que estos esfuerzos se ocupen también de las causas estructurales y las ramificaciones de la pandemia. Esta actividad debe visibilizar y atender, entre otros aspectos, las enfermedades crónicas preexistentes en México que agravan el problema; la desigualdad y la exclusión social que derivan en situaciones diferenciadas de vulnerabilidad sanitaria; la relación entre estas desigualdades y el régimen de colonialismo, capitalismo y patriarcado en el que vivimos; la relación voraz que el ser humano moderno ha establecido con la Tierra; las conexiones entre los sistemas corporativos de producción de alimentos y el avance de nuevos microorganismos y virus que comprometen el equilibrio entre distintas poblaciones dentro de los ecosistemas. Para que estos esfuerzos del sector HCTI fructifiquen, es fundamental establecer canales de diálogo entre distintos tipos de conocimiento que permitan vincular los saberes tradicionales con los nuevos avances de la investigación científica y humanística y, de esta manera, encontrar soluciones a largo plazo para los problemas que nos aquejan. Este intercambio abre la posibilidad de construir colectivamente rutas para avanzar hacia la edificación de un futuro más justo y sano.

En 2020 y 2021, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) convocó a las comunidades mexicanas de HCTI y a otros actores a emprender o redoblar estos esfuerzos propios de su quehacer y responsabilidad social para enfrentar la amenaza de COVID-19. La respuesta entusiasta permitió acciones sanitarias curativas y preventivas como la producción de gel sanitizante para hospitales públicos; la manufactura de respiradores y ventiladores; el desarrollo de las primeras etapas de la vacuna Patria; la

ciencia de datos e inteligencia artificial para el modelamiento epidemiológico y la toma de decisiones del Sector Salud; los ensayos y pruebas clínicas de medicamentos; la convocatoria especial para estancias posdoctorales en medicina; los proyectos nacionales de investigación e incidencia (Pronaii) para COVID-19; la Red Nacional de Laboratorios para análisis del COVID-19. Antes y durante la pandemia, varios programas y convocatorias del Conacyt han dado y seguirán dando oportunidad a las comunidades HCTI para actuar sobre las causas estructurales de la alta vulnerabilidad de la población mexicana a esta y otras pandemias, y en particular a visibilizar cómo se incrementa el riesgo con el modelo hegemónico de transformación de ecosistemas y de producción, distribución, procesamiento y consumo de alimentos. Destacan las convocatorias de los Programas Nacionales Estratégicos de Agua, de Toxicidades, de Sistemas Socio-Ecológicos, de Salud, de Soberanía Alimentaria; la Convocatoria para Desarrollo de Innovaciones Tecnológicas para una Agricultura Mexicana Libre de Agro-insumos Tóxicos; las Convocatorias de Ciencia de Frontera y de Acceso Universal al Conocimiento.

El Conacyt saluda la publicación de este Número Especial, volumen 39(4), de la *Revista Mexicana de Fitopatología*, titulado '**COVID-19 y Fitosanidad**' y felicita tanto a su cuerpo editorial por esta iniciativa acorde con los tiempos, como a las y los miembros de la *Sociedad Mexicana de Fitopatología* que atendieron su convocatoria. Aquí se analiza la relación entre COVID-19 y la fitosanidad desde distintas perspectivas, todas relevantes e interconectadas, algunas inusuales y muy oportunas, que permite a las y los lectores forjar un entendimiento más holístico e integrador a partir de seis enfoques: **1.** Revisa y resuelve interrogantes básicas del lector: Qué es COVID-19 y SARS-CoV-2; cómo ha afectado la salud y al quehacer de la población (y de manera especial a la población joven y a pequeños agricultores); Qué tienen en común la epidemiología agrícola y humana y lo que pueden aprender una de otra en esta pandemia en términos de teoría y acción práctica; **2.** Presenta cómo las medidas sociales para reducir el contagio han impactado la producción, la distribución nacional/internacional y el consumo de productos agrícolas, en lo general y con referencia a algunos cultivos específicos; **3.** Destaca la relevancia del rescate de germosplasma nativo, las prácticas agrícolas campesinas, el control agroecológico de plagas y enfermedades, el consumo rural local y la agricultura urbana, frente a la dependencia de insumos y por tanto fragilidad de los circuitos agroalimentarios corporativos; **4.** Señala porqué la producción con prácticas fitosanitarias no tóxicas y una alimentación sana son fundamentales para reducir las morbilidades que conducen a desenlaces fatales por SARS-CoV-2; **5.** Reporta los retos de ejercer la enseñanza y la práctica profesional fitosanitaria desde el confinamiento y la distancia social, y celebra la creatividad didáctica y capacidad de adaptación que está mostrando esta comunidad; y **6.** Da nombre y voz a las y los estudiantes de fitopatología y disciplinas afines acerca de los retos e incertidumbres que les trajo la pandemia, así como las enseñanzas, los cambios de paradigma y las nuevas tareas que este momento histórico les está ofreciendo.

El Conacyt hace votos para que iniciativas afines a este Número Especial se multipliquen, de modo que las comunidades científicas de HCTI se involucren cada vez más en la creación de soluciones a los problemas nacionales.

Ciudad de México
10 de Noviembre, 2021

COVID-19 Pandemic: A plant health vision of a multidimensional problem

Pandemia COVID-19: Una visión desde la fitosanidad a un problema multidimensional

Gustavo Mora-Aguilera*, ¹Laboratorio de Análisis de Riesgo Epidemiológico Fitosanitario (CP-LANREF), Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco. Carretera Federal México-Texcoco Km 36.5, Montecillo, Estado de México C.P. 56230; **Norma Ávila-Alistac**, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, 56230 Texcoco, México; ¹**Gerardo Acevedo-Sánchez**. *Corresponding Author: morag@colpos.mx

'Hospitals are only an intermediate stage of civilization, never intended... to take in the whole sick population. May we hope that the day will come... when every poor sick person will have the opportunity of a share in a district sick-nurse at home'.

Florence Nightingale

Received: July 02, 2021.

Accepted: November 29, 2021.

Mora-Aguilera G, Ávila-Alistac N and Acevedo-Sánchez G. 2021. COVID-19 Pandemic: A plant health vision of a multidimensional problem. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 1-58.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-32>

Abstract. Food and health are vital needs and legitimate human rights. Agriculture, exceeded by the Industrial Revolution and subsequent economic development has been fundamental to face the SARS-CoV-2 / COVID-19 health contingency. Its essentiality, in contrast to most economic sectors' shutdown, implied the uninterrupted agricultural production to guarantee worldwide food supply despite the farmer's risk. Consequently, the

Resumen. El alimento y la salud son necesidades fundamentales de la vida y legítimos derechos humanos. La Agricultura, superada por la Revolución Industrial y ulterior desarrollo económico, ha sido fundamental ante la contingencia sanitaria por SARS-CoV-2 / COVID-19. Su esencialidad, en contraste con el cierre temporal del resto de sectores económicos, implicó la producción ininterrumpida de productos agropecuarios para garantizar el suministro mundial de alimentos a pesar del riesgo para el trabajador de campo. Consecuentemente, el sector agrícola mexicano tuvo un crecimiento sostenido con una contribución del 59.2% de la producción global alimentaria ubicándose en la 12^o posición mundial en 2020. Las actividades fitosanitarias han sido fundamentales en la producción

Mexican agricultural segment had sustained growth with a global food production contribution of 59.2%, ranking 12th in the world in 2020. Phytosanitary activities have been fundamental in the production and global mobilization of healthy and safe food through safety programs and pest-free status certifications. The regional-crossboundary phytosanitary-international *preventive* model has strengths applicable to Public Health Systems whose current trend favors the *patient-client curative* approach in the hospital-outpatient environment. The COVID-19 pandemic represents a multidimensional problem that exceeds the Public Health Systems. The development of a *preventive Pansystemic Model* to address integral human health, involving causes and effects for this and future epidemics is urgent. The necessity of a new agricultural production paradigm that balances the growing global demand for healthy food, with sustainable and resilient ecosystem services with comprehensive human and environmental health indicators is also recognized. This work analyzes 31 contributions of the Mexican Journal of Phytopathology integrated into the Special Issue ‘*COVID-19 and Plant Health*’, promoted internationally among producers, researchers, and academia to communicate the phytosanitary contribution to the society, with emphasis on Phytopathology, at the multidimensional COVID-19 solution.

Key words: Epidemic, Agriculture, Confinement, Human health, WHO, SARS-CoV-2

INTRODUCTION

In February 2021, at the closing call for the MJP Special Issue: ‘*COVID-19 and Plant Health*’, 106.8 million positive cases to SARS-CoV-2 and

y movilización mundial alimentos saludables y seguros a través de programas de inocuidad y certificación fitosanitaria. El modelo *preventivo* internacional fitosanitario regional-transfronterizo posee fortalezas aplicables a los Sistemas Públicos de Salud cuya tendencia actual privilegia el enfoque *curativo paciente - cliente* del entorno hospitalario-ambulatorio. La pandemia COVID-19 representa un problema multidimensional que supera los Sistemas Públicos de Salud. Es urgente el desarrollo de un *Modelo Pansistémico preventivo* de salud integral que involucre causas y efectos para esta y futuras epidemias. Se reconoce la necesidad de un nuevo paradigma productivo agrícola que equilibre la demanda creciente mundial de alimentos saludables con servicios ecosistémicos sustentables y resilientes con indicadores integrales de salud humana y ambiental. Este trabajo analiza 31 contribuciones de la Revista Mexicana de Fitopatología integradas en el Número Especial ‘*COVID-19 y Fitosanidad*’, promovido internacionalmente entre productores, investigadores y academia para visibilizar y ponderar el aporte social de la Fitosanidad, con énfasis en la Fitopatología, en la solución multidimensional a COVID-19.

Palabras clave: Epidemia, Agricultura, Confinamiento, Salud humana, OMS, SARS-CoV-2

INTRODUCCIÓN

En febrero 2021, al cierre de la convocatoria del Número Especial RMF ‘*COVID-19 y Fitosanidad*’, mundialmente se reportaba 106.8 millones de casos positivos a SARS-CoV-2 y 2.4 millones de muertes en *tres olas epidémicas* (OMS, 2021). En México se tenía registro de 1.94 millones de positivos y 166.7 mil muertes en *dos olas* (SSa, 2021). En noviembre, al finalizar la edición del Número

2.4 million deaths in three epidemic waves were reported worldwide (WHO, 2021). In Mexico, there were 1.94 million positive cases and 166.7 thousand deaths in two waves (SSa, 2021). In November, at the end of the Special Issue edition, 252.4 million positive individuals and 5.08 million deaths were reported worldwide. Mexico registered 3.8 million cases and 290.6 thousand deaths. This means an increase of 42.3 and 51.1% incidence globally and in Mexico, respectively, despite intensive global vaccination with 3.171 million people 'immunized' in approximately one year. Mexico started its vaccination program on December 24, 2020, totaling 132.54 million doses applied. In this context, it is clear that the pandemic is not under control and that Health Systems depend on vaccination as the center of their mitigation strategies despite its evident limitation (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021). Currently, Europe is experiencing its *fourth epidemic wave* with severe restrictions. These include a 'health passport' (vaccination certificate with full vaccination schedule), compulsory immunization of public employees, and generalized or forced confinement for non-vaccinated persons in response to *Omicron*, the fifth variant with global prevalence and high transmission capacity. Unlike the first and second epidemic waves, intense social mobilizations have arisen to reject restrictive impositions, evidencing the limited risk management capacity of health authorities and the exhaustion of society, which demands effective and innovative measures (La Jornada, 2021a).

Faced with this scenario, a systemic-global health model is required to confront a pandemic process that eludes local or territorial solutions. High costly and bureaucratic international organizations, such as the World Health Organization (WHO) or the Pan American Health Organization, have the opportunity to redesign their current management

Especial, mundialmente se reportaron 252.4 millones de individuos positivos y 5.08 millones de muertes. México tenía 3.8 millones de casos y 290.6 mil decesos. Esto significó un incremento del 42.3 y 51.1% de incidencia en el mundo y en México, respectivamente, a pesar de la intensiva vacunación global con 3,171 millones de personas 'inmunizadas' en aproximadamente un año. México inició su programa de vacunación el 24 diciembre, 2020 totalizando 132.54 millones de dosis aplicadas. En este contexto, es claro que la pandemia no está controlada y que los Sistemas de Salud dependen de la vacunación como eje central de sus estrategias de mitigación a pesar de su evidente limitación (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021). Actualmente, Europa experimenta su *cuarta ola epidémica* con severas restricciones que incluyen 'pasaporte sanitario' (certificado de vacunación con esquema completo), inmunización obligada de empleados públicos y confinamiento generalizado o forzoso para no vacunados en respuesta a la emergencia de *Ómicron*, quinta variante con prevalencia internacional y alta capacidad de transmisión. A diferencia de la primera y segunda ola epidémica, se han suscitado intensas movilizaciones sociales de rechazo a las impositions restrictivas evidenciado limitada capacidad de gestión de riesgos por las autoridades sanitarias, y el agotamiento de la sociedad que demanda medidas efectivas e innovadoras (La Jornada, 2021a).

Ante este escenario, se requiere un modelo de salud sistémico-global para afrontar un proceso pandémico que elude soluciones locales o territoriales. Los organismos internacionales altamente costosos y burocráticos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la Organización Panamericana de la Salud, tienen oportunidad para rediseñar su actual política de gestión, hacia un Modelo Pansistémico que permita la articulación de modelos regionales bajo un nuevo paradigma

policy towards a Pansystemic Model that allows to articulate regional models under a new public health paradigm with a real emphasis on *prevention*. This model should operate with robust Epidemiological Surveillance Systems based on digital and genomic technology, and active community involvement.

COVID-19 has evidenced the collapse of the global health system and the failure to generate comprehensive mitigation proposals based on *prevention* supported by scientific research. This is a result of historical and sustained neglect of health as a fundamental right (Franco-Giraldo, 2019; Frenk, 2003). Instead, health, as a patient-disease business strategy, underlies the personalized treatment of diseases (COVID-19 among them). Therefore, the interests of pharmaceutical consortiums and geopolitical views threaten humanity equality by promoting exclusion and discriminatory schemes already evidenced with the inequitable distribution of vaccines in the world (Carbajal, 2022; Afp, 2021b; Franco-Giraldo, 2019; 2014; PAHO, 2008; Cabello, 2001).

The COVID-19 health crisis has impacted all aspects inherent to life and human activities. Agriculture, declared as an essential activity to face this crisis, has maintained food production in contrast to the general slowdown in 2020, and differentiated in 2021, of other economic, socio-cultural, and educational sectors. In this adverse situation, the Mexican Journal of Phytopathology (MJP), endorsed by the Mexican Society of Plant Pathology (MSP), within the scope of its mission focused on crop health, proposed the Special Issue MJP '*COVID-19 and Plant Health*' to acknowledge all actors that make possible food production in rural areas with limited health services, and in the case of field workers and small producers, without medical insurance. The MJP international call was open and by invitation. However, contributions from Mexico prevailed. The objective was to

de salud pública con real énfasis en la *prevención*, operado con sistemas robustos de Vigilancia Epidemiológica basados en tecnología digital y genómica, y la articulación participativa de la comunidad.

COVID-19 ha evidenciado el colapso del sistema de salud mundial y la incapacidad para generar propuestas de mitigación preventivas basadas en investigación científica, como resultado de un histórico y sostenido abandono de la salud como derecho fundamental (Franco-Giraldo, 2019; Frenk, 2003). La salud como negocio paciente-enfermedad subyace en la estrategia generalizada del tratamiento personalizado de las enfermedades (COVID-19 entre ellas), por lo que se anteponen intereses de consorcios farmacéuticos y geopolíticos que amenazan la pervivencia de la humanidad y promueven esquemas excluyentes y discriminatorios ya evidenciados con la distribución inequitativa de vacunas en el mundo (Carbajal, 2022; Afp, 2021b; Franco-Giraldo, 2019; 2014; OPS, 2008; Cabello, 2001).

La crisis sanitaria COVID-19 ha impactado todos los ámbitos inherentes a la vida y a las actividades humanas. La Agricultura, declarada como actividad esencial ante esta crisis, ha mantenido la producción de alimentos en contraste a la ralentización general en 2020, y diferenciada en 2021, del resto de sectores económicos, socio-culturales y educativos. En este entorno adverso por SARS-CoV-2, la Revista Mexicana de Fitopatología (RMF), órgano divulgativo de la Sociedad Mexicana de Fitopatología (SMF), en el ámbito de su misión enfocada a la sanidad de los cultivos, se propuso en el Número Especial RMF '*COVID-19 y Fitosanidad*' visibilizar a los diferentes actores que hacen posible la producción de alimentos en regiones rurales, generalmente con limitados servicios de salud, y en el caso de jornaleros y pequeños productores sin la cobertura médica correspondiente. La convocatoria RMF tuvo una cobertura abierta y por invitación

COVID-19: THE VIRUS, DISEASE AND EPIDEMIOLOGY

COVID-19 in human health. The section *COVID-19: The virus, disease, and epidemiology*, includes contributions addressing the genomic and pathogenic capabilities of SARS-CoV-2 (García-Ruiz *et al.*, 2021); implication of chronic diseases in the occurrence of COVID-19 in Mexican youth (Alvarez-Maya *et al.*, 2021); a retrospective comparative analysis between plant and human epidemics as an analytical framework for COVID-19 (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021); risk of contamination in processed and semi-processed foods from handling in the packaging (Vargas-Arispuro *et al.*, 2021); potential sanitization strategies with chlorine and citrus extract-based products (Muñoz-Castellanos *et al.*, 2021; Schneegans-Vallejo *et al.*, 2021); reflections on the implications of COVID-19 in the global evolution of plant health (Gutiérrez-Samperio, 2021); and the cultural, social, and productive significance from the perspective of an 85-year-old corn and asparagus producer, Don Bernardino (Cruces-Pedraza, 2021). The main conclusions are integrated into Table 1. The conceptual and analytical framework of these contributions is presented below.

Coronavirus diversity. Since the emergence of diseases of zoonotic origin, such as SARS (2003) and MERS (2012), studies of coronavirus diversity in bats and other animals have been of great interest as a preventive strategy (García-Ruiz *et al.*, 2021). The importance of these studies for human health is unquestionable, due to the adaptability and variability of the viral agent in the host, as can be inferred from the population structure of variants with a high sequential and regional prevalence that has emerged during the pandemic: *Alpha*, *Beta*,

nóticas altamente dependientes de un equilibrio antropogénico, agroecológico y climático (Figura 1).

COVID-19: EL VIRUS, ENFERMEDAD Y EPIDEMIOLOGÍA

COVID-19 en la salud humana. La sección *COVID-19: El virus, enfermedad y epidemiología*, incluye contribuciones que abordan las propiedades genómicas y patogénicas de SARS-CoV-2 (García-Ruiz *et al.*, 2021); implicación de enfermedades crónicas en la ocurrencia de COVID-19 en jóvenes mexicanos (Álvarez-Maya *et al.*, 2021); un análisis retrospectivo comparativo entre epidemias de plantas y humanos como marco analítico de COVID-19 (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021); riesgo de contaminación en alimentos procesados y semiprocesados a partir del manejo en empaques (Vargas-Arispuro *et al.*, 2021); potenciales estrategias de sanitización con cloro y productos a base extractos cítricos (Muñoz-Castellanos *et al.*, 2021; Schneegans-Vallejo *et al.*, 2021); reflexiones sobre las implicaciones de COVID-19 en la evolución global de la fitosanidad (Gutiérrez-Samperio, 2021), y el significado cultural, social, y productivo desde la óptica de un productor de maíz y espárrago, Don Bernardino, de 85 años de edad (Cruces-Pedraza, 2021). Conclusiones principales de estos aportes se integran en Cuadro 1. El marco conceptual y analítico de estas contribuciones se expone a continuación.

Diversidad de coronavirus. A partir de la emergencia de enfermedades de origen zoonótico, como SARS (2003) y MERS (2012), estudios de diversidad de coronavirus en murciélagos y otros animales han sido de gran interés como estrategia preventiva (García-Ruiz *et al.*, 2021). Es incuestionable la importancia de esos estudios para la salud humana, debido a la capacidad de adaptación y variabilidad

Delta, Eta, Epsilon, Kappa, Gamma, Lambda, Lota, Mu, Delta, and Omicron. *Delta* being the most widely distributed variant and *Omicron*, officially reported on November 24, 2021, the most recent (WHO, 2021; Mora-Aguilera *et al.*, 2021; www.gisaid.org). This has led to the creation or strengthening of national and international programs for viral genomics research (Table 1; Figure 2A). However, public investment in research and the practical applicability in the development of drugs and vaccines have culminated in the private use of patents with the consequent asymmetry in global immunization to the detriment of countries without the capacity to purchase vaccines (Carbajal, 2022).

Additionally, web platforms have been developed that allow the traceability of genetic sequences, variants, and population lineage dynamics. This is possible by contributions of complete and partial sequences of the viral genome by research and health entities in countries with infrastructure and resources for this purpose. As a result, SARS-CoV-2 genomic information is among the most complete representing an extraordinary effort of scientific collaboration. For example, GISAID has approximately 4 million sequences of the virus, of which GB contributes more than 1 million (UKHSA and DHSC, 2021). Its free availability has allowed etiological, epidemiological, clinical, pathogenic, and immunological research, with emphasis on vaccine developments (García-Ruiz *et al.*, 2021; Mora-Aguilera *et al.*, 2022). Likewise, phylogenetic and phylogeographic dynamics and a genomic diversity index can be consulted on GISAID (Figure 2A). However, these models emphasize the pathogen, omitting the epidemiological system (e.g., host, environment, etc.), which is fundamental for understanding epidemics, and lack epidemiological risk communication strategies. Public data information requires the release of official bulletins associated with these websites to

del agente viral en el huésped como puede inferirse de la estructura poblacional de variantes con alta prevalencia secuencial y regional que han surgido durante la pandemia: *Alpha, Beta, Delta, Eta, Epsilon, Kappa, Gamma, Lambda, Lota, Mu, Delta* y *Ómicron*. Siendo *Delta* la variante más distribuida y *Ómicron*, reportada oficialmente el 24 de noviembre de 2021, la más reciente (WHO, 2021; Mora-Aguilera *et al.*, 2021; www.gisaid.org). Lo anterior ha derivado en la creación o fortalecimiento de programas nacionales e internacionales para la investigación genómica viral (Cuadro 1; Figura 2A). No obstante, la inversión pública en investigación y la aplicabilidad práctica en el desarrollo de fármacos y vacunas han culminado en el usufructo privado de patentes con la consecuente asimetría en inmunización mundial en detrimento de países sin capacidad de compra de vacunas (Carbajal, 2022).

Adicionalmente, se han desarrollado plataformas web que permiten la trazabilidad de secuencias genéticas, variantes y dinámica de linajes poblacionales. Esto es posible por aporte de secuencias completas y parciales del genoma viral por entidades de investigación y de salud en países con infraestructura y recursos para ese fin. Como resultado, la información genómica de SARS-CoV-2 es de la más completa representando un extraordinario esfuerzo de colaboración científica. Por ejemplo, GISAID posee aproximadamente 4 millones de secuencias del virus, de las cuales GB contribuye con más de 1 millón (UKHSA and DHSC, 2021). Su libre disponibilidad ha permitido investigaciones etiológicas, epidemiológicas, clínicas, patogénicas e inmunológicas, como énfasis en vacunas (García-Ruiz *et al.*, 2021; Mora-Aguilera *et al.*, 2022). Así mismo, en esta plataforma se puede consultar la dinámica filogenética, filogeográfica y un índice de diversidad genómica (Figura 2A). Sin embargo, estos modelos enfatizan al patógeno, omitiendo el sistema epidemiológico (p.e., hospedero, ambiente,

avoid misinformation and deficient interpretative management. The emergence and spread of the *Omicron* variant is an example of incorrect risk communication. This includes WHO, the United Nations (UN) lead agency for the pandemic management of COVID-19 (<https://www.who.int/es>).

Pandemic or syndemic? COVID-19 disease is a pandemic process due to the occurrence of a synchronous contagion process worldwide (Figure 2A, B) (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021), however, it has been considered a syndemic or infectious disease that interacts with other clinical, social, and behavioral factors (BBC News, 2020). This concept was addressed in the MJP Special Issue by Samaniego-Gaxiola (2021), in the context of soil health for healthy and sustainable food production. In one of its meanings, *a syndemic is a synergy of epidemics that occur simultaneously in time and space, interact, and have common causal mechanisms* (Mendenhall *et al.*, 2017). Therefore, understanding clinically and epidemiologically the effect of SARS-CoV-2 should include a systemic analysis of its interaction with chronic noncommunicable diseases and comorbidities.

Mexico has at least three epidemics in coexistence with COVID-19: diabetes, hypertension, and obesity. However, there are other factors that the pandemic has evidenced as determinants of the pathogenic aggressiveness of SARS-CoV-2, for example, malnutrition, environmental pollution, insalubrity, demography, urban overcrowding, labor precariousness, etc., products of socioeconomic inequalities (Horton, 2020). However, human folly in its interaction with nature also plays a fundamental role. A comprehensive retrospective analysis of human and cultivated plant pandemics concluded that globally: *'The SARS-CoV-2/COVID-19*

etc.), fundamental para la comprensión de epidemias, y carecen de estrategias de comunicación de riesgos epidemiológicos. La información pública, si bien transparenta el dato, obliga a la generación de boletines interpretativos oficiales de dichos sitios web para evitar desinformación y deficiente manejo interpretativo. La emergencia y dispersión de la variante *Ómicron* es un ejemplo de la incorrecta comunicación de riesgos. Esto incluye a la OMS, organismo líder por mandato del Organismo de Naciones Unidas (ONU) para la gestión pandémica de COVID-19 (<https://www.who.int/es>).

¿Pandemia o sindemia? La enfermedad COVID-19, es un proceso pandémico debido a la ocurrencia de un proceso de contagio sincrónico a nivel mundial (Figura 2A, B) (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021), no obstante, se ha considerado una sindemia o enfermedad infecciosa que tiene interacción con otros factores clínicos, sociales y conductuales (BBC News, 2020). Este concepto se abordó en el Número Especial RMF por Samaniego-Gaxiola (2021), en el contexto de salud de suelos para producción sana y sostenible de alimentos. En una de sus acepciones, *una sindemia es una sinergia de epidemias que ocurren de forma simultánea en tiempo y espacio, interaccionan y tienen mecanismos causales comunes* (Mendenhall *et al.*, 2017). Por lo cual comprender clínica y epidemiológicamente el efecto de SARS-CoV-2, debería incluir un análisis sistémico de su interacción con enfermedades crónicas no transmisibles y comorbilidades.

México tiene al menos tres epidemias en coexistencia con COVID-19: diabetes, hipertensión y obesidad. Sin embargo, existen otros factores que la pandemia ha evidenciado como determinantes de la agresividad patogénica de SARS-CoV-2, por ejemplo, desnutrición, contaminación ambiental, insalubridad, demografía, hacinamiento urbano,

pandemic evidenced the deterioration of a rational epidemiological framework; absence of Surveillance Systems that articulate clinical and viral variants detection with traceability of community risks, enhanced with genomic and digital technology; the weakening of the Public Health System; and the absence of a Pansystemic Model integrating regional preventive models' (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021).

Sanitary management. During the first and second pandemic waves of 2020, the gaps, deterioration, and dismantling of governmental Health Systems, even in developed countries (e.g., USA, UK, France), and the importance of reducing socioeconomic inequalities and strengthening preventive medicine became evident (González-Salgado *et al.*, 2021; Martín-Moreno *et al.*, 2021). WHO has been criticized for its slow responsiveness and bureaucratization of international crisis management. It even resulted in the temporary funding suspension and the exit of the USA from the countries subscribed to the WHO in July 2020 (BBC News, 2020). As this contribution goes to edition, COVID-19 mitigation efforts continue under the conventional clinical model based on the search for *curative* drugs (i.e., antivirals) and the promotion of extensive vaccination programs (but limited to countries that can afford them) with strong influence from the pharmaceutical industry. Thus, economic interests have been privileged over *prevention* as a systemic health model (Franco-Giraldo, 2019; 2014). The new B.1.1.529 variant reported in South Africa, called *Omicron* by the WHO, exhibits 50 mutations in its genome, which worries specialists for being potentially more contagious. Initial data show that in less than 15 days approximately 445 cases have been reported worldwide (Fernández, 2021), while in South Africa it represents 84% of incidence.

precarización laboral, etc., productos de desigualdades socioeconómicas (Horton, 2020). Sin embargo, también la insensatez humana en su interacción con la naturaleza tiene un rol fundamental. En un exhaustivo análisis retrospectivo de pandemias humanas y de plantas cultivadas se concluyó que a nivel global: *'La pandemia SARS-CoV-2/COVID-19 evidenció el deterioro de un marco epidemiológico racional; ausencia de Sistemas de Vigilancia que articulen la detección clínica y de variantes virales con trazabilidad de riesgos comunitarios, potenciados con tecnología genómica y digital; la depauperación del Sistema Público de Salud; y la ausencia de un Modelo Pansistémico integrador de modelos regionales preventivos'* (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021).

Gestión sanitaria. Durante la primera y segunda ola pandémica de 2020, se evidenciaron los rezagos, deterioro y desmantelamiento de Sistemas de Salud gubernamentales, incluso de países desarrollados (p.e., EUA, GB, Francia), y la importancia de reducir las desigualdades socioeconómicas y fortalecer la medicina preventiva (González-Salgado *et al.*, 2021; Martín-Moreno *et al.*, 2021). La OMS ha sido criticada por su lenta capacidad de reacción y burocratización de procesos de gestión internacional. Incluso derivó en el retiro temporal del financiamiento y la salida de EUA de los países suscritos a la OMS en Julio, 2020 (BBC News, 2020). Al cierre de la edición de este número, los esfuerzos de mitigación COVID-19 continúan bajo el modelo clínico convencional basado en la búsqueda de fármacos *curativos* (i.e., antivirales) e impulso de programas de vacunación extensivos (pero limitado a países que pueden pagarlos) con fuerte influencia de la industria farmacéutica. Así, se ha privilegiado intereses económicos a la *prevención* como modelo sistémico de salud (Franco-Giraldo, 2019; 2014). La nueva variante B.1.1.529

Likewise, the changes in the gene associated with the protein of the spicule (S) may cause efficiency loss in current vaccines against COVID-19 (Afp, 2021a). However, in viruses, obligate parasites dependent on a living host, the evolutionary process towards a reduction of aggressiveness by survival (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021), does not suggest that *Omicron* could be more pathogenic than previous variants including *Delta*.

Recently, Anthony Fauci, a consultant epidemiologist to the USA government, stated that: '*Although the Omicron variant of the coronavirus is spreading rapidly in the United States, early indications are that it may be less dangerous than Delta*' (Johnson, 2021). However, the constant mutation of the virus, in addition of being considered in the development of mitigation strategies and clinical treatments (García-Ruiz *et al.*, 2021), should be integrated as an essential risk factor in epidemiological models including the spatiotemporal forecasting of variants associated with prevalence and virulence. For example, *Eta* was a variant rapidly replaced by other dominant variants. *Mu* and *Lambda* were variants associated with specific regions (i.e., South America) with longer periods but equally replaced by others of greater dispersion such as *Delta* (Hodcroft, 2021).

Health and food quality. On the other hand, the deterioration of population health due to non-infectious diseases, particularly in Mexico, underlies the consumption style disrupted by the food industry. In one decade (80's) the percentage of overweight and obese people grew 32.2%, currently estimated at 70% (Rivera *et al.*, 2018). The metabolic and cardiovascular diseases constitute risk factors to SARS-CoV-2 infection and mortality (Alvarez-Maya *et al.*, 2021; García-Ruiz *et al.*, 2021). This is the context of the contribution of Alvarez-Maya *et al.* (2021), who analyzed the

reportada en Sudáfrica, denominada *Ómicron* por la OMS, exhibe 50 mutaciones en su genoma, lo que preocupa a los especialistas por ser potencialmente más contagiosa. Datos iniciales muestran que en menos de 15 días se han reportado aproximadamente 445 casos a nivel mundial (Fernández, 2021), mientras que en Sudáfrica representa 84% de incidencia. Así mismo, los 30 cambios en el gen asociado a la proteína de la espícula (S), puede generar pérdida de eficiencia en las actuales vacunas contra COVID-19 (Afp, 2021a). Sin embargo, en los virus, parásitos obligados dependientes de un huésped vivo, el proceso evolutivo hacia una reducción de agresividad por sobrevivencia (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021), no sugiere que *Ómicron* pueda ser más patógeno que previas variantes incluyendo *Delta*.

Recientemente, Anthony Fauci, epidemiólogo consultor del gobierno EUA, expresó que: '*Aunque la variante Ómicron del coronavirus se está propagando rápidamente por Estados Unidos, los primeros indicios dejan entrever que podría ser menos peligrosa que Delta*' (Johnson, 2021). No obstante, la constante mutación del virus, además de considerarse en el desarrollo de estrategias de mitigación y tratamientos clínicos (García-Ruiz *et al.*, 2021), debe integrarse como factor de riesgo esencial en modelos epidemiológicos incluyendo el pronóstico espacio-temporal de variantes asociado con prevalencia y virulencia del organismo. Por ejemplo, *Eta* fue una variante que rápidamente fue reemplazada por otras variantes dominantes. *Mu* y *Lambda* fueron variantes asociadas a regiones específicas (i.e., Sudamérica) con periodos más prolongados pero igualmente reemplazadas por otras de mayor dispersabilidad como *Delta* (Hodcroft, 2021).

Salud y calidad de alimentos. Por otro lado, el deterioro de la salud poblacional por enfermedades no infecciosas, particularmente en México, subyace

epidemiological behavior of the young Mexican cohort in the first epidemic wave. The authors justify the food labeling initiative that had been previously rejected by legislative bodies (Reyes, 2019). Undoubtedly, the pandemic contributed to the official publication on November 8, 2019, of the decree that reforms the *General Health Law on overweight, obesity and labeling of food and non-alcoholic beverages*, approved by Mexican Congress on October 22.

Within the framework of this reform, the **Food and Beverage Front Labeling System (SEFAB)**, developed by the National Institute of Public Health (INSP, in Spanish), was implemented, which resulted in the update of the Mexican Official Norm NOM-051-SCFI/SSA1-2010 and its mandatory implementation on October 1, 2020, through three phases to be carried out between 2020-2025. This strategy, among other elements, stipulates and specifies: **1)** That the right to health protection should have among its purposes the *prevention of diseases*; **2)** In terms of school hygiene, it is the responsibility of health authorities to establish actions that *promote healthy and nutritious food and physical activity*; **3)** That health promotion integrates nutritious food, physical activity, and nutrition; **4)** Emphasizing that programs will propose actions to reduce malnutrition and promote the consumption of foods adequate to the population's nutritional needs; **5)** Avoid other elements that represent a potential health risk. Therefore, essentially these actions seek to decrease the epidemic intensity of obesity, as a chronic disease, reduce its effect on other non-infectious diseases, and reduce the risk of infection and mortality by COVID-19 (Álvarez-Maya *et al.*, 2021).

Urban food. The interest in quality food and its timely supply to densely populated urban areas,

en el estilo de consumo trastocado por la industria alimentaria. En una década (80's) el porcentaje de personas con sobrepeso y obesidad creció 32.2%, en la actualidad se estima en 70% (Rivera *et al.*, 2018). Estas enfermedades metabólicas, y las cardiovasculares constituyen factores de riesgo a la infección y mortalidad por SARS-CoV-2 (Álvarez-Maya *et al.*, 2021; Garcia-Ruiz *et al.*, 2021). Este es el contexto de la contribución de Álvarez-Maya y colaboradores (2021), los cuales analizaron el comportamiento epidemiológico del cohorte joven mexicano en la primera ola epidémica. Los autores justifican la iniciativa de etiquetado de alimentos que, con variantes, había sido previamente rechazada por instancias legislativas (Reyes, 2019). Sin duda, la pandemia contribuyó a que el 8 de noviembre 2019, se publicara en el Diario Oficial de la Federación el decreto que reforma la *Ley General de Salud, en materia de sobrepeso, obesidad y etiquetado de alimentos y bebidas no alcohólicas*, aprobado por el Congreso de la Unión el 22 de octubre.

En el marco de esta reforma se implementó el **Sistema de Etiquetado Frontal de Alimentos y Bebidas (SEFAB)**, desarrollado por el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), que derivó en la actualización de la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010 y la entrada en vigor el 1 de octubre 2020 mediante tres fases a efectuarse entre 2020-2025. Esta estrategia, entre otros elementos, estipula y puntualiza: **1)** Que el derecho a la protección de la salud debe tener entre sus finalidades la *prevención de las enfermedades*; **2)** En materia de higiene escolar, corresponde a las autoridades sanitarias establecer acciones que *promuevan una alimentación sana y nutritiva* y la realización de actividad física; **3)** Que la promoción de la salud integra la alimentación nutritiva, actividad física y nutrición; **4)** Enfatiza que los programas propondrán acciones para reducir la malnutrición, promoverán el consumo de alimentos adecuados a las

as the disruption consequence of the supply chains caused by COVID-19, has been proposed in different political frameworks, but still without effects on public policy. The perspective of urban agriculture in food safety and quality is viable for populated cities. These are environments where infectious agents have had the highest contagion rates in historical epidemics (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez 2021). Agricultural production in Mexico City, in the first infectious stage of COVID-19, evidenced its resilience despite a higher risk of contagion for workers than in the rural environments (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; Reyes-Tena *et al.*, 2021; González-Gaona *et al.*, 2021; Castañeda-Cabrera *et al.*, 2021). Additionally, the possibility of SARS-CoV-2 spread by food contaminated, mainly fresh food, was investigated due to the association of the first positive case with a food market in Wuhan, China. Vargas-Arispuro *et al.* (2021) reviewed the scientific evidence and concluded that it is a low risk associated with agricultural products, mainly due to adherence to Good Production and Packaging Practices. However, the passive presence of the virus is widely documented for up to 2-3 days depending on the type of material exposed to human contact. This makes possible the contamination of food packaging by handling in transport and selling points. Reviews of the use of chlorine and citrus-based products as sanitizers to inactivate SARS-CoV-2 suggest a cost-effective and low environmental impact option (Muñoz-Castellanos *et al.*, 2021; Schneegans-Vallejo *et al.*, 2021).

Vaccination as a mitigation alternative. Vaccines against SARS-CoV-2 were developed at an unprecedented research speed (12 months after the outbreak), mainly supported by government funds. This approach, implemented from December 2020,

necesidades nutricionales de la población; y 5). Evitarán otros elementos que representen un riesgo potencial para la salud. Por tanto, esencialmente estas acciones buscan disminuir la intensidad epidémica de obesidad, como enfermedad crónica, disminuir su efecto en otras enfermedades no infecciosas, y reducir el riesgo de infección y mortalidad por COVID-19 (Álvarez-Maya *et al.*, 2021).

Alimento urbano. El interés por alimentos de calidad y su abastecimiento oportuno a polos urbanos densamente poblados, como consecuencia de la ruptura de cadenas de suministro ocasionada por COVID-19, se ha propuesto en diferentes ámbitos, pero aun sin efectos en política pública. La perspectiva de agricultura urbana en la seguridad y calidad de alimentos es viable para grandes urbes. Entornos donde los agentes infecciosos han tenido mayores tasas de contagio en epidemias históricas (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez 2021). La producción agrícola de la Ciudad de México, en la primera etapa infecciosa de COVID-19, evidenció su resiliencia a pesar de mayor riesgo de contagio para trabajadores que en el entorno rural (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; Reyes-Tena *et al.*, 2021; González-Gaona *et al.*, 2021; Castañeda-Cabrera *et al.*, 2021). Adicionalmente, la posibilidad de dispersión de SARS-CoV-2 por alimentos, principalmente frescos, fue investigada debido a la asociatividad del primer caso positivo al virus con un mercado de alimentos en Wuhan, China. Vargas-Arispuro y colaboradores (2021), revisaron las evidencias científicas al respecto concluyendo el bajo riesgo vinculado con productos agrícolas, en gran medida por la adherencia a buenas prácticas de producción y empaque. No obstante, está ampliamente documentada la presencia pasiva del virus hasta por 2-3 días en función del tipo de material expuesto al contacto humano. Esto posibilita la contaminación del

constitutes the current mitigation strategy against the health crisis, helping to decrease the mortality risk by 90%, restore labor and social activity, and alleviate losses in all sectors of the economy. As a reference, vaccines against the bacteria causing the Black Death and Cholera took 551 and 33 years, respectively, after the epidemic outbreaks after the Renaissance (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021). However, access to vaccines for many low-income countries remains restricted. Like those in the Caribbean Basin and the African continent, due to the cost of acquisition, storage, and distribution. In addition, the G7 countries have amassed up to 75% of the doses produced, despite exceeding their immediate needs. The USA wasted more than 15 million doses due to the rejection of vaccination by broad sectors of society, a situation repeated in several developed countries (Afp, 2021b).

Currently, WHO has approved, under the criterion of ‘*emergency use*’, Pfizer/BioNTech, AstraZeneca/Oxford, Janssen, Moderna, and Sinopharm vaccines. Others are still under development or in evaluation by international regulatory agencies. Geopolitical, protectionist, or bureaucratic management has been denounced by countries such as China and Russia, whose vaccines have been the most delayed in their approval. On the other hand, national competent agencies have authorized CanSino, Sputnik V, Soberana 02, and Soberana Plus against COVID-19 in specific countries. Cuba is a notorious case being the only country in Latin America that has developed and applied its vaccines, Soberana 01, Soberana 02, Soberana Plus, and Abdala, despite the economic and technological embargo imposed by the USA. Currently, 82% of the Cuban population is vaccinated with the required two doses (Ritchie *et al.*, 2021). Mexico, through the Federal Commission for Protection against Health Risks

embalaje de alimentos por manipulación en transporte y en puntos de venta. Las revisiones del uso de cloro y de productos a base de cítricos como sanitizantes para inactivar al SARS-CoV-2 sugieren una opción rentable y de bajo impacto ambiental (Muñoz-Castellanos *et al.*, 2021; Schneegans-Vallejo *et al.*, 2021).

Vacunación como alternativa de mitigación. Las vacunas contra SARS-CoV-2, fueron desarrolladas a una velocidad de investigación sin precedente (12 meses después del brote epidémico), principalmente financiadas con fondos gubernamentales. Los programas de vacunación, implementados a partir de diciembre 2020, constituyen la actual estrategia de mitigación contra la crisis sanitaria, ayudando a disminuir hasta 90% del riesgo de mortalidad, restaurar la actividad laboral y social, y paliar las pérdidas económicas en todos los sectores de la economía. Como referencia, las vacunas contra las bacterias causantes de la Peste Negra y Cólera, tardaron 551 y 33 años, respectivamente, después de los brotes epidémicos posteriores al Renacimiento (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021). No obstante, el acceso a los inmunológicos para muchos países de bajos ingresos aún sigue restringido, como los Caribeños y del continente Africano, debido al costo de adquisición, almacenaje y distribución. Adicionalmente, los países del G7 han acaparado la producción de dosis hasta en 75%, a pesar de superar sus necesidades inmediatas. EUA desperdició más de 15 millones de inmunológicos debido al rechazo a la vacunación de amplios sectores de la sociedad, situación que se repite en varios países desarrollados (Afp, 2021b).

Al cierre de la edición, la OMS ha aprobado, con el criterio de ‘*uso en emergencias*’, las vacunas Pfizer/BioNTech, AstraZeneca/Oxford, Janssen, Moderna y Sinopharm. Otras continúan en proceso de desarrollo o en evaluación por entidades

(Cofepris, in Spanish), recently approved Abdala to complement its vaccination program. In this country, the vaccination policy has been successful due to population acceptance and national coverage (Cruz, 2021).

Health model crisis. The global requirement of vaccines, as the first front of mitigation against SARS-CoV-2, evidenced the global crisis of Health Systems, and weak public medical research, consequently, the reluctance of *prevention* in favor of the *curative* principle promoted by the pharmaceutical industry and educative models (Franco-Giraldo, 2019; 2014; PAHO, 2008; Frenk, 2003; Cabello, 2001). Mexico, once a world leader in vaccines production and pathogen eradication (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021), has invested more than US\$ 832.7 million through May 2021 in vaccine procurement (Expansión, 2021). The oligopoly of SARS-CoV-2 vaccine manufacturers could earn up to US\$ 190 billion in sales during 2021. Only nine pharmaceutical companies, including US-based Pfizer and Moderna, along with China's Sinovac, Biotech and Sinopharm will benefit from the COVID-19 vaccine market (Paton, 2021). Notably, before the pandemic, three companies controlled the international market (Carbajal, 2022).

The worldwide value of the vaccine market allowed the pharmaceutical industry to increase its stock market value after the pandemic process and strengthen its monopoly structure (Carbajal, 2022). Consequently, supported by their respective countries, pharmaceutical companies have been reluctant to release patents, requested by WHO and several countries, preventing mass vaccination with a humanistic and inclusive approach. This strategy is recognized by WHO and health experts as the only viable and rational strategy to manage the SARS-CoV-2 pandemic. Prolonging the epidemic

regulatorias internacionales. El manejo geopolítico, proteccionista, o burocrático ha sido denunciado por países como China y Rusia, cuyas vacunas han sido las más tardadas en su aprobación. Por otra parte, agencias competentes nacionales han autorizado CanSino, Sputnik V, Soberana 02 y Soberana Plus contra COVID-19 en países específicos. Un caso a resaltar es Cuba, único país en Latinoamérica que ha desarrollado y aplicado sus propias vacunas, Soberana 01, Soberana 02, Soberana Plus y Abdala, a pesar del bloqueo económico y tecnológico impuesto por EUA. Actualmente, 82% de la población cubana está vacunada con las dos dosis requeridas (Ritchie *et al.*, 2021). México, a través de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), recientemente aprobó la vacuna Abdala para complementar su programa de vacunación. En este país, la política de vacunación sido exitosa por la aceptación poblacional y por cobertura nacional (Cruz, 2021).

Crisis del modelo de salud. El requerimiento mundial de inmunológicos como primer frente de mitigación contra SARS-CoV-2, evidenció la crisis mundial del sistema de salud y el deterioro de la investigación médica pública, por consiguiente, un abandono total del principio *preventivo* en beneficio del *curativo* promovido por la industria farmacéutica y los modelos educativos (Franco-Giraldo, 2019; 2014; OPS, 2008; Frenk, 2003; Cabello, 2001). México, alguna vez líder mundial en la generación de vacunas y erradicación de agentes patógenos (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021), ha invertido más de US\$ 832.7 millones hasta mayo 2021 en la adquisición de vacunas (Expansión, 2021). El oligopolio de fabricantes de vacunas contra SARS-CoV-2 podría ganar hasta US\$ 190 mil millones en ventas durante 2021. Solo nueve empresas farmacéuticas, incluidas Pfizer y Moderna, con sede en EUA, junto con las chinas

increases the risk of the emergence of virus variants with new parasitic and clinical outcomes, and the potential loss of vaccines efficacy. For example, for *Omicron* it is anticipated that efficiency may decrease due to the number of mutations in its genome. WHO recently announced a 40% loss of vaccine effectiveness due to the *Delta* variant (Afp and Reuters, 2021). This corporate reticence is paradoxical considering that the USA, UK, and other countries invested public resources of US\$ 8.6 billion for the generation of vaccines (Carbajal, 2022), and that SARS-CoV-2 genomic information has come mainly from public research institutions (www.gisaid.org). However, this commercial vision is congruent with the gradual abandonment of the *prevention* approach of Public Health Systems and the adoption of *cure*, and therefore of *health* as a business model (Franco-Giraldo, 2019; 2014; PAHO; 2008; Frenk, 2003; Cabello, 2001). The genomic and functional basis of vaccines (García-Ruiz *et al.*, 2021), and their historical analysis from the scientific, epidemiological, and Health Systems perspective (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021) are addressed in the MJP Special Issue.

COVID-19 AND AGROFOOD SECURITY

Agriculture and food production. Agriculture was declared an essential activity in Mexico, and other countries, in the containment framework of the SARS-CoV-2/COVID-19 pandemic mitigation strategies. This implied productive continuity for the world food supply. Consequently, the agricultural sector was the only one that maintained positive growth concerning other economic sectors. However, this implied a health risk for workers in this sector. This aspect and the strategies implemented to mitigate them are analyzed in another section. The agricultural contribution to national GDP was addressed with 2020 and partially

Sinovac, Biotech y Sinopharm se beneficiarán del mercado de vacunas contra el COVID-19 (Paton, 2021). Notoriamente, previo a la pandemia solo tres empresas controlaban el mercado internacional (Carbajal, 2022).

El valor mundial del mercado de vacunas propició que la industria farmacéutica incrementara su valor bursátil a partir del proceso pandémico e incluso fortaleció las estructuras monopólicas (Carbajal, 2022). En consecuencia, apoyadas por sus respectivos países, las farmacéuticas han sido reticentes a la liberación de patentes, solicitada por la OMS y varios países, impidiendo masificar la vacunación con un enfoque humanista e incluyente. Estrategia reconocida por la OMS y expertos en salud, como la única viable y racional para manejar la pandemia de SARS-CoV-2. Prolongar la epidemia incrementa el riesgo de emergencia de variantes del virus con nuevas capacidades parasíticas y clínicas, y la pérdida potencial de eficacia de vacunas. Por ejemplo, para *Ómicron* se prevé que la eficiencia puede disminuir debido a la cantidad de mutaciones en su genoma. La OMS recientemente anunció la pérdida de 40% de efectividad de vacunas debido a la variante *Delta* (Afp y Reuters, 2021). Es paradójica esta reticencia empresarial considerando que EUA, UK y otros países invirtieron recurso público por US\$ 8600 millones para la generación de inmunológicos (Carbajal, 2022), y que la información genómica del SARS-CoV-2 ha provenido principalmente de instituciones públicas de investigación (www.gisaid.org). Sin embargo, esta visión mercantil es congruente con el gradual abandono del enfoque de *prevención* de los Sistema Públicos de Salud y la adopción de la *cura*, y por tanto de la *salud* como negocio (Franco-Giraldo, 2019; 2014; OPS; 2008; Frenk, 2003; Cabello, 2001). La base genómica y funcional de las vacunas (García-Ruiz *et al.*, 2021), y su análisis histórico desde la perspectiva científica, epidemiológica y de los Sistemas

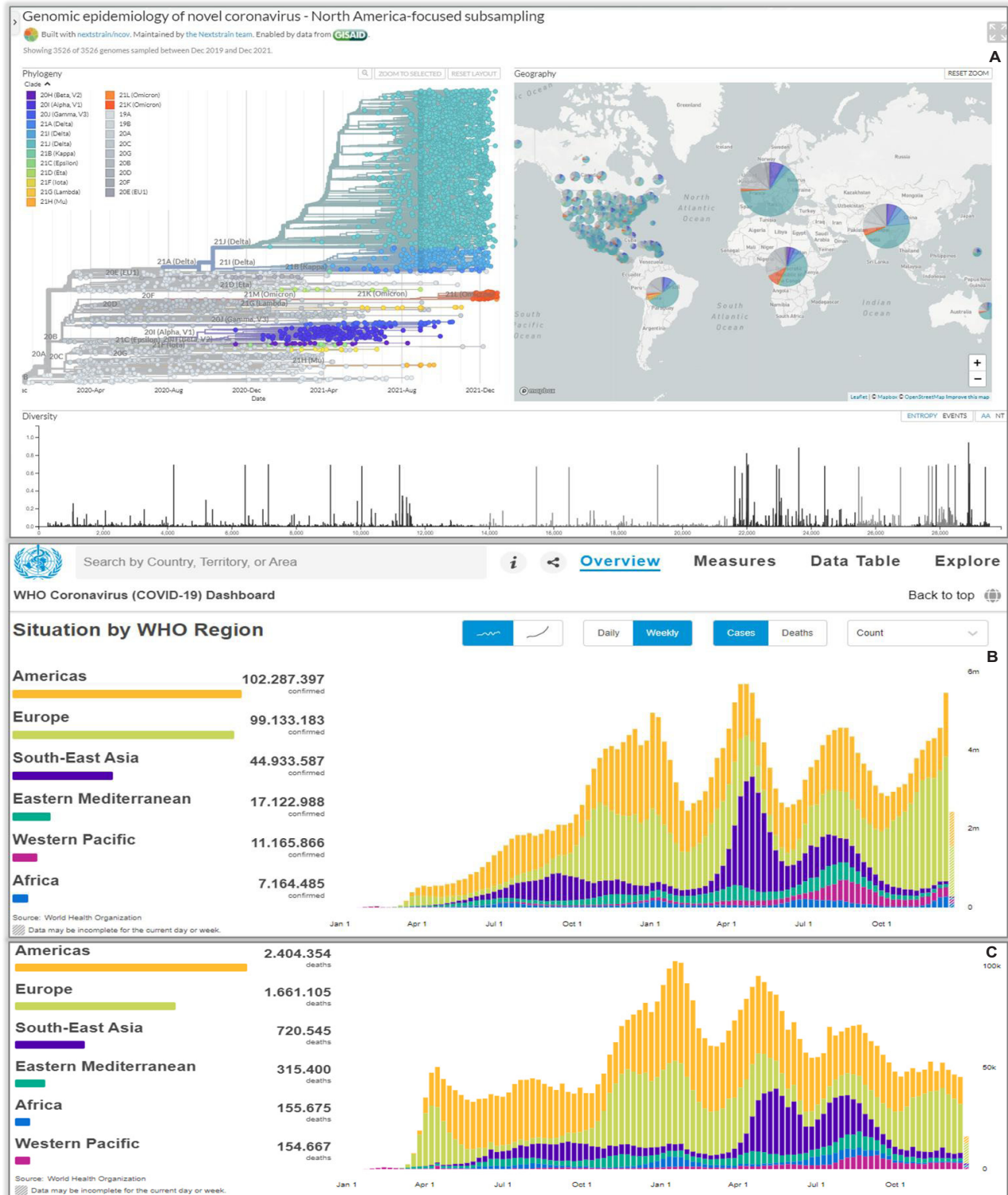


Figure 2. Public web platforms developed for SARS-CoV-2/COVID-19. A. Phylogeny, phylogeography and virus diversity generated by GISAD (www.gisaid.org). B. COVID-19 pandemic traceability reported from January to October 2021 by John Hopkins University, USA (<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>). Number (x1000) of positive cases by WHO regions. C. Number of death cases by regions.

Figura 2. Plataformas web públicas desarrolladas para SARS-CoV-2/COVID-19. A. Filogenia, filogeografía y diversidad del virus generadas por GISAD. B. Trazabilidad pandémica de COVID-19. Número (x1000) de casos positivos por regiones OMS. C. Número de muertes por regiones.

from 2021 productive data (Rivas-Valencia *et al.*, 2021). The MJP Special Issue includes four contributions regarding the importance of innovating production through the use of native resources to ensure productive sustainability with minimum environmental impact. The focus was to reduce dependence on foreign agricultural supplies provided by international consortiums. The dependence effect on international supplies is evidenced by the COVID-19 crisis, as it has a direct impact on global production and supply chains. International consortiums produce supplies of high agricultural inputs, such as chemical fertilizers, pesticides, and hybrid and varieties seeds, some produced by transgenic technology. These consortiums, such as Bayer and Pfizer, may also have commercial divisions for the human health sector. A proposal to encourage research on native plant germplasm was addressed with tomato (*Solanum lycopersicum*) as a study case (Cortez-Madrigal *et al.*, 2021). In addition, biotechnological use of microbiological resources to enhance soil nutrient availability and plant nutrient uptake; and the potential as control agents, were discussed by authors from Mexican leading public research centers (Zelaya-Molina *et al.*, 2021; Samaniego-Gaxiola 2021; Ayala-Zepeda *et al.*, 2021).

Agriculture transcendence. The current consumer society, abruptly interrupted by widespread social confinement and distancing as mitigation strategies against COVID-19, evidenced the intricate network of human dependencies largely induced as essential material needs. However, it was evident that food and health are the true fundamental rights of life. Agriculture, underestimated since the Industrial Revolution as an engine of economic and financial development on a large scale, patented its civilizing condition and the motherhood of human culture. The great centers of agricultural origin were

de Salud (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021) son abordados en el Número Especial RMF.

COVID-19 Y SEGURIDAD AGROALIMENTARIA

La Agricultura y producción alimentaria. En México y otros países, la agricultura fue declarada actividad esencial en el marco de la contención absoluta de las actividades humanas como estrategia de mitigación de la pandemia SARS-CoV-2/ COVID-19. Esto implicó la continuidad productiva para el suministro mundial de alimentos. Consecuentemente, el sector agrícola fue el único que mantuvo un crecimiento positivo respecto a otros sectores económicos. Sin embargo, esto implicó un riesgo sanitario para este sector. Este aspecto y las estrategias implementadas para mitigarlas se analizan en otra sección. El aporte agrícola al PIB nacional fue abordado con datos productivos 2020 y parcialmente del 2021 (Rivas-Valencia *et al.*, 2021). En cuatro contribuciones del Número Especial RMF se expuso la importancia de innovar la producción mediante el empleo de recursos nativos para asegurar la sustentabilidad productiva, con menor impacto ambiental, y para disminuir la dependencia de insumos agrícolas foráneos distribuidos por consorcios internacionales. El efecto de la dependencia de insumos fue evidenciado por COVID-19 al impactar directamente en cadenas de suministros mundiales debido a la globalización de procesos productivos. Insumos de alta demanda agrícola, como semilla de híbridos y variedades generadas por procesos convencionales o con ingeniería genética, fertilizantes químicos, y pesticidas son producidos por consorcios internacionales, varios de los cuales poseen también divisiones comerciales para el sector salud como Bayer y Pfizer. La propuesta de incentivar la investigación de germoplasma vegetal nativo fue abordado con

the base of the *demos*, the evolution of language (Goettsch *et al.*, 2021), and the primordium of scientific thoughts. The COVID-19 health crisis demands a profound review of agriculture as a cultural, tangible, and intangible heritage of humanity, a guarantor of well-being, and a promoter of nation's and people's stability. But it also calls for a review of intensive and extensive production models with a strong impact on the quality and food safety, productive assets, agroecosystemic resources, and the environment. Agriculture has been questioned for its direct and indirect effect on the *carbon footprint* (Sui and Wenquiang, 2021). In addition, it has been postulated that Agriculture and urbanization have caused deforestation, enhancing the origin of zoonotic diseases (Lal, 2020). A recent paper reports that 35% of wild plants, including emblematic crops such as coffee, avocado, and cocoa, are threatened with extinction due to the conversion of natural habitats for human use. The main causes included the abandonment of traditional agricultural methods by extensive mechanization, widespread use of herbicides and pesticides, invasive species and pests, as well as contamination by genetically modified crops, overharvesting, and logging (Goettsch *et al.*, 2021).

Sustainable and resilient agriculture. Agriculture lied on natural resources with high resilience and ecosystemic contributions. The CO₂ sequestration and its conversion into food is a fundamental agricultural contribution to the *carbohydrate footprint* (a positive term proposed for conversion of CO₂). Its contribution to the biogeochemical cycles is highly dynamic and effective. Agriculture can readily be integrated into a systemic and sustainable environmental model with greater efficiency than other sectors of the economy. These sectors, however, need to be incorporated into this model based on a deep review that includes the

el jitomate (*Solanum lycopersicum*) como estudio de caso (Cortez-Madrigal *et al.*, 2021), y el empleo biotecnológico de recursos microbiológicos como fijadores de nutrientes y como agentes de control biológico fueron discutidos por investigadores de centros públicos de investigación de vanguardia en México (Zelaya-Molina *et al.*, 2021; Samaniego-Gaxiola 2021; Ayala-Zepeda *et al.*, 2021).

Trascendencia agrícola. La actual sociedad de consumo, abruptamente interrumpida por el confinamiento y distanciamiento social generalizado como estrategias de mitigación contra COVID-19, evidenció la intrincada red de dependencias humanas en su gran mayoría inducidas como necesidades materiales esenciales. Sin embargo, fue evidente que el alimento y la salud son los verdaderos derechos fundamentales de la vida. La Agricultura, subestimada desde la Revolución Industrial como motor de desarrollo económico y financiero de gran escala, patentizó su condición civilizatoria y madre de la cultura humana. Los grandes centros de origen agrícola fueron la simiente de los *demos*, la evolución de la lengua (Goettsch *et al.*, 2021) y los primordios del pensamiento científico. La crisis sanitaria COVID-19 obliga a una revisión profunda de la Agricultura como patrimonio cultural, material e inmaterial de la humanidad, garante de bienestar y promotor de la estabilidad de los pueblos. Pero, además, exige revisar los modelos de producción intensivos y extensivos con fuerte impacto en la calidad e inocuidad de alimentos, activos productivos, recursos agroecosistémicos y el ambiente. La agricultura ha sido cuestionada por su efecto directo e indirecto en la *huella de carbono* (Sui y Wenquiang, 2021). Además, se ha postulado que la Agricultura y la urbanización han causado la deforestación, potenciando el origen de enfermedades zoonóticas (Lal, 2020). Un reciente trabajo reporta que 35% de las plantas silvestres, entre las

balance between real needs and consumption. The paradox is the growing demand for food worldwide. Therefore, the essential nature of agriculture transcends the current COVID-19 pandemic. Consequently, agricultural innovation, within an environmental and productive framework, must be the perspective to be promoted. However, it is necessary to recognize countries' productive particularities and the need for public policies that cut across institutions and actors of the productive sector. Similarly, FAO's 'Zero Hunger', and the UN's 'Sustainable Development' with horizons to 2030, international policies must articulate their traditional programmatic schemes with aggressive and de-bureaucratizing operational and financial strategies (UN, 2015). Otherwise, the following UN resolution will be a utopia: *'We are resolved to end poverty and hunger worldwide by 2030, to combat inequalities within and among countries, to build peaceful, just and inclusive societies, to protect human rights and promote gender equality and the empowerment of women and girls, and to ensure the lasting protection of the planet and its natural resources'*.

The essentiality of Agriculture implied higher clinical risks to COVID-19, albeit with lower infection rates, in the rural population. Preliminary data on SARS-CoV-2 case fatality in rural areas was higher (12.4%) than in urban areas (8.4%) (Rodríguez, 2021). The explanation is the infrastructure, human resources, and accessibility limitations to primary and secondary health services. The risk of contagion among agricultural workers affected the different productive stages and caused a contraction of local markets, mainly supply centers in urban areas (Cruces-Pedraza, 2021; Castañeda-Cabrera *et al.*, 2021; Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; González-Gaona *et al.*, 2021; Reyes-Tena *et al.*, 2021). However, it is necessary to emphasize that Mexican agricultural

que se encuentran cultivos emblemáticos como el café, aguacate y cacao, están amenazados de extinción a causa de la conversión de hábitats naturales para uso humano. Las principales causas incluyeron el abandono de métodos agrícolas tradicionales por mecanización extensiva, uso generalizado de herbicidas y pesticidas, especies invasoras y plagas, aunado a la contaminación por cultivos genéticamente modificados, recolección excesiva y tala (Goettsch *et al.*, 2021).

Resiliencia y sustentabilidad agrícola. La agricultura se fundamenta en uso de recursos con gran capacidad de resiliencia y fuertes aportes ecosistémicos. El secuestro de CO₂ y su conversión en alimento, es la gran contribución agrícola a la *huella del carbohidrato* (término propuesto en referencia ecosistémica positiva para la conversión del CO₂), y su valor en los ciclos biogeoquímicos es altamente dinámico y efectivo. La Agricultura puede rápidamente integrarse a un modelo ambiental sistémico y sustentable con mayor eficiencia que otros sectores de la economía, los cuales requieren incorporarse a este modelo con base en una profunda revisión que incluya el equilibrio entre necesidades reales y consumo. La paradoja es la creciente demanda de alimentos a nivel mundial. Así, la esencialidad de la Agricultura trasciende la actual pandemia COVID-19. En consecuencia, la innovación agrícola, en un marco ambiental y productivo, es la perspectiva futura que debe impulsarse, en concordancia con el contexto de cada país, mediante políticas públicas transversales a las instituciones y actores del sector productivo. Análogamente, políticas internacionales como 'Hambre Cero' de FAO y 'Desarrollo Sostenible' de la ONU con horizontes al 2030 deben articular sus modelos programáticos tradicionales con estrategias operativas y financieras agresivas y desburocratizadoras (ONU, 2015). De otra manera la siguiente resolución de la ONU

policies embraced neoliberalism in the 1980s. It implied gradual elimination or privatization of essential organizations such as FERTIMEX, ANSA, CONAFRUT, INMECAFE, etc. With the paradigm of modernizing the Mexican economy (i.e., privatization), the agriculture sector was relegated under the assumption that importation was cheaper than production. Currently, this vision has been partially reversed, essentially due to the initiative of the productive sector. The COVID-19 pandemic demonstrated that only those countries with a solid primary sector economy may guarantee food security and strategies that made great sense facing the pandemic.

Migrants and rural remittances. It is paradoxical that migrants, who began their territorial displacement precisely because of neoliberal policies detrimental to farming, and due to the long relinquishment of agricultural structural strategies, sent record remittances that impacted mainly in Mexican rural areas (Rivas-Valencia *et al.*, 2021). Conversely, in the cities, employment was canceled or precarious. The funneling of money overseas increased. The poor ‘injecting’ and the rich ‘exporting’ capitals. Thus, facing the COVID-19 crisis, it was the rural sector, through production and remittances, which contributed to its mitigation effect on the Mexican economy (Rivas-Valencia *et al.*, 2021). In 2020, remittances from Mexicans (mainly from the USA) reached an historical maximum equivalent to 3.8% of GDP, which represented US\$ 40,606.60 million, 11.4% higher than in 2019. Similarly, as of September 2021, remittances worth US\$ 37,300.00 million, a historical record comparable to 2020 (Carbajal, 2021).

Global food production. On a global scale, agrofood trade was US\$66.703 billion, of which

será una utopía: *‘Estamos resueltos a poner fin a la pobreza y el hambre en todo el mundo de aquí a 2030, a combatir las desigualdades dentro de los países y entre ellos, a construir sociedades pacíficas, justas e inclusivas, a proteger los derechos humanos y promover la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de las mujeres y las niñas, y a garantizar una protección duradera del planeta y sus recursos naturales’.*

La esencialidad de la Agricultura implicó mayores riesgos clínicos por COVID-19, aunque con menores tasas de contagio, en la población rural. Datos preliminares sobre letalidad de SARS-CoV-2 en zonas rurales fue mayor (12.4%) que en zonas urbanas (8.4%) (Rodríguez, 2021), en gran medida por restricciones de infraestructura, recursos humanos, e inaccesibilidad a servicios básicos de salud. El riesgo de contagio entre trabajadores agrícolas afectó los diferentes eslabones productivos y provocó una contracción de mercados locales, principalmente centrales de abasto en áreas urbanas (Cruces-Pedraza, 2021; Castañeda-Cabrera *et al.*, 2021; Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; González-Gaona *et al.*, 2021; Reyes-Tena *et al.*, 2021). Sin embargo, es necesario contextualizar que las políticas agrícolas, a partir de 1988 con la formalización del neoliberalismo económico, han tenido un grave deterioro con la desaparición o privatización de organismos esenciales como FERTIMEX, ANSA, CONAFRUT, INMECAFE, etc. Con el paradigma de modernizar la economía mexicana (i.e., privatizador) se desdeñó el campo con la asunción que era más barato importar que producir. Actualmente, se ha logrado revertir parcialmente esta visión, en gran parte por iniciativa del sector productivo. La pandemia COVID-19 demostró que solo aquellos países con una sólida economía del sector primario pudieron garantizar su autosuficiencia y seguridad alimentaria, estrategias que cobraron un gran sentido ante la pandemia.

59.2% corresponded to Mexican sales (Villalobos-Arámula, 2021). At the end of 2020, agricultural and fisheries export value was the highest in 28 years since 1993 (SIAP, 2021; Rivas-Valencia *et al.*, 2021) (Figure 3). The sector dynamism placed Mexico as the 12th largest agricultural producer and 3rd in Latin America, esteeming a positive balance in 2020 (SIAP, 2021). At this writing close, Mexico's GDP stands at MX\$ 17'841,981 million (+4.6%) with an employment and consumption recovery close to pre-pandemic conditions. The primary sector contribution was MX\$ 617,130 million (INEGI, 2021). However, caution of the Mexican economy's recovery prevails as in the rest of the world. Full economic reactivation may depend on the progress of vaccination programs against SARS-CoV-2.

Basic food basket value. Regarding the impact of COVID-19 on food value, in terms of the basic food basket in Mexico, measured through the National Consumer Price Index (INPC, in Spanish) remained relatively stable (105.9, 2019 vs. 116.9, 2021) (BANXICO, 2021), with some exceptions in 2020 of products that decreased in price due to consumption contraction, distribution channels reduction, partial closure of supply centers and local markets (Reyes-Tena *et al.*, 2021). Specifically, the prices of agricultural products of the basic food basket increased from MX\$ 454.9 in 2019 to 535.4 in November 2021 (INEGI, 2021), implying an average increase of 15.3%. However, these increases contrast with the disproportionate global increases in computer inputs, digital services, and medicines under the supply-demand premise, not compatible with an international health crisis. On the other hand, in agricultural production, the commodities' increased value in international markets excludes the farmer from the benefits transferred to the intermediaries of distribution chains, traders, and

Migración y remesas rurales. Es paradójico que los migrantes, quienes iniciaron su desplazamiento territorial, precisamente por políticas neoliberales perjudiciales para el campo, y el largo abandono de estrategias estructurales productivas, enviaran remesas récord que impactaron principalmente en los entornos rurales mexicanos (Rivas-Valencia *et al.*, 2021), mientras que en las grandes urbes se canceló o precarizó el empleo y se acentuó la fuga de capitales nacionales. Los pobres 'inyectando' dinero y los ricos haciendo 'trasfusión' de capitales. Así, ante la gran crisis COVID-19, fue el campo, por la vía productiva y las remesas, quien contribuyó a mitigar el efecto COVID-19 en la economía mexicana (Rivas-Valencia *et al.*, 2021). En 2020, las remesas de mexicanos residentes en el extranjero (principalmente EUA) llegó a su máximo histórico equivalente al 3.8% del PIB, lo que se traduce en US\$ 40,606.60 millones, 11.4% mayor que en 2019. Similarmente, a septiembre 2021 se enviaron remesas por US\$ 37,300.00 millones, registro histórico comparable al 2020 (Carbajal, 2021).

Producción alimentaria global. A escala global, el comercio agroalimentario fue de US\$ 66,703 millones, de los cuales 59.2% correspondió a ventas realizadas por México (Villalobos-Arámula, 2021). Al finalizar 2020, el valor de las exportaciones agropecuarias y pesqueras fue la mayor en 28 años desde 1993 (SIAP, 2021; Rivas-Valencia *et al.*, 2021) (Figura 3). Este dinamismo del sector permitió a México ubicarse como 12° productor agropecuario y 3° en América Latina favoreciendo una balanza positiva en 2020 (SIAP, 2021). Al cierre de este escrito, el PIB de México se ubica en MX\$ 17'841,981 millones (+4.6%) con una clara recuperación del empleo y del consumo cercano a la situación pre-pandémica, con un aporte del sector primario (agrícola) de MX\$ 617,130 millones (INEGI, 2021). No obstante, la cautela en

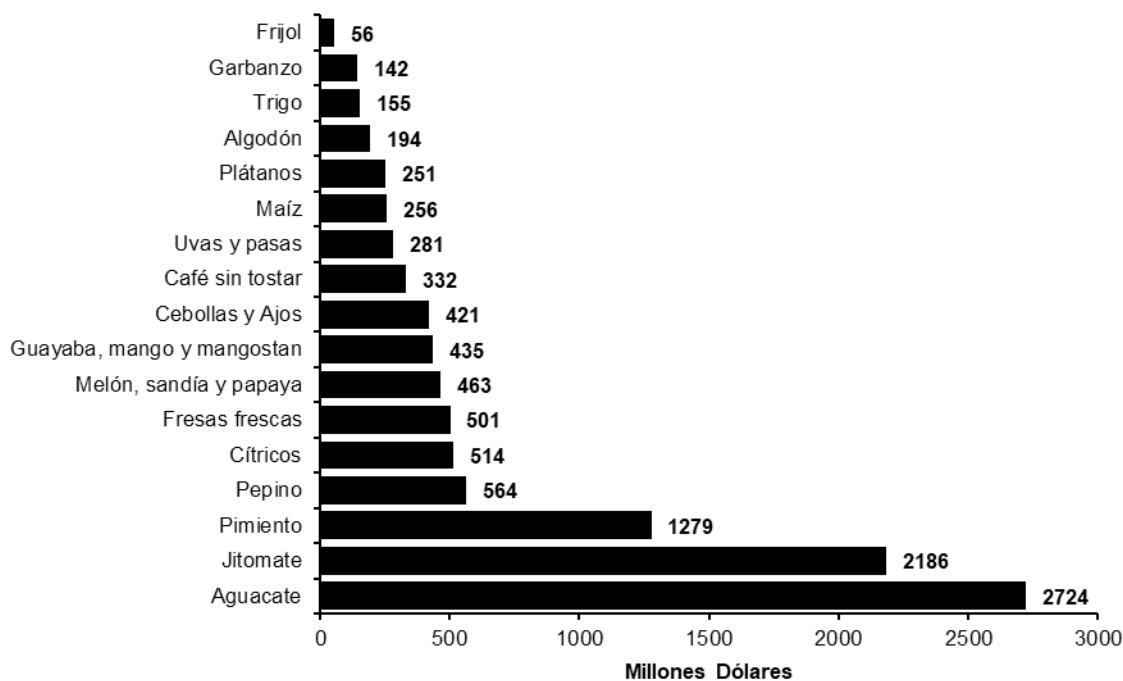


Figure 3. Mexican agricultural products with the highest export values in 2020. Units in millions of dollars. Data source: SIAP, (2021). Source: Rivas-Valencia *et al.*, 2021.

Figura 3. Productos agrícolas mexicanos con mayor valor de exportación en 2020. Unidades en millones de dólares. Fuente datos: SIAP, (2021). Fuente: Rivas-Valencia *et al.*, 2021.

packers. The coffee commodity, with an increase of 103% in 2021, illustrates this fact (Hernández, 2022; Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021). This commercial trend must be remedied under a sustainable and ‘fair’ production approach to the environment. But also fair for farmers and the labor producing and harvesting the food.

Conservation of productive resources. It is possible to promote agriculture based on agroecosystem services optimization, conservation of productive resources, use of native germplasm, preservation of farming knowledge, and return of productive value to the producer (Ayala-Zepeda *et al.*, 2021; Cortéz-Madrigal *et al.*, 2021; Samaniego-Gaxiola, 2021; Zelaya-Molina *et al.*, 2021). However, in Mexican rural areas, as in other countries, the agricultural production

la recuperación prevalece para México y el resto de mundo. Se ha pronosticado que ésta dependerá del avance de vacunación contra el SARS-CoV-2, lo cual permitiría la total reactivación económica.

Valor de canasta básica. Respecto al impacto de COVID-19 en el costo de alimentos, en términos de la *canasta básica* en México, medido a través del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) se mantuvo relativamente estable (105.9, 2019 vs 116.9, 2021) (BANXICO, 2021), con algunas excepciones en 2020 de productos que disminuyeron en precio por contracción de consumo, reducción de canales de distribución, cierre parcial de centrales de abasto y mercados locales (Reyes-Tena *et al.*, 2021). Específicamente, los precios de productos agrícolas de la canasta básica, pasaron de MX\$ 454.9 en 2019 a 535.4 en noviembre 2021 (INEGI,

exhibits great diversity in terms of technology, culture and social organization. Simplifying to one production model is not feasible. A single model may not be in agreement with regional biotic and abiotic complexity and to the specific production unit conditions. Agriculture cannot be conceived as bio-factories with standardized and seasonally reproducible processes. It is necessary to differentiate, for example, technified production systems from traditional, subsistence or organic systems, which have less impact on soil and plant microbial systems.

Technified production systems (i.e., generally extensive monocultures of commercial varieties, use of fertilizers, agrochemicals, and costly irrigation systems, etc.) can have a strong impact on productive (i.e., soil, water, varieties) and environmental resources. But they are also the biggest food producing units. Therefore, the great agricultural challenge is to find a balance between systems created to meet the world's great food needs, the preservation of productive resources, and minimum environment impact. But this only possible with a comprehensive public policies framework including research, and development and technological innovation (R + D + I).

The importance of a political-scientific framework is illustrated by the gradual elimination, for almost two decades, of *methyl bromide* from world agriculture (SISSAO, 2014), and the current process to eliminate glyphosate from Mexican agriculture (<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/por-que-decir-no-al-glifosato?idiom=es>). However, an innovation is linked to other technological developments. Its elimination or modification must include an integrated approach to generate effective alternatives. For example, transgenic varieties, such as glyphosate-resistant soybean, or pest-resistant corn using the *Bt* gene. Bayer-Monsanto's

2021), implicando un incremento promedio de 15.3%. Sin embargo, estos incrementos contrastan con los aumentos mundiales desproporcionados en insumos computacionales, servicios digitales y medicamentos bajo la premisa de oferta-demanda, no compatible con una contingencia de salud internacional. Por otra parte, en producción agrícola, el incremento del valor de alimentos en mercados internacionales excluye al productor de los beneficios transferidos a cadenas de distribución de intermediarios, comercializadoras y empacadoras. El caso del café, con un incremento del 103% en 2021, ilustra esta realidad (Hernández, 2022; Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021). Esta tendencia comercial debe subsanarse bajo un enfoque de producción sustentable y 'justa' al ambiente. Pero también justa para aquellas(os) que cultivan y cosechan los alimentos.

Conservación de activos productivos. Es posible impulsar una Agricultura fundamentada en la optimización de servicios agroecosistémicos, conservación de activos productivos, uso de materiales vegetales nativos, preservación de saberes, retorno de valor productivo al productor (Ayala-Zepeda *et al.*, 2021; Cortéz-Madrigal *et al.*, 2021; Samaniego-Gaxiola, 2021; Zelaya-Molina *et al.*, 2021). Sin embargo, el entorno rural de México y de todos los países con producción agrícola, es tecnológica, cultural y socialmente muy diverso. Simplificar a un modelo productivo sería equivocado. No estaría acorde con la complejidad biótica y abiótica regional y particular a cada unidad de producción. La Agricultura no puede concebirse como biofábricas con procesos estandarizados y reproducibles estacionalmente. Es necesario diferenciar, por ejemplo, los sistemas productivos tecnificados, de aquellos tradicionales, de subsistencia, u orgánicos, los cuales tienen un menor impacto en los sistemas microbianos del suelo y planta.

HT3 Smartstax Pro corn was recently banned by COFEPRIS Mexico for human consumption. This variety integrates genes involved in the *Bt* toxins production and genes for tolerance to *glyphosate* (established as a probable carcinogen by WHO in 2015), *glufosinate* and *dicamba*, three herbicides that broaden the spectrum of biological action. The use of these herbicides may affect plant and microbial diversity and introduces selective pressures not yet well studied. But this technology enables extensive production of crops such as soybeans and corn. Vanning *glyphosate de facto* eliminates the business of transgenic varieties.

Food safety and human health. High tech agriculture represents a significant investment risk due to sensible profit, conditioned by multiple factors being the perishable commodities condition the most important. It limits a broad market penetration and commercial time frames. Marketing is constrained and limited to pre-established agreements. For this production type Good Agricultural Practices (GAP) and Good Manufacturing Practices (GMP) were adopted in the 1990s for food safety. That is food without, or minimum, physical, chemical, or biological contaminants at production and packing sites. GAP and GMP standards represent an increase in production cost. However, the establishment of sanitizing measures towards COVID-19 (Muñoz-Castellanos *et al.*, 2021; Schneegans-Vallejo *et al.*, 2021), were feasible by using infrastructure already adopted such as restrooms and hygiene centers for hand washing. The hygienist organizational culture was already in place (Vargas-Arispuro *et al.*, 2021). GAP and GMP are essential to reduce the risk of human diseases, mainly due to enterobacteria (*Salmonellosis*) or vibrios (*cholera*). In fresh consumption, food safety is critical, as in berries, vegetables, and fruits. High technology production,

Los sistemas productivos tecnificados (i.e., monocultivos generalmente extensivos, insumos varietales, fertilizantes, agroquímicos, sistemas de riesgo, etc.) pueden tener un fuerte impacto en los activos productivos (i.e., suelo, agua, variedades) y ambientales. Pero también son los que producen el mayor volumen de alimentos. El gran reto agrícola es encontrar el balance entre sistemas creados para satisfacer las grandes necesidades mundiales de alimentos con la preservación de recursos productivos y por ende del ambiente. Pero esto solo será posible en el marco de políticas públicas que incluya la investigación, desarrollo e innovación tecnológica (I + D + i).

La importancia de un marco político-científico se ilustra con la eliminación gradual, por casi dos décadas, del *bromuro de metilo* de la agricultura mundial (SISSAO, 2014), y el actual proceso para eliminación del glifosato de la agricultura mexicana (<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/por-que-decir-no-al-glifosato?idiom=es>). Sin embargo, una innovación está vinculada a otros desarrollos tecnológicos. Su eliminación o modificación debe incluir un enfoque integral para generar alternativas efectivas. Por ejemplo, variedades transgénicas, como la soya resistente al glifosato, o el maíz resistente a plagas mediante el gen *Bt*. El maíz *HT3 Smartstax Pro*, de Bayer-Monsanto, recientemente fue prohibido por COFEPRIS México para consumo humano. Esta variedad integra genes involucrados en la producción de toxinas Bt y genes de tolerancia al *glifosato* (establecido como probable cancerígeno por la OMS en 2015), *glufosinato* y *dicamba*, tres herbicidas que amplían el espectro de acción biológica. El uso de estos herbicidas puede afectar la diversidad vegetal y microbiana e introduce presiones selectivas poco estudiadas. Pero posibilita la producción extensiva de cultivos como soya y maíz. Prescindir del glifosato elimina *de facto* el negocio de variedades transgénicas.

generally associated with agro-export models, has contributed to human health mainly by preventing microbiological risks. A human disease outbreak due to products obtained at point-of-sale can be traceable.

The successful food safety approach in crops is analogous to animal production. However, in this case, the limited biological barriers with humans allowed recurrent emergence of zoonotic diseases, as exemplified with the *coronaviruses*, SARS-CoV-2, and *orthomyxoviruses*, with the influenza virus. In Mexico, there is the precedent of the 2009 epidemic outbreak of the *Influenza A H1N1*, becoming pandemic. This variant originates from a virus mutation in a pork farm. Similarly, the first 1997 outbreak of avian *Influenza A H5N1* in Hong Kong was associated with a chicken farm. Prevention of human diseases requires a systemic approach toward food quality produced in healthy environments, therefore crop production must be integrated with animal farming and human population in the vision of 'one health' a new 'health architecture' proposed by WHO (<https://www.who.int/es/news-room/commentaries>).

International plant health. The international phytosanitary approach includes not only food safety strategies. It also incorporates measures to contain pest movement (e.g., pathogens, weeds, insects, etc.) at regional and transboundary levels. A phytosanitary certificate is an internationally adopted instrument developed under the preventive exclusion principle. It explains the success of Mexican growing export volumes (Rivas-Valencia *et al.*, 2021). In this context, international efforts toward health production were recognized by FAO/UN, paradoxically in the same year that COVID-19 was declared a pandemic, for its contributions to guaranteeing world food production while minimizing sanitary risks (Gutiérrez-Samperio,

Inocuidad y salud. La tecnificación en agricultura representa un alto riesgo debido al margen de utilidad muy sensible, condicionado por múltiples factores, el más débil es la condición preecedera de productos cosechados, que impide crear estrategias de mercado de amplia penetración y largo plazo. En consecuencia, la mercadotecnia es limitada y acotada a compromisos preestablecidos de compra-venta. A pesar de ello, en este tipo de agricultura, desde los 90's se adoptaron estándares de buenas prácticas agrícolas (BPA) y de manufactura (BPM) para la producción y comercialización, con el fin de satisfacer la demanda de productos agrícolas inocuos, i.e., libre de contaminantes físicos, químicos o biológicos. La aplicación de estas normas y regulaciones de BPA y BPM representa un incremento del costo productivo. Sin embargo, el establecimiento de medidas sanitizantes emergentes ante COVID-19 (Muñoz-Castellanos *et al.*, 2021; Schneegans-Vallejo *et al.*, 2021), fueron rápidamente implementadas por infraestructura instalada, por ejemplo, baños y centros de higiene para lavado de manos, y por la existencia de una cultura organizacional higienista (Vargas-Arispuro *et al.*, 2021). Por el consumo en fresco, cultivos como berries, hortalizas y frutales, las BPA y BPM son fundamentales para reducir riesgos de enfermedades en humanos principalmente por enterobacterias (*Salmonelosis*) o vibrios (*Cólera*). Este enfoque productivo, generalmente asociado a modelos agroexportadores, ha contribuido a preservar la salud humana principalmente de riesgos microbiológicos. En caso de brotes de enfermedad en centros de consumo humano, permite la trazabilidad comercial.

El marco de inocuidad exitoso en alimentos vegetales, es análogo en producción animal. Sin embargo, en este sector las limitadas barreras biológicas con el humano han permitido la recurrente emergencia de enfermedades zoonóticas. Es el caso de los *coronavirus*, como SARS-CoV-2, y los

2021). This phytosanitary approach has conceptual and methodological strengths that could provide a rational framework for the human and animal health systems (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021; Mora-Aguilera *et al.*, 2021). Similarly, Pérez-Hernández and coworkers (2021), adapted for plant epidemics a spatial analytical approach developed for COVID-19. Epidemiological cross-cutting applicability is possible because is based on populations and the universal principle of contagion, which operates in the time-space dimension. The CP-LANREF team developed an Epidemiological Surveillance System for SARS-CoV-2/COVID-19 using phytosanitary experiences (Mora-Aguilera *et al.*, 2022).

Agriculture policies and human health. The resilience of agricultural practices is inherent to the changing environment and the need for continuous adaptation along the production cycle. The epistemological and heuristic nature of agriculture, together with the increase in food global demands, represents an agricultural-sector opportunity in the face of COVID-19. The productive sector responsiveness is fundamental to influence public policy and agricultural planning to maintain the production and consumption dynamic. A search for a new agricultural paradigm is also a challenge. For example, the export-extensive vision must be adapted to small producers by identifying opportunities in local consumption markets whereas optimizing agricultural practices with organic and biological inputs viable for small-scale agriculture (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; Ayala-Zepeda *et al.*, 2021; Samaniego-Gaxiola, 2021; Zelaya-Molina *et al.*, 2021). Agricultural policies cannot be established with the same free-market principles applied in secondary and tertiary economic sectors. However, even in these cases, prevails a recurrent government ‘rescue’ upon business ‘mistakes’.

orthomyxovirus, con el virus de la influenza. En México, existe el antecedente del brote epidémico en 2009 que originó la pandemia de *Influenza A H1N1*. Esta variante derivó de una mutación viral en una granja porcina. Similares eventos condujeron al primer brote de *Influenza aviar A H5N1* de 1997 en Hong Kong, a partir de una granja de pollos. En consecuencia, el riesgo sanitario es sistémico e indica que la salud de cultivos agrícolas debe integrarse a la salud animal y humana en la visión de ‘una misma salud’ una nueva ‘arquitectura sanitaria’ propuesta por la OMS (<https://www.who.int/es/news-room/commentaries>).

La fitosanidad internacional. El enfoque fitosanitario internacional incluye no solo estrategias de inocuidad, también incorpora medidas para contener y limitar la movilización de plagas (p.e., patógenos, malezas, insectos, etc.) a nivel regional y transfronterizo. El certificado fitosanitario o de movilización es un instrumento internacional de gran importancia operado bajo el principio preventivo de exclusión y que explica los crecientes volúmenes de exportación de México (Rivas-Valencia *et al.*, 2021). En este contexto, la sanidad agrícola ha sido reconocida por la FAO/ONU, paradójicamente el mismo año de la declaratoria de COVID-19 como pandemia, por sus aportes en garantizar la producción mundial de alimentos minimizando riesgos sanitarios (Gutiérrez-Samperio, 2021). El modelo fitosanitario posee fortalezas conceptuales y metodológicas que podrían analizarse y transferirse en el contexto de la salud humana y animal (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021; Mora-Aguilera *et al.*, 2021). Análogamente, Pérez-Hernández y colaboradores (2021), adaptaron para epidemias de plantas un enfoque espacial analítico implementado para COVID-19. La transversalidad aplicativa epidemiológica es posible porque se fundamenta en la *población* y en el principio universal

For example, *Fobaproa* (1994) in Mexico, and the *real estate bubble* (2008) in the USA which has a worldwide impact. ‘Protectionist’ policies prohibited in agricultural trade agreements have been ineffective because countries require a food production guarantee. Producers are fully aware of the economic-political frameworks needed to provide high-risk investments certainty. As an example, in Mexico, Aguascalientes producers of guava reported a lack of economic-policy protection against competitiveness detriment, which worsened with the COVID-19 pandemic (González-Gaona *et al.*, 2021). In contrast, avocado producers had strong government support, placing this sector in the first position worldwide making a significant contribution to the country’s economy (Rivas-Valencia *et al.*, 2021; Castañeda-Cabrera *et al.*, 2021).

New productive paradigm. Agriculture, in its biological, technological, socio-cultural, and economic diversity, faces the opportunity to develop a new productive paradigm, currently based on *monoculture + genetics (varieties) + chemistry (fertilizers and pesticides)*, and to venture into innovative models for national and international trade. The objective is to benefit producers-consumers, to guarantee security and food safety, and in agreement with international policies of sustainable development (UN), climate mitigation (IPCC), and protection of human health (WHO).

The pandemic represents digital and technological innovation challenges for Mexican and global agriculture leading to frontier research. For instance, there is a need for scaling and optimizing the biological and environmental functional relationships towards sustainable agriculture. Research also requires new approaches to develop and enhance productive knowledge

de *contagio*, el cual opera en la dimensión tiempo-espacio. El equipo CP-LANREF desarrolló un Sistema de Vigilancia Epidemiológica para SARS-CoV-2/COVID-19 empleando experiencias fitosanitarias (Mora-Aguilera *et al.*, 2022).

Política agrícola y salud humana. La resiliencia tecnológica de la Agricultura es inherente a la naturaleza cambiante del ambiente y a la necesidad adaptativa el proceso productivo incluso dentro de un mismo ciclo de producción. La naturaleza epistemológica y heurística de la Agricultura, aunada al incremento de la demanda internacional de alimentos representa un área de oportunidad para el sector agrícola ante COVID-19. La capacidad de reacción del sector productivo es determinante para incidir exitosamente en política pública y planeación agrícola, con el fin de mantener la dinámica productiva mediante el fortalecimiento de cadenas de consumo y suministro, pero también para la búsqueda de un nuevo paradigma productivo. Por ejemplo, la visión exportadora-extensiva, debe adaptarse a pequeños productores identificando áreas de oportunidad en mercados de consumo local optimizando prácticas agrícolas con insumos orgánicos y biológicos viables a una agricultura de pequeña escala (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; Ayala-Zepeda *et al.*, 2021; Samaniego-Gaxiola, 2021; Zelaya-Molina *et al.*, 2021). Las políticas agrícolas no pueden regirse con los mismos principios del libre mercado del sector secundario y terciario, a pesar que estos son constantemente ‘rescatados’ con recursos públicos ante crisis creadas por ‘errores’ de los mismos sectores. Por ejemplo, *Fobaproa* (1994) en México y la *burbuja inmobiliaria* (2008) en EUA con impacto mundial. Las políticas definidas como ‘proteccionistas’, prohibidas en el contexto de tratados agrícolas comerciales, en la práctica han sido inoperantes ya que los países requieren asegurar la producción de alimentos. Los productores son además

applicable to innovative technology with an impact on extensive, intensive, traditional, and organic agriculture. The current academic and productivity tendency, largely encouraged by institutional competencies, should consider agricultural innovation products as a goal equivalent to the 'virtuous' (or distorted) *impact factor* of highly cited journals. In agriculture, It is not technology the true *factor* of effectiveness?

Achieve global food demands, sustainability, and food security to face COVID-19 and other potential health issues, under the constrain of global agricultural supply chains crisis (required mainly by medium and high technology agriculture), represent a great opportunity to build the agriculture of the future, environment-friendly, reaching the food and health challenges (Ayala-Zepeda *et al.*, 2021; Cortez-Madrigal *et al.*, 2021; Gutiérrez-Samperio, 2021; Samaniego-Gaxiola, 2021; Zelaya-Molina *et al.*, 2021).

Global supply chains and Agriculture. The disruption of industrial supply chains, including the agro-industrial (e.g., production of by-products and processed products) will continue to be a risk factor for the reactivation of national and international economies facing the fourth global epidemic wave. For example, the current chips and semiconductors deficit is causing interruption or production reduction in the automotive and electronics industries. Container shortages (real or simulated) are impacting flow and commodities movements, including agricultural goods, increasing international prices, and inflationary rises. Low cardboard and glass availability has affected the production of packaging systems impacting bottled products commercialization such as tequila, beer, and others. Even with this adverse scenario, the interruption of continuous food supply occurred to a lesser degree than expected,

consientes que requieren un marco económico-político que proporcione certidumbre a sus inversiones de alto riesgo. Por ejemplo, productores de guayabo de Aguascalientes, México reportaron una desprotección de políticas económicas en detrimento de competitividad de la cadena productiva del cultivo, lo cual se agudizó durante la pandemia por COVID-19 (González-Gaona *et al.*, 2021). En contraste, productores de aguacate han tenido un fuerte apoyo federal garantizando a México la primera posición mundial productiva con fuerte contribución en la economía nacional (Rivas-Valencia *et al.*, 2021; Castañeda-Cabrera *et al.*, 2021).

Nuevo paradigma productivo. La Agricultura, en su diversidad biológica, tecnológica, socio-cultural y económica enfrenta la oportunidad de desarrollar un nuevo paradigma productivo, actualmente basado en el *monocultivo + genética (variedades) + química (fertilizantes y pesticidas)*, y de incursionar en modelos innovadores de comercio nacional e internacional. El objetivo debe responder eficazmente en beneficio de productores-consumidores, y garantizar la seguridad y calidad alimentaria en el contexto de políticas internacionales de desarrollo sostenible de la ONU, reducción del impacto climático de la IPCC y la procuración de la salud humana de la OMS.

La pandemia representa un reto y oportunidad para el agro mexicano y mundial en materia de innovación digital y tecnológica que derive en investigación de frontera. Es necesario escalar y optimizar las relaciones benéficas de funcionalidad biológica y ambiental hacia una agricultura sustentable. También es necesario reenfocar la investigación para generar y potenciar el conocimiento productivo aplicable al desarrollo tecnológico innovador con impacto en la agricultura extensiva, intensiva, tradicional y orgánica. El modelo académico y productivista que actualmente prevalece, en gran

at least for agricultural countries such as Mexico with important local and regional distribution networks. Despite the risk of disease for harvesting, processing, transporting and distributing food labor, adherence to *prevention* guidelines in production units allowed their operation (Castañeda-Cabrera *et al.*, 2021; Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; González-Gaona *et al.*, 2021; Reyes-Tena *et al.*, 2021).

Industrial suppliers for cropping have reduced their activities during the COVID-19 pandemic. However, the supply problem has affected differentially depending on the scale of agricultural production (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; González-Gaona *et al.*, 2021). Extensive agriculture could be the most affected, because its production requires diverse and high inputs volumes (fuel, seeds, fertilizers, pesticides, lubricants, spare parts, equipment, etc.), while small producers have been little affected. This segment uses their supplies or exchange (seeds, manure as organic matter, etc.), or acquires them in local or regional markets. This productive resilience was illustrated with urban agriculture in CDMX (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021).

Local supply chains. The COVID-19 crisis in Mexico showed that agricultural commodity diversity played a fundamental role in ensuring a supply of domestic market and auto consumption. This reduced the impact on product shortages or the *basic food basket* cost increase, unlike other countries, mainly European, which were highly dependent on imports of fresh products. Rural and urban central markets maintained the operation applying COVID-19 *prevention* measures, some were shut down for a few days in high epidemic intensity (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; González-Gaona *et al.*, 2021; Castañeda-Cabrera *et al.*, 2021; Cruces-Pedraza, 2021). The central agricultural market (CEDA in Spanish) in CDMX, the major in Mexico, has 327 hectares for operation and selling

medida incentivado por sistemas de competencias institucionales, debe considerar productos de innovación agrícola como una meta equivalente al virtuoso (o desvirtuado) *factor de impacto* de revistas de alta visibilidad y citación. En Agricultura, ¿No es el *impacto* en tecnología el verdadero *factor* de efectividad?.

En el contexto de COVID-19, la ventana de oportunidad ante la necesidad mundial de alimentos, la sustentabilidad y seguridad alimentaria por la crisis de suministros de insumos requeridos, principalmente por la agricultura de mediana y alta tecnología, debe aprovecharse para construir una Agricultura del futuro acorde a los grandes retos climáticos, alimentarios y de salud (Ayala-Zepeda *et al.*, 2021; Cortez-Madrugal *et al.*, 2021; Gutiérrez-Samperio, 2021; Samaniego-Gaxiola, 2021; Zelaya-Molina *et al.*, 2021).

Cadenas globales de suministro y Agricultura.

La ruptura de cadenas de suministro industrial, incluyendo la agroindustrial totalmente dependiente de insumos internacionales, continuará siendo un factor de riesgo para la apertura y reactivación económica nacional e internacional ante una pandemia que transita en su cuarta ola mundial. Por ejemplo, el actual déficit de chips o semiconductores ha ocasionado el cese o reducción de producción en la industria automotriz y electrónica. El déficit de contenedores (real o simulado) está impactando el flujo y movilización de mercancías, incluyendo agrícolas, incrementando los precios internacionales y la inflación en mercados de consumo. La baja disponibilidad de cartón y vidrio ha afectado la producción de sistemas de embalaje que impactan en la comercialización de productos embotellados como tequila, cerveza y otros. Aún con los escenarios adversos, la interrupción del suministro continuo de alimentos ocurrió en menor grado de lo esperado, al menos para países con producción agrícola como

providing 80% and 30% of Mexican city and national demand. This Central has remained active throughout the pandemic despite an epidemic outbreak detected in April 2020, which was promptly mitigated through sanitation, controlled access, sampling, confinements, preventive hospital care, etc. (Bolaños and González, 2020). In this market, the ‘CEDA to your house’ (‘CEDA a domicilio’) program was implemented on March 23, 2020 as an alternative for purchasing and delivering products at home without the implicit risk (<https://www.cedaadomicilio.com/>).

PLANT HEALTH AND COVID-19

Plant health and trade. Mexico maintained its phytosanitary policies focused on plant health, food safety, and security during the COVID-19 pandemic (Rivas-Valencia *et al.*, 2021). At the national level, the National Campaigns and Phytosanitary Epidemiological Surveillance Programs continued operating. These strategies are fundamental to reducing pest entry risk and potential production losses on selected crops (SIRVEF, 2021). Activities included protection and surveillance for more than 35 pests of economic and/or quarantine importance (Rivas-Valencia *et al.*, 2021). These activities allow the issue of export certificates favoring the international fresh products trade. In addition to these efforts, on February 28, 2020, the pilot program for an electronic phytosanitary certificate (ePhyto) was announced to streamline trade between Mexico and the USA (SENASICA, 2021). The Mexican Digital Window for Foreign Trade (VDMCE, in Spanish), created in 2013, has also been fundamental to continue agricultural trade, improving the commodities release efficiency at ports entry. This instrument, created by the Mexican government to guarantee trade and supply, has contributed to SARS-CoV-2 *prevention* by

México con redes locales y regionales de distribución. A pesar del riesgo para personal empleado en cosecha, procesamiento, transporte y distribución de alimentos, la adherencia a los lineamientos de prevención en las unidades de producción permitió mantener en operación las unidades productivas (Castañeda-Cabrera *et al.*, 2021; Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; González-Gaona *et al.*, 2021; Reyes-Tena *et al.*, 2021).

Procesos industriales, proveedores de insumos para la agricultura como combustibles, semillas, fertilizantes, plaguicidas, etc., han reducido sus actividades durante la pandemia COVID-19. No obstante, el problema de insumos ha afectado diferencialmente dependiendo de la escala de producción agrícola (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; González-Gaona *et al.*, 2021). La agricultura extensiva, podría ser la más afectada, debido a que su producción requiere de una variabilidad y altos volúmenes de insumos (semillas, fertilizantes, plaguicidas, lubricantes, refacciones y equipos, combustibles, etc.), mientras que pequeños productores han sido poco afectados, ya que utilizan insumos propios o por trueque (semillas, estiércol como materia orgánica, etc.), o los adquieren en mercados locales o regionales. Esta resiliencia productiva se ilustró con el estudio de caso de productores urbanos de CDMX (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021).

Cadenas de suministro local. La fase de contingencia de COVID-19 en México evidenció que la diversidad de productos agrícolas tuvo un rol fundamental para asegurar el abastecimiento del mercado interno y consumo propio. Esto redujo el impacto en carencia de productos o precios de la *canasta básica*, a diferencia de otros países, principalmente europeos, altamente dependientes de la importación de productos frescos. Los mercados locales, rurales y urbanos (centrales de abasto) estuvieron en funcionamiento aplicando medidas de

Table 1. Thematic category, institutions, main conclusions and authorship of 31 contributions included in the Special Number RMF 'COVID-19 and Plant Health'. Pandemic period 2020-2021.**Cuadro 1. Categoría temática, instituciones, principales conclusiones y autorías de 31 contribuciones que constituyen el Número Especial RMF 'COVID-19 y Fitosanidad'. Periodo pandémico 2020-2021.**

Categoría	Institución	Conclusiones Principales	Referencias
Virus, enfermedad y epidemiología	EUA: UNL México: COLPOS, CIAD, UACH, UAEM	<ul style="list-style-type: none"> - Personas con comorbilidades, menores de edad y no vacunadas, tienen mayor riesgo de contagio. - Creación de protocolos de manipulación de alimentos y desinfectantes para inactivar SARS-CoV-2. - El riesgo de contaminación de alimentos por SARS-CoV-2 es bajo por BPA y BPM - Estudios de SARS-CoV-2, permitirá entender procesos evolutivos y clínicos. 	Gutiérrez-Samperio, 2021; Cruces-Pedraza, 2021; García-Ruiz <i>et al.</i> , 2021; Vargas-Arispuro <i>et al.</i> , 2021; Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021; Muñoz-Castellanos <i>et al.</i> , 2021; Álvarez-Maya <i>et al.</i> , 2021; Schneegans-Vallejo <i>et al.</i> , 2021
COVID-19 y seguridad agroalimentaria	México: INIFAP, CNRG-INIFAP, IPN-CIIDIR, ITSON	<ul style="list-style-type: none"> - La agricultura mexicana, único sector con crecimiento positivo. - Alternativas sustentables y de bajo impacto ambiental coadyuva la producción de alimentos sanos. - El control biológico incentiva una agricultura autosustentable. - El desabasto de insumos agrícolas se registró en áreas de agricultura extensiva. 	Rivas-Valencia <i>et al.</i> , 2021; Zelaya-Molina <i>et al.</i> , 2021; Samaniego-Gaxiola 2021; Cortez-Madrigal <i>et al.</i> , 2021; Ayala-Zepeda <i>et al.</i> , 2021
Fitosanidad y COVID-19	EUA: MSU México: UACH, UNAM, TecNM	<ul style="list-style-type: none"> - La resiliencia de productores y técnicos, impulsó el uso de tecnología digital para el manejo de cultivos. - El desabasto de mano de obra agrícola e insumos, generó pérdidas económicas. - Las zonas rurales agrícolas presentaron menor número de contagios vs zonas urbanas. 	Pérez-Hernández <i>et al.</i> , 2021; Cuevas-Castilleja <i>et al.</i> , 2021; Reyes-Tena <i>et al.</i> , 2021; Castañeda-Cabrera <i>et al.</i> , 2021; González-Gaona <i>et al.</i> , 2021
Docencia e investigación	México: UACH, UNAM, UMSNH, IPN-CeProBi, UIEP Costa Rica: UCR, UNA	<ul style="list-style-type: none"> - COVID-19 evidenció fragilidad en la enseñanza-aprendizaje bajo un entorno digital. - En pandemia, aumentó los costos / uso en equipo de cómputo y servicio de internet. - El entorno académico demostró resiliencia direccionado a esfuerzos educativos, reflexivos y, simpáticos con el estudiante. 	Zamora-Macorra 2021; Manoj-Kumar, 2021; Santoyo, 2021; Calvo-Araya, 2021; Solano-Báez <i>et al.</i> , 2021; Fajardo-Franco and Aguilar-Tlatelpa, 2021; Granados-Montero, 2021
La visión COVID-19 del estudiante	México: UNAM, UAM-X, UAT	<ul style="list-style-type: none"> - La enseñanza-aprendizaje y/o investigación fue continuó a las plataformas digitales. - Se gestaron alternativas de vinculación con otras instituciones, investigadores y estudiantes en pandemia. - El rezago digital a plataformas digitales evidenció deficiencia de aprendizaje. - Se comprometió la calidad del postgrado por paro parcial o total de instituciones educativas. 	González-Cruces, 2021; González-Meléndez, 2021; de la Hoz-Ruiz, 2021; García-Reynoso, 2021; Villalobos-Camacho, 2021; Rubio-Tinajero y Zapata-Contreras, 2021

reducing the interaction between employees and users (SENASICA, 2021; <https://bit.ly/3owWz6h>). In addition to these actions, the majority of official procedures have migrated to a virtual modality,

prevención COVID-19, algunos con cierres por algunos días en fases de alta contingencia epidémica (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021; González-Gaona *et al.*, 2021; Castañeda-Cabrera *et al.*, 2021; Cruces-

favoring procedures speedup and social distancing compliance.

New pathogen and resilience. During the COVID-19 pandemic, Reyes-Tena and collaborators (2021) reported for the first time *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (Cmm) on jitomate (*Solanum lycopersicum*) in Michoacán, Mexico. Production losses were 10% compared to 2020 in absence of the pathogen. At ending this document, authors were contacted for a 2021 update: ‘Concerning Cmm, we have learned to live with it; it is no longer a serious problem in macro-tunnel but in the open field’. In addition, ‘The tomato price in 2021 has been much better and farmers have done well. This example shows farmers’ resilience toward crops health problems and the risk dynamics in farming. On the contrary, with the new COVID-19 disease, the Public Health Systems were not prepared to face a global health crisis. Likewise, the population was not psychologically prepared to face a collective threat due to the individualization of the *curative* patient-disease model. Eventually, the COVID-19 disease must be accepted as part of the respiratory human diseases (Mora-Aguilera and Acevedo Sánchez, 2021).

The strategies proposed by WHO and health institutions are based on reactive actions based on hygienist experiences of the mid-19th century, effective in another socio-economic, scientific, and geopolitical reality. Currently, the lack of a Pansystemic Model to restore *prevention* should be remedied (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021). Vaccination, the main global mitigation strategy, is a limited strategy due to commercial interests and because it does not represent a sustainable health model in concurrency with other human epidemics.

Pedraza, 2021). La Central de Abastos de productos agrícolas en CDMX, la principal en México, cuenta con 327 hectáreas de área operativa para acopio y venta abasteciendo 80% de la demanda de la capital mexicana y 30% del mercado nacional. Esta Central se ha mantenido activa durante toda la pandemia a pesar de un brote epidémico detectado en abril 2020, intervenido oportunamente con sanitización, acceso controlado, muestreos, confinamientos, atención hospitalaria preventiva, etc. (Bolaños y González, 2020). En este mercado, el programa ‘CEDA a domicilio’ se instauró el 23 de marzo 2020 como alternativa para compra y entrega de alimentos a domicilio sin el riesgo implícito por compras presenciales (<https://www.cedaadomicilio.com/>).

FITOSANIDAD Y COVID-19

Fitosanidad y comercio. Durante el proceso pandémico, México mantuvo su política fitosanitaria enfocada a sustentar la sanidad, inocuidad y seguridad de productos agrícolas (Rivas-Valencia *et al.*, 2021). A nivel nacional continuó la operación de Campañas de Prioridad Nacional y Programas de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, fundamentales para reducir riesgos de ingreso de plagas y potenciales pérdidas productivas en cultivos de importancia económica (SIRVEF, 2021). Estas actividades incluyeron acciones de protección y vigilancia en más de 35 plagas de importancia económica y/o cuarentenaria (Rivas-Valencia *et al.*, 2021). Estas actividades permiten la emisión de certificados de exportación, lo cual favorece y promueve el comercio internacional de productos frescos. Aunado a estos esfuerzos, el 28 de febrero 2020 se anunció el programa piloto de certificación electrónica fitosanitaria (ePhyto) para agilizar el intercambio comercial entre México y Estados Unidos (SENASICA, 2021).

Epidemics and endemicity. In crop production, with historical recurred epidemics, it is understood that the transition from epidemic to an endemic condition is part of the biological balance and production systems. Determining when a pathogenic agent has become established in the host population, with the consequent management strategy change, will also be a determining factor in COVID-19. However, as long as pharmaceutical companies determine the global COVID-19 mitigation agenda, it will not be possible to design relevant comprehensive scientific strategies for the benefit of the public.

Omicron, for example, could be equivalent to highly prevalent, transmissible, and low pathogenic viral variants that have been used in *plant cross-protection* for virus control in agriculture. This is a natural adaptive consequence from high aggressive variants able to cause millions of dead plants (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez 2021). However, risk communication and measures adopted for *Omicron* go in the opposite direction with the reestablishment of ‘preventive’ measures that broad sectors of the society in many countries reject, implying that these are not effective health crisis solutions after the limited results obtained after three epidemic waves.

Pesticides and human health. Food safety also implies monitoring the pesticide amount in harvested products used in human consumption. Toxic chemicals, as well as pathogenic organisms, can have a high impact on human health. However, unlike an immediate human reaction to microbial infection, the effects of the pesticides may have sublethal implications and require frequent contaminated products consumption or prolonged direct exposure to a pesticide (or toxic metabolites) to develop chronic diseases. Consequently, agricultural workers and local people settled near-production units may be more frequently affected

La ventanilla Digital Mexicana de Comercio Exterior (VDMCE), creada en 2013, también permitió continuar con operaciones comerciales agrícolas, mejorando la eficiencia de liberación de mercancías en puntos de ingreso. Este instrumento, creado por el Gobierno de México para garantizar el comercio y abasto de alimentos, ha contribuido a la prevención de contagios SARS-CoV-2 al reducir la interacción entre servidores públicos y usuarios (SENASICA, 2021; <https://bit.ly/3owWz6h>). Adicional a estas acciones, gran parte de trámites oficiales migraron a una modalidad virtual, favoreciendo la agilidad en trámites y cumpliendo con las medidas de distanciamiento social sugeridas por las instancias de salud.

Nuevo patógeno y resiliencia. Durante la pandemia COVID-19, Reyes-Tena y colaboradores (2021) realizaron el primer reporte de *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (Cmm) en jitomate (*Solanum lycopersicum*) en Michoacán, México. Las pérdidas productivas fueron del 10% respecto a 2020 en ausencia del patógeno. Al cierre de la edición se contactó al autor para conocer el estatus 2021: ‘Con respecto a Cmm, hemos aprendido a convivir con ella, ya no es un problema grave en macrotunel, a campo abierto sí’. Además, ‘el precio del jitomate en 2021 ha sido mucho mejor y a los productores les ha ido muy bien’. Este ejemplo muestra la capacidad de resiliencia de productores ante problemas sanitarios agrícolas y el riesgo dinámico en la producción agrícola. Contrasta notoriamente con la nueva enfermedad COVID-19 en salud humana, donde los Sistemas Públicos de Salud no estaban preparados para operar modelos preventivos y de mitigación para una contingencia epidémica global. Así mismo, la población no está preparada psicológicamente para enfrentar una amenaza colectiva debido a la individualización del modelo curativo paciente-enfermedad (Mora-Aguilera and Acevedo Sánchez, 2021).

than consumers. Demonstrate that pesticides prolonged exposure with carcinogenic, renal, and teratogenic effects, among other ailments, is the reason for common legal and scientific controversies.

In Mexico, traces of two to six pesticides, including glyphosate, 2-4 D, Molinate, and Picloran, were recently reported in school children in Agua Caliente and Ahuacán, Jalisco (Sierra-Díaz *et al.*, 2019; Ribeiro, 2020). Glyphosate is possibly the most debated chemical concerning carcinogenic reactions. However, recent scientific evidence concludes that it causes cancer in the lymphatic system (non-Hodgkin lymphoma) (Weisenburger, 2021). In Calvillo, Aguascalientes, an increase of chronic kidney disease has been reported in recent years, associated with the indiscriminate use of pesticides in crops (González-Gaona *et al.*, 2021), especially overexposure to Malathion and Cypermethrin (Mendoza *et al.*, 2015). An alteration in the immune system has also been reported, which has a predisposition to other diseases such as COVID-19 (Corsini *et al.*, 2008). These are some examples of the abundant evidence in this regard.

Microbiota and plant health. Pest control with microbiological or plant extracts alternatives has been long applied in agriculture. Mexico is a leader in America with the National Reference Center for Biological Control (SENASICA-CNRCB) (SENASICA, 2020); the Microbial Genetic Resources Laboratory (CNRG-INIFAP) (Zelaya-Molina *et al.*, 2021; INIFAP, 2019); and several graduate and research programs in public institutions such as INIFAP, IPN, UMSNH, COLPOS and ITSON (Samaniego-Gaxiola, 2021; Ayala-Zepeda *et al.*, 2021; Santoyo, 2021). The CNRCB has extensive microbiological collections used in national Phytosanitary Campaigns for regional pest management, limiting the use of

Las estrategias propuestas por la OMS e instituciones de salud se basan en acciones colectivas reactivas y fundamentadas en experiencias higienistas de mediados del siglo XIX efectivas en otra realidad socio-económica, científica y geopolítica. Actualmente se carece de un Modelo Pansistémico efectivo para restituir la *prevención* como principio fundamental para garantizar la salud (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021). La vacunación, la principal apuesta global de mitigación es una estrategia limitada por prevalecer un interés comercial y por no representar un modelo sustentable de salud concurrente con otros determinantes epidémicos.

Epidemia y endemicidad. En la Agricultura, con ocurrencia histórica de epidemias, se ha entendido que la transición epidémica a un proceso endémico es parte del equilibrio biológico y de los modelos productivos. Determinar cuándo un agente patógeno se ha establecido en la población, con el consiguiente cambio de estrategia de manejo será también determinante en COVID-19. Sin embargo, mientras las farmacéuticas determinen la agenda mundial del manejo COVID-19 no se podrán diseñar estrategias pertinentes con bases científicas en beneficio de la población.

Ómicron, por ejemplo, podría ser el equivalente a variantes virales de alta capacidad de prevalencia, dispersión y baja patogenicidad que se ha usado en la agricultura en *protección cruzada* de plantas para control de virus. Consecuencia natural adaptativa a partir de variantes virales con mayor agresividad y causantes de millones de plantas muertas (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez 2021). Sin embargo, la comunicación de riesgo y medidas adoptadas para *Ómicron* va en sentido opuesto con la reinstauración de medidas '*preventivas*' que amplios sectores de la sociedad en diversos países rechazan, implicando que éstas no son la real solución

pesticides in urban and agricultural environments (SENASICA, 2020). Due to the agroecological niches diversity in Mexico, origin center of several crops, broad microbiological research tradition, and the availability of specialized human resources, the CNRG-INIFAP aims to host the world's most complete germplasm and microbiological bank agricultural collections. The goal is to contribute with sustainable productive strategies (SADER, 2016).

There is tremendous microbiological research worldwide for pests suppression. The MJP Special Issue integrates two papers related to the conceptual, theoretical, and applied framework for microbiological implication on soil health in sustainable agriculture (Zelaya-Molina *et al.*, 2021; Samaniego-Gaxiola, 2021). However, this issue should also be included in a strategic R + D + I system to support the new agricultural paradigm. For instance, it is necessary to scale up and interdisciplinary validate microbiological studies at extensive and regional levels integrated into comprehensive productive innovation models. Bearing in mind that food production should satisfy regional, national and international food demands. As long as the microbiological studies do not transcend the Petri dish, biological strategies will not guarantee their competitiveness with conventional pesticides.

Microbiota and new agricultural paradigm.

The use of promoting plant growth (MPCV) microorganisms potentially implies a breakdown of one component of the modern paradigm in agriculture: chemical fertilization (Table 1). However, as with biological control agents, their success will depend on effective agricultural public policy strategies aligned with social and environmental responsibility, and with integrative scientific-technological models (Samaniego-Gaxiola, 2021; Zelaya-Molina *et al.*, 2021).

a la crisis de salud después de magros resultados obtenidos en tres olas epidémicas.

Plaguicidas y salud humana. La inocuidad de alimentos considera la ausencia de trazas, o cantidad segura, de un plaguicida en productos agrícolas de consumo humano. Este componente químico, y el microbiológico pueden ser de alto impacto a la salud humana. Sin embargo, a diferencia de un proceso infeccioso microbiológico inmediato, los efectos de plaguicidas pueden tener implicaciones subletales y requerir el consumo frecuente de productos contaminados o exposición prolongada directa a una formulación química (o tóxicos derivados) para desarrollar cuadros clínicos crónicos. En consecuencia, trabajadores agrícolas y asentamientos humanos próximos a unidades de producción pueden resultar afectados con mayor frecuencia que el consumidor. Esta es la razón de controversias jurídicas y científicas respecto a su causalidad cancerígena, daños renales y teratogénicos, entre otros padecimientos, de ciertos plaguicidas.

En México, recientemente se reportaron trazas de dos a seis plaguicidas, entre ellos glifosato, 2-4 D, Molinato y Picloran, en niños de edad escolar en Agua Caliente y Ahuacán, Jalisco (Sierra-Díaz *et al.*, 2019; Ribeiro, 2020). Posiblemente, el glifosato sea el químico más debatido respecto a procesos cancerígenos. Sin embargo, evidencias científicas recientes concluyen que causa cáncer en el sistema linfático (non-Hodgkin lymphoma) (Weisenburger, 2021). En Calvillo, Aguascalientes, se ha reportado un incremento de enfermedades renales crónicas en los últimos años, asociado al uso indiscriminado de plaguicidas en cultivos agrícolas (González-Gaona *et al.*, 2021), especialmente a una sobreexposición a Malatión y Cipermetrina (Mendoza *et al.*, 2015). También se ha señalado una alteración en el sistema inmunológico, lo cual predispone a otras enfermedades como al COVID-19 (Corsini *et al.*, 2008).

The global health crisis caused by COVID-19 obligates us to integrate strategies that contribute to secure, safe, and healthy food production in inclusive public policies. These desired goals should impact all society sectors not only directed to local consumers or to importing countries with capacity to pay for the quality extra value. Backyard production, practiced in developing countries by large rural sectors, must be incorporated into this quality production scheme. These self-consumption systems, important to alleviate inequality and poverty, favor close contact between humans and animals increases the risk of zoonotic diseases. The new deltacoronavirus, recently found to cause infections in children from communities associated with pig farms in Haiti, evidences the health risk on this production system (Lednicky *et al.*, 2021).

Plant health and digitalization. Agriculture digitalization has its antecedents in the 1990s extensive precision agriculture of Argentina, Brazil, and USA. Geopositioning systems (GPS) were decisive in this technological development. However, the digitalization of the integrated production process began with the profitable availability of the internet and mobile telephone equipment capable of operating applications (Apps). Android, an open-source operating system released in 2008 improved the digital possibilities. The greatest progress has been driven by companies dedicated to fertilizer production. In plant health, progress has been restricted by readily 'solution' toward pest control. The wide patent and generic pesticides offer, and the tendency of visual, descriptive and rapid pest 'diagnosis' (not necessarily effective and cause of pesticides irrational use) (<https://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/61807/>). At the official level, the digitization of most SENASICA-Mexico activities allowed continuity of crop health

Estos son ejemplos de la abundante evidencia a este respecto.

Microbiota y salud de plantas. El control de plagas con alternativas microbiológicas o de extractos vegetales se ha aplicado en la agricultura desde el siglo pasado. México es líder en América con el Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (SENASICA-CNRCB) (SENASICA, 2020); el Laboratorio de Recursos Genéticos Microbianos (CNRG-INIFAP) (Zelaya-Molina *et al.*, 2021; INIFAP, 2019); y con diversos programas de postgrado e investigación en instituciones públicas como INIFAP, IPN, UMSNH, COLPOS e ITSON (Samaniego *et al.*, 2021; Ayala-Zepeda *et al.*, 2021; Santoyo, 2021). El CNRCB posee amplios acervos microbiológicos empleados en Campañas Fitosanitarias nacionales para manejo regional de plagas, limitando el uso de pesticidas en ambientes urbanos y agrícolas (SENASICA, 2020). Debido a la diversidad de nichos agroecológicos en México, centro de origen de varios cultivos, amplia tradición microbiológica y la disponibilidad de recurso humano especializado, el CNRG-INIFAP tiene como meta constituir el banco de germoplasma y microbiológico más completo del mundo, con el fin de implementar estrategias sustentables acordes a los requerimientos productivos y ambientales del futuro (SADER, 2016).

A nivel mundial existe innumerable investigación microbiológica sobre el potencial supresivo de plagas. El Número Especial RMF integra dos trabajos que aportan el marco conceptual, teórico y aplicado sobre el rol microbiológico en salud de suelos bajo una visión de agricultura sustentable (Zelaya-Molina *et al.*, 2021; Samaniego *et al.*, 2021). Sin embargo, es necesario el impulso de políticas públicas que permitan el desarrollo de tecnología aplicable a un nuevo paradigma agrícola. No obstante, es necesario escalar estudios microbiológicos a validación extensiva, regional e inter-

campaigns, and national and international trade during the pandemic (Rivas-Valencia *et al.*, 2021).

Digital epidemiological surveillance. Web-based surveillance systems for citrus (*Citrus* spp.), coffee (*Coffea* spp.), and agave (*Agave tequilana*) operated by SENASICA-Mexico continued in use in critical production regions or due to the interest of extension specialists. For instance, a field workshop on digital technology for coffee plantations was offered to phytosanitary specialists in Veracruz State upon their request during the COVID-19 critical phase (Figure 4) (CP-LANREF, 2021. Personal Communication). These experiences will help to strengthen the digital approach in crop health. However, there is notorious technological and capacities asymmetry among countries, even developed ones. Digital technological harmonization is essential to face transboundary pest risk scenarios to operate regional surveillance web, real-time models. Current epidemics caused by CLas-Citrus, Rust-Coffee, and FOC R4T-Banana in Latin America are examples of the urgent need that international organizations, such as FAO, IICA, IPPC, and OIRSA could lead with modern digital approaches (Ibarra-Zapata *et al.*, 2021; Santivañez *et al.*, 2014). The global impact of COVID-19 has evidenced the lack of such computerized web models for preventive surveillance at the community-regional-continental level. These should be developed and operated by Public Health Systems, WHO, and regional health organizations. Ideally, under a system approach vision, the COVID-19 health crisis would be expected to contribute to designing, analyzing, and optimizing health policies in human, animal, and plant health for holistic-systemic models applied in preventive surveillance, operable at different spatial population scales (Mora-Aguilera *et al.*, 2021).

disciplinaria, integrada a modelos de innovación productiva que permitan satisfacer demandas de alimentos regionales, nacionales e internacionales. Mientras los estudios de efectividad no trasciendan la caja Petri, las estrategias biológicas, no garantizarán su competitividad con plaguicidas convencionales.

Microbiota y el nuevo paradigma agrícola. El uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV) puede representar la ruptura de uno de los ejes del paradigma de la producción agrícola moderna: la fertilización química (Cuadro 1). Análogamente al uso de agentes de control biológico, su éxito dependerá de estrategias efectivas de política pública en planeación agrícola, desarrollo empresarial con responsabilidad social y ambiental, y modelos científico-tecnológicos holísticos (Samaniego-Gaxiola, 2021; Zelaya-Molina *et al.*, 2021).

La crisis global de salud por COVID-19 obliga, en efecto, a integrar la visión de estrategias que coadyuven a la producción de alimentos sanos e inocuos como política pública incluyente, no solo direccionada al consumidor local o de países importadores con capacidad de pagar el valor agregado de calidad. La producción de traspatio, practicada por amplios sectores rurales de países en desarrollo, debe incorporarse a modelos productivos saludables y seguros. Estos sistemas de autoconsumo, importantes para paliar la desigualdad y pobreza, favorecen el contacto estrecho entre humanos y animales con riesgo de enfermedades zoonóticas. El nuevo deltacoronavirus, recientemente encontrado causando infecciones en niños a partir de granjas porcinas en Haití, evidencia el riesgo de salud asociado a este sistema productivo (Lednicky *et al.*, 2021).

Tele-diagnosis. In the context of the extensionist – farmer communication, the use of digital tools for phytosanitary diagnosis optimized technical advice to urban agriculture farmers in the CDMX during a critical COVID-19 incidence phase in 2020 (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021). This case showed the incorporation of creative solutions using available technological resources. The use of digital photographs, videos in real-time communication through digital platforms, and other technological devices made possible labor, educational and social continuity, contributing to urban crop production (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021). Although virtual pests and diseases diagnosis is being used for a

Fitosanidad y digitalización. La computarización del sector agrícola tiene su antecedente en la agricultura extensiva de precisión de los 90's en Argentina, Brasil y EUA. Los sistemas de geoposicionamiento (GPS) fueron determinantes en este desarrollo tecnológico. Sin embargo, la digitalización integral del proceso productivo inició con la disponibilidad rentable del internet y de equipos de telefonía móvil con capacidad para operar aplicaciones (App), principalmente desarrollados en *Android*, un Sistema Operativo de código abierto publicado en 2008. El mayor progreso ha sido incentivado por compañías dedicadas a la producción de fertilizantes. En fitosanidad, los avances en este



Figure 4. Field application of conceptual and methodological approaches to assess plant phenology and coffee rust intensity using the App-VEFCafeto® v4.7 for smartphone. *Web-based Epidemiological Surveillance System for Coffee Pests (PVEF-Cafeto)* workshop to extension specialists of the Veracruz State. The inner box shows chlorotic lesions due to *Hemileia vastatrix* infection.

Figura 4. Explicación conceptual y metodológica para medir fenología de planta e intensidad de roya del cafeto mediante la App-VEFCafeto® v4.7 para telefonía móvil. Curso de *Transferencia del Sistema Web de Vigilancia Epidemiológico de Plagas del Cafeto (PVEF-Cafeto)* a técnicos de Comité Estatal de Sanidad Vegetal del estado de Veracruz. El recuadro interno muestra machas cloróticas por infección de *Hemileia vastatrix*. Foto: CP-LANREF. Huatusco, Ver. México. Noviembre, 2020.

while in the official sector, throughout SENASICA and other international plant health entities, the COVID-19 pandemic encouraged its adoption due to restrictions on face-to-face activities. Similarly, it has accelerated the emergence of human clinic telemedicine, which was incipient before COVID-19 (https://www.medicasur.com.mx/es/ms/Mi_Hospital_Digital_Medica_Sur).

However, the parallelism in the diagnosis of diseases in plants and humans is based on the reductionist *curative* view. The assumption that the *cause* is the basis for the *cure* disarticulated *de facto* the possibility of developing and strengthening holistic systems for disease mitigation. It also encouraged the emergence of *curative*, not *preventive*, health businesses enterprises, represented by chemical-pharmaceutical consortiums with human, animal, and plant health subdivisions run with the same health problem-medicine approach. The COVID-19 pandemic evidenced the *prevention* disregard, foundation of successful public health by the end of the last century (Mora-Aguilera and Acevedo Sánchez *et al.*, 2021; Frenk, 2003; Franco-Giraldo, 2019; 2014).

TEACHING AND RESEARCH DURING CONFINEMENT

Academical institutions and COVID-19. COVID-19 revealed the fragility of the current educational model regarding the performance of the teaching-learning processes in a digital environment. The responsiveness was heterogeneous according to the institutional infrastructure and the ‘virtual’ capabilities or teachers and students skills. The MJP Special Issue included contributions from Mexico and Costa Rica addressing the graduate and undergraduate education and research complexity (Zamora-Macorra, 2021; Manoj-Kumar, 2021;

ámbito han sido restringidos por la amplia oferta de plaguicidas de patente y genéricos, y la cultura del ‘diagnóstico’ visual, descriptivo y rápido (no necesariamente efectivo y causa del uso irracional de plaguicidas) (<https://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/61807/>). A nivel oficial, la digitalización de la mayoría de los procesos del SENASICA, México, permitió la continuidad de las actividades de sanidad agrícola y comercialización durante la pandemia (Rivas-Valencia *et al.*, 2021).

Vigilancia epidemiológica digital. Los sistemas computarizados de vigilancia epidemiológica en cítricos (*Citrus* spp.), café (*Coffea* spp.) y agave (*Agave tequilana*), desarrollados por SENASICA México, continuaron su operación en áreas productivas críticas o de interés para técnicos a pesar la contingencia por COVID-19. Por ejemplo, se realizó un taller de transferencia en campo del modelo de vigilancia y del uso de tecnología digital a técnicos fitosanitarios de café en el estado de Veracruz a solicitud de técnicos (Figura 4) (CP-LANREF, 2021. No publicado). Estas experiencias coadyvarán a fortalecer modelos digitales en la sanidad agrícola, el cual exhibe notorias asimetrías entre países, incluso aquellos desarrollados. La armonización de este enfoque tecnológico es fundamental ante eventuales escenarios de riesgos transfronterizos que implicarían el uso de tecnología digital para operar modelos de vigilancia regionales en tiempo real. Las actuales epidemias en Latinoamérica causadas por CLas-Cítricos, Roya-Cafeto y FOC R4T-Banano son ejemplos de la urgente necesidad que organismos internacionales como FAO, IICA, IPPC y OIRSA podrían liderar (Ibarra-Zapata *et al.*, 2021; Santivañez *et al.*, 2014). El impacto global de COVID-19 ha evidenciado la carencia de modelos computarizados de vigilancia preventiva a nivel comunitario-regional-continental, responsabilidad de los Sistemas Públicos de Salud.

Santoyo, 2021; Calvo-Araya, 2021; Solano-Báez *et al.*, 2021; Fajardo-Franco and Aguilar-Tlatelpa, 2021; Granados-Montero, 2021). Nevertheless, it is undeniable that even with the educational programs implementation; there is no assurance of exposure to professional, cultural, and social reality as a whole heavily restricted by confinement and social distancing. In the next section, this issued will be also addressed from the student's perspective.

A key focus of this academic analysis is the institutional educational models resilience. This cannot be elucidated only from the RMF contributions that addressed mainly personal views on educational strategies carryout during confinement. It can be generalize, however that institution fully complied with regulations established by respective health authorities (Camhaji, 2021). Institutions prohibited on-site activities in all community sectors or limited the staff access to critical research projects. Digitalization and virtualization were implemented as institutional policies and programs compliance was an indicator of the educational advancement.

As of today, a significant number of major public Mexican universities such as UNAM, IPN, and UAM, and private institutions like TEC-Monterrey and Iberoamericana, maintain their activities at 'distance' after almost two years from the COVID-19 epidemic onset. This is contradictory considering that vaccination program favored this sector in Mexico, in order to contribute to their reopening. This scenario shows that educational institutions chose to adhere to health regulations instead of providing innovative strategies as expected from their scientific human resources putatively qualified to solve social problems and from the student sector that presumably should be critical and active toward fundamental decisions regarding the educational model to which they are exposed. Thus, inertial and politically secure

Idealmente, en un esquema de mejora continua, se esperaría que esta crisis de salud contribuya a diseñar, analizar y optimizar políticas sanitarias en salud humana, animal y vegetal para el desarrollo de modelos holístico-sistémicos de vigilancia preventiva, operables a diferentes escalas espaciales (Mora-Aguilera *et al.*, 2021).

Tele-diagnóstico. En el contexto de la relación técnico-productor, utilización de herramientas digitales para diagnóstico fitosanitario optimizó la asesoría técnica a productores de agricultura urbana de la CDMX durante una fase de incidencia crítica de COVID-19 en 2020 (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021). Este caso mostró la incorporación de soluciones creativas mediante recursos tecnológicos disponibles. Envío de fotografías digitales, videos, comunicación en tiempo real mediante plataformas digitales y otros elementos tecnológicos permitieron garantizar la continuidad laboral, educativa y social, coadyuvando a la producción agrícola urbana (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021). Aunque el diagnóstico virtual de plagas y enfermedades es un enfoque que el sector oficial, a través del SENASICA y otras instancias internacionales han implementado por varios años, principalmente con fines educativos, la pandemia COVID-19 incentivó su adopción por restricciones de actividades presenciales. Análogamente, ha acelerado el surgimiento de la telemedicina incipiente antes de COVID-19 (https://www.medicasur.com.mx/es/ms/Mi_Hospital_Digital_Medica_Sur).

Sin embargo, el paralelismo en el diagnóstico de enfermedades en plantas y humanos se fundamenta en la visión reduccionista *curativa*. La presunción que la *causa* es base de la *cura* desarticuló *de facto* la posibilidad de desarrollar y fortalecer sistemas holísticos para manejo de enfermedades y propició el surgimiento de grandes negocios de salud *curativa*, no *preventiva*, representados por consorcios

strategies were chosen, leaving universities and public research centers unable to demonstrate to the society that the scientific mass are reliable to provide the solutions to COVID-19. Education aims to change the reality through the individual transformation. And the current and immediate reality is a worldwide sanitary crisis caused by SARS-CoV-2, which teachers-educators and researchers must respond in order to contribute effectively towards its solution. However, they opted for blending with the population, with a safe wage and without facing risks of getting out of their houses to fulfill their needs as many people do during the pandemic. The educated masses, which are paid by the society, were evidenced like a privileged, secure and immobilized elite class.

The great opportunity to educate students with determination, character, social compromise and recognizing the scientific method value (well embraced by education and research) was missed toward the COVID-19 pandemic. Implicitly, we teach and replicate the fear. To extreme paradox, was depicted by Mexican students which were withdrawn of medical internships, claiming the lack of ‘*optimal health conditions*’ during the first COVID-19 epidemic phase. The announcement came from the Mexican Association of Medical Schools and Faculties (AMFEM, in Spanish), which includes UNAM, IPN, and private universities. Completing this paradox, students of Medicine Faculty (UNAM) recognized the authorities for such decision (Sanchez, 2022). This action denies humanistic vocation strengthening, violates the Hippocratic medical principles (e.g. ‘*I will spend my life and exercise my art in innocence and purity*’), and sows further doubts in the society about the physician profile who is being educated. COVID-19 has precisely emphasized social health exclusion, and clearly states the demand that physicians ‘*assume the public health as an*

químico-farmacéuticos con divisiones que impactan, bajo los mismos enfoques, en la salud humana, animal y vegetal. La pandemia COVID-19 es una evidencia del abandono de la *prevención*, base exitosa de salud pública de finales del siglo pasado (Mora-Aguilera and Acevedo Sánchez *et al.*, 2021; Frenk, 2003; Franco-Giraldo, 2019; 2014).

DOCENCIA E INVESTIGACIÓN DURANTE EL CONFINAMIENTO

Instituciones académicas y COVID-19. COVID-19 evidenció la fragilidad del modelo educativo actual para operar el proceso enseñanza-aprendizaje en un entorno digital. La capacidad de respuesta fue heterogénea en función de la infraestructura institucional, y de las capacidades y habilidades ‘virtuales’ de educadores y educandos. El Número Especial RMF integró contribuciones de México y Costa Rica que abordan la complejidad educativa y de investigación, tanto en postgrado como licenciatura (Zamora-Macorra, 2021; Manoj-Kumar, 2021; Santoyo, 2021; Calvo-Araya, 2021; Solano-Báez *et al.*, 2021; Fajardo-Franco and Aguilar-Tlatelpa, 2021; Granados-Montero, 2021). Sin embargo, es innegable que el cumplimiento formal de programas educativos no garantiza la integralidad formativa en aspectos vinculantes con la realidad profesional, cultural y social, fuertemente comprometidos por el confinamiento y distanciamiento social. Esta vertiente se aborda en la siguiente sección, desde la perspectiva del estudiante.

Un aspecto central en este análisis académico es la capacidad de resiliencia institucional en sus modelos educativos. Este aspecto no puede dilucidarse únicamente a partir del enfoque de las contribuciones RMF, las cuales abordaron la solución personal a un problema educativo. Sin embargo, en todas queda claro que la institución cumplió a cabali-

important option for life' and uproot the physician-client trend (Franco-Giraldo, 2019; 2014; OPS, 2008; Cabello, 2001).

Educational resilience can only be achieved through dynamic models and quality indicators sensible to the reality on which models intend to correspond. The educational and research-extension programs become the epistemological, philosophical and cognitive vision of any institution. However, academic structures are generally fixed due their rigid bureaucracy schemes; therefore tend fast to obsolescence regarding their socio-economical frames. The 20th century end to current times displayed the major scientific milestones since the Industrial Revolution having an immediate impact on technology. Nonetheless, educational institutions have been unable to response to the same pace. Heads of academic institutions, chosen for their political profile rather than scientific criteria, have adopted government decisions without a critical position, thereby submitting institutions to immobility.

Cluster and individual resilience. In a non-resilient institutional and organizational environment, independent and individualized efforts optimized institutional frameworks to pursue academic and research projects during the pandemic. Institutional clusters, led by committed scientists, continue generating human resources and cutting-edge research. These clusters showed resilience against COVID-19. The Microbial Genetic Resources Laboratories (CNRG-INIFAP, in Spanish) (Figure 5) (Zelaya-Molina *et al.*, 202), LBRN-COLMENA (Ayala-Zepeda *et al.*, 2021), Genomic Diversity (Santoyo, 2021), Functional Genomics (Manoj-Kumar, 2021), and CP-LANREF (Mora-Aguilera *et al.*, 2022), exemplify such research resilient clusters with distinct organizational systems and phytosanitary research approaches with potential to contribute to the COVID-19 sanitary crisis.

dad con los lineamientos sanitarios determinados por las respectivas instancias de salud (Camhaji, 2021). La exigencia y rigor se evidenció en varias instituciones al prohibir actividades presenciales de todos los sectores comunitarios, y en el menor de los casos se implementó el ingreso escalonado para personal de proyectos de investigación críticos. La digitalización y virtualización fueron adoptadas como políticas institucionales y el cumplimiento de programas fue el indicador del avance educativo. Hasta el presente, gran número de instituciones públicas mexicanas como la UNAM, IPN y UAM, y privadas como el TEC-Monterrey e Iberoamericana, no han reiniciado sus actividades académicas a casi dos años de iniciado el proceso epidémico COVID-19. Contradictorio, ya que el programa de vacunación privilegió a ese sector en México para coadyuvar a la reapertura. Esta es una evidencia de que las instituciones educativas optaron cómodamente por adherirse al cumplimiento de lineamientos de salud sin responder con estrategias propias e innovadoras a la altura de un cuerpo científico formado para la solución de problemas, y de un sector estudiantil supuestamente crítico y participativo sobre las decisiones fundamentales del modelo educativo al que son inmersos. Así, parecería que se decidió por estrategias inerciales y políticamente seguras sin que la universidad y centros públicos de investigación se mostraran ante la sociedad como la masa científica, de la cual podrían emerger las soluciones ante COVID-19. La educación tiene un propósito transformador de la realidad a partir del individuo. Esa realidad coyuntural es una crisis global de salud por SARS-CoV-2, a la cual educadores-educandos e investigadores deben aplicarse para incidir en su solución. Se optó por mimetizarse con el resto de la población, sin sufrir las consecuencias de un salario menguado y sin el riesgo de aquellos que eventualmente tuvieron que abandonar la seguridad del confinamiento para solventar sus necesidades fundamentales. La masa educada,

In the academic environment, resilience was achieved at individual level leading to creative, reflective, and comprehensive educational efforts involving even students' families. Teaching experience and the desire to teach plant pathology prompted, for instance in designing virtual research tools for urban farming (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021); and due to the impossibility of conducting field practices, household gardens and school plots were used for sampling coupled with phytopathological kits (e.g., PDA petri dishes, origami foldscope microscope, etc.) sent to students' homes (Solano-Báez *et al.*, 2021; Granados-Montero, 2021); and pandemic frame for scientific reflection (Zamora-Macorra, 2021). One such educational innovation for virtual teaching, entitled '*Redefining teaching in Biological Sciences: Foldscope, a success case*', was awarded in a national competition (SNTE-Mexico) (G. Márquez 2021. Personal communication). Calvo-Araya (2021), analyzed the efforts of the National University of Costa Rica to support a digital technology transition proving that distance education can be address by providing digital technical support and surveying the performance.

Even though virtual platforms were indispensable tools during the lockdown, there is consensus that plant science and agronomy disciplines cannot be fully addressed. They require practical laboratory and field training. Physical interaction teaching is obligatory, so their cancellation may explain up to 42.8% of virtual classes 'absenteeism' (Calvo-Araya, 2021). This fact is not unique to these areas of knowledge and institutions cannot avoid it. The innovation and development of teaching and pedagogical strategies should become both structural and institutional to face this new virtual and digital reality (Calvo-Araya, 2021). *Gamification learning* and *inverted classrooms* are some trends that have re-emerged in this

sufragada por la sociedad, quedó evidenciada como una clase privilegiada, segura, e inmóvil.

Ante COVID-19 se perdió la gran oportunidad de educar y formar educandos con determinación, carácter, compromiso social y el valor del método científico (tan abrazado en la educación e investigación). Enseñamos y reproducimos el miedo. La gran paradoja fue el retiro de estudiantes mexicanos de prácticas médicas en todo el país, bajo el argumento de ausencia de '*condiciones óptimas*' durante la primera etapa epidémica de COVID-19. El anuncio fue realizado por la Asociación Mexicana de Facultades y Escuelas de Medicina (AMFEM), al cual pertenece la UNAM, IPN, e instituciones privadas. Complementando la paradoja, los estudiantes de la Facultad de Medicina (de la UNAM) reconocieron a las autoridades por la decisión de retirar a los internos (estudiantes) de los hospitales (Sánchez, 2022). Esta acción niega la posibilidad de fortalecer la vocación humanista, viola los preceptos Hipocráticos del compromiso médico (p.e., '*Pasaré mi vida y ejercitaré mi arte en la inocencia y la pureza*'), y siembra aún más la duda ante la sociedad sobre el perfil del médico formado. Precisamente, COVID-19 ha acentuado la exclusión social de la salud, y patentiza la demanda de que los médicos '*asuman la salud pública como una opción con sentido de vida*' y se desarraigue la tendencia médico-cliente (Franco-Giraldo, 2019; 2014; OPS, 2008; Cabello, 2001).

La resiliencia educativa solo es posible mediante modelos dinámicos y con indicadores de calidad sensibles a la realidad sobre la cual intenta incidir. El mapa curricular y las matrices de investigación-extensión son el reflejo institucional de una visión epistemológica, filosófica y cognitiva de un campo de conocimiento. Sin embargo, generalmente son estructuras fijas debido a la rigidez burocrática con la que operan, por lo que tienden a la obsolescencia respecto al contexto social y económico. La recta

context (Solano-Báez *et al.*, 2021). Furthermore, social and digital gaps in rural regions of Mexico, as in other countries, should not be ignored and must be considered (Fajardo-Franco and Aguilar-Tlatelpa, 2021). Undeniably, virtualization and digitalization represent an educational and cultural opportunity for bring institutions and society closer and to establish effective academic and research networks. However, the channels and programs must not be improvised and should clearly state as educative, informative, or just playful (Andreu, 2021; Carvajal, 2021).

The impact of COVID-19 on education has lacked so far a comprehensive and cross-disciplinary institutional analysis. This is important due to the existence of not public institutional metadata (Vidal *et al.*, 2021). This limited responsiveness is explained by inertial educational models, not resilience and unable to convert realities into opportunity areas. Nevertheless, international organizations reports, such as ECLAC (CEPAL, 2020), has announced the educational advances setback; not only on cognitive issues but also on psychological, social, and leadership developments. Students have been disconnected from their reality for prolonged periods. Institutions and educators are not providing any alternative strategy. The COVID-19 risk as argument for virtual education cannot and should not be used indefinitely.

History has shown that those student generations facing dialectic and convulsive socioeconomic crises generated society leaders. Therefore, suspicion arises when constrained rights are issued on the excuse of COVID-19; for example, for the Chilean, Colombian, and Ecuadorian student demonstrations (Anfossi, 2021; Reuters *et al.*, 2021; Ap *et al.*, 2021). As society moves towards digitalization and consumption, appears the willingness to automate professions and override human nature and social values. Those values that

final del siglo XX, extendiéndose al presente siglo, es el corolario de grandes revoluciones científicas con impactos tecnológicos inmediatos. Las instituciones educativas han sido incapaces para actualizar sus procesos al ritmo de estos cambios científicos. Los directivos, seleccionados más sobre un perfil político que por autoridad científica, adoptaron decisiones externas sometiendo a las instituciones a la inmovilidad ante COVID-19.

Resiliencia organizacional e individual. En un entorno institucional y organizacional no resiliente lo ha operado durante la etapa pandémica fueron esfuerzos independientes e individualizados, optimizando el margen institucional, para la ejecución de proyectos académicos e investigación. Clústeres institucionales, guiados por liderazgos científicos, son los que continúan generando recursos humanos e investigación de vanguardia durante la contingencia sanitaria. Son estos clústeres los que mostraron resiliencia ante COVID-19. Laboratorios de Recursos Genéticos Microbianos (CNRG-INIFAP) (Figura 5) (Zelaya-Molina *et al.*, 202), LBRN-COLMENA (Ayala-Zepeda *et al.*, 2021), Diversidad Genómica (Santoyo, 2021), Genómica Funcional (Manoj-Kumar, 2021), y CP-LANREF (Mora-Aguilera *et al.*, 2022), ilustran clústeres de investigación resilientes con diferentes modelos organizacionales y enfoques de investigación fitosanitaria con potencial para contribuir ante la crisis de salud por COVID-19.

En el entorno académico, la resiliencia se evidenció a nivel individual direccionando esfuerzos educativos creativos, reflexivos, simpáticos con el estudiante e incluso con sus familias. La experiencia docente y el deseo de enseñar fitopatología más allá del cumplimiento temático, condujo al diseño de instrumentos virtuales para investigar en un entorno de agricultura urbana (Cuevas-Castilleja *et al.*, 2021); ante la imposibilidad de prácticas de

aroused and evolved from strong disagreements, costly and tragic, along with history (e.g., freedom, equality, fraternity). ‘Mass formation’ by adopting COVID-19 as a cohesion strategy can be avoided only by critical, proactive, and problem-solving science.

Economy of virtualization. Virtualization and digitalization of daily life became a functional need toward COVID-19. In Mexico, the rise of electronic commerce (eCommerce) increased 600% in the fourth week of lockdown (Sanchez, 2021). With six out of 10 Mexican consumers going digital, the estimated sales value was US\$ 31.4 billion in 2020, nearly double the amount that Mexico has invested in vaccine acquisition by midyear (Riquelme, 2021). Together with pharmaceuticals, these companies have profit from pandemics. The digital industry (e.g. Apple, Microsoft, etc.) raised prices in a ‘successful’ year. The supply and demand market paradigm rules out without any solidarity sign with household spending. Moreover, the large digital services companies (e.g., Amazon, Netflix, Zoom, Google, and Meta Platforms (Facebook)) also increase their capital and stock market price (Reuters, 2021).

The digitalization needs in all fields, not just education, helped technological and digital service providers to encourage governments to expand the connectivity networks (<https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/674>; Villanueva, 2021). In addition, due to lockdown, home office extra-hours and operational costs reduction were recognized as advantageous for the education, business, and government sectors, strengthening teleworking as a cost-effective option. Thus, Mexico implemented regulations to prevent labor abuse (La Jornada, 2021b). Nevertheless, private universities kept their onerous tuition fees, shifting the technological cost to households.

campo, el direccionamiento de muestreos en jardines habitacionales y lotes escolares mediante envío de kits fitopatológicos (i.e., medio PDA, pinzas, microscopio origámico Foldscope, etc.) a casa de estudiantes (Solano-Báez *et al.*, 2021; Granados-Montero, 2021); y aprovechar la pandemia para la reflexión científica (Zamora-Macorra, 2021). Una de estas innovaciones educativas para condiciones de confinamiento, titulada ‘*Redefiniendo la Enseñanza en Ciencias Biológicas: Caso de Éxito Foldscope*’, obtuvo el primer lugar en el concurso del Sindicato Nacional de Trabajadores de la Educación (SNTE-México) (G. Márquez 2021. Comunicación Personal). Calvo-Araya (2021), analizó las acciones de la Universidad Nacional de Costa Rica para apoyar la transición digital probando que es posible direccionar procesos educativos estructurales, como el fortalecimiento de áreas de soporte digital, y encuestas del proceso virtual para retroalimentación docente y analizar áreas de oportunidad.

Aunque el uso de las plataformas virtuales constituyó una herramienta indispensable durante el confinamiento, existe consenso que las disciplinas fitosanitarias y agronómicas no pueden prescindir de prácticas de laboratorio y campo. La instrucción fáctica es obligada, por lo que su cancelación puede explicar el 42.8% de ‘ausentismo’ de clases virtuales (Calvo-Araya, 2021). Esta realidad no es privativa de estos campos del conocimiento y las instituciones no pueden soslayarlo. La innovación y desarrollo de estrategias didácticas y pedagógicas debe ser estructural e institucional ante la nueva realidad digital (Calvo-Araya, 2021). Propuestas como la *gamificación* del aprendizaje y *aula invertida* son algunas tendencias que han emergido en este contexto (Solano-Báez *et al.*, 2021). Adicionalmente, no puede omitirse la brecha social y digital presente en zonas rurales de México y otros países, que requieren considerarse (Fajardo-Franco



Figure 5. The National Genetic Resource Center of the National Forestry, Agriculture and Livestock Research Center (Centro Nacional de Recursos Genéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, or CNRG-INIFAP), created to preserve and protect the beneficial microbe and plant biodiversity related to the Mexican agri-food sector. Researchers of the Microbial Genetic Resources Laboratory (*Laboratorio de Recursos Genéticos Microbianos*) working on the identification of agriculturally important fungi and the conservation of plant growth-promoting bacteria. Source: Zelaya-Molina *et al.*, 2021

Figura 5. *Centro Nacional de Recursos Genéticos* (CNRG) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), creado para preservar y proteger la biodiversidad vegetal y microbiana beneficiosa asociada al sector agroalimentario mexicano. Investigadores del *Laboratorio de Recursos Genéticos Microbianos* trabajando en la identificación de hongos de importancia agrícola y la conservación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal. Fuente: Zelaya-Molina *et al.*, 2021.

COVID-19 STUDENT VISION

Educative limitations. The COVID-19 sanitary crisis disrupted every human activity. In this context, virtual and digital education offered an opportunity to analyze potential endeavors. Nevertheless, was in the teacher-student scheme, rather than at the institutional structure, where lied the educational problem. The Information and Communication Technologies (ICT's), usually implemented in institutions for intranet service and web platform support, required its adaptation to provide educational capabilities. However, not all institutions had the infrastructure or the human resources for this challenge (Calvo-Araya, 2021; Manoj-Kumar, 2021; Fajardo-Franco and Aguilar-Tlatelpa, 2021). Consequently, individual efforts opted to complement institutional capabilities by contracting commercial virtual platform or adopting open access systems, such as Teams, BlueJeans, and Zoom (Solano-Báez *et al.*, 2021; Granados-Montero, 2021; Fajardo-Franco and Aguilar-Tlatelpa, 2021). These platforms were not originally designed for educational purposes, but allow online multiuser meetings with real-time interaction, in contrast to traditional e-learning systems, like Moodle and Blackboard, which require license or institutional support. These systems are configured for *remote education* with an emphasis on teaching material management (Basogain-Urrutia, 2021).

From the Plant Health undergraduate and graduate students' perspective, virtual teaching experience throughout the pandemic has been unsatisfactory due to poor technological expertise in the teaching community, limited regional connectivity quality, or conventional use of educational methods (García-Reynoso, 2021; González-Cruces, 2021; Rubio-Tinajero and Zapata-Contreras, 2021; Villalobos-Camacho, 2021).

and Aguilar-Tlatelpa, 2021). Es innegable que la digitalización representa una oportunidad educativa y cultural para aproximar a las instituciones con la sociedad, establecer redes académicas y de investigación. Pero los canales y contenidos no pueden ser improvisados y deben ser acordes con un fin divulgativo, educativo o simplemente esparcimiento (Andreu, 2021; Carvajal, 2021).

El impacto COVID-19 en el sector educativo ha carecido hasta el presente de un análisis integral e interdisciplinario institucional. Importante ya que estos poseen metadatos no disponibles públicamente (Vidal *et al.*, 2021). La limitada capacidad de reacción es comprensible ante modelos educativos inerciales, no resilientes e incapaces de convertir realidades en áreas de oportunidad. Sin embargo, estudios de organismos internacionales como la CEPAL (CEPAL, 2020), han enfatizado el retroceso en décadas de los avances educativos no solo en aspectos cognitivos sino también en el desarrollo psicológico, social y capacidades de liderazgo. Desarticular al educando de su realidad por periodos tan prolongados, sin que las instituciones y educadores provean mecanismos alternativos bajo el argumento del riesgo COVID-19, no puede ni debe sostenerse indefinidamente.

La historia ha mostrado que las generaciones estudiantiles expuestas a realidades dialécticas y convulsas son las que generan líderes que hacen la diferencia en todos los ámbitos de la sociedad. La suspicacia emerge ante acciones de excepción, bajo el pretexto de COVID-19, promovidas en regiones con fuertes demandas sociales como los movimientos estudiantiles de Chile, Colombia y Ecuador (Anfossi, 2021; Reuters *et al.*, 2021; Ap *et al.*, 2021). En una sociedad que se perfila a la digitalización y al consumo, parecería que estamos dispuestos a robotizar las profesiones, y anular la esencia humana y sus valores sociales que emergieron y evolucionaron a partir de grandes disensos,

Research on the subject rose to same conclusions (Calvo-Araya, 2021; Basogain-Urrutia, 2021).

Regarding the research programs, students state that neither CONACYT nor the academic institutions had the sensitivity to adjust timeframe, requirements, or logistics. This resulted in losing or repeating experiments, and changing research projects (González-Meléndez, 2021; Rubio-Tinajero and Zapata-Contreras, 2021). Institutions setback, aligned with sanitary regulation, contrasted with the students' efforts to solve their research logistic problems and to face the COVID-19 risk. This was the experience of a doctoral student (Rubio-Tinajero and Zapata-Contreras, 2021). Agriculture as an essential activity in the pandemic context allows institutions and academic staff associated with this primary activity to find a creative and effective way to continue functioning. Transferring to students' research responsibilities is not fair and ethical. Consequently, it is understood that *'the scholarship holder is the most affected'* is the major student claim in the pandemic context. Nevertheless, resilient institutional research clusters prevent this no-articulated student work, allowing effective graduate programs with appropriate infrastructure and logistical support for the excellent formation of human resources (Ayala-Zepeda *et al.*, 2021; Santoyo, 2021).

The pandemic generation. The psychological, sociocultural, and educational impact of COVID-19 on students illustrates the pandemic effect on the young generation. Previous to the pandemics, students stood with a sense appropriation of the new virtual era society. They were perceived as the future holder. Suddenly, their freedom was restrained. Confined to physical 'silence' proven that digital media is a bridge that emerge and makes sense from a tangible reality. Only the 'fear to death' could blur that vital force, feared so much in

trágicos y costosos, a lo largo de la historia (p.e., libertad, igualdad, fraternidad). La 'formación de masas' abrazando COVID-19 como estrategia de cohesividad solo puede evitarse desde la ciencia crítica, propositiva y resolutive.

Economía de la virtualización. La virtualización y digitalización en la vida cotidiana se ha convertido en una necesidad funcional. En México, el incremento del comercio electrónico (eCommerce) aumentó 600% durante la cuarta semana de confinamiento (Sánchez, 2020). Con seis de cada 10 mexicanos consumidores digitales, el valor estimado de ventas fue de US\$ 31,400 millones en 2020, casi el doble de lo que México ha invertido en la adquisición de vacunas hasta mitad de este año (Riquelme, 2020). Así, esta industria y la farmacéutica han sido los grandes beneficiados por el proceso pandémico. La industria digital (p.e., Apple, Microsoft, etc.) se declaró 'exitosa' y reaccionó a esta demanda con un incremento desmesurado de precios. Se aplicó el paradigma de mercado oferta-demanda. Las ganancias por encima de la solidaridad ante una pandemia global. Adicionalmente, las grandes empresas de servicios digitales (p.e., Amazon, Netflix, Zoom, Google, y Meta Platforms, antes Facebook) fueron también ganadores ante la pandemia con incrementos de capital y de cotización en la bolsa (Reuters, 2021).

La necesidad de digitalización en todos los ámbitos, no solo educativo, sirvió de base para que las empresas tecnológicas y de servicios impulsaran sus demandas a gobiernos por favorecer políticas conducentes a ampliar las redes de conectividad (<https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/674>; Villanueva, 2021). Adicionalmente, se identificó rápidamente la reducción de costos operativos y la 'continuidad' laboral en ciertos ámbitos como el educativo, y sectores de servicio empresarial y gubernamental fortaleciendo el teletrabajo

the traditional political institutions and democracy (Reuters *et al.*, 2021; González-Cruces, 2021; González-Meléndez, 2021; de la Hoz-Ruiz, 2021; García-Reynoso, 2021; Villalobos-Camacho, 2021; Rubio-Tinajero and Zapata-Contreras, 2021).

This generation, the most resilient due to their envisioned vocation, must reactivate itself creatively and without assuming fears and risks not corresponding to them, but with social responsibility that the health crisis requires. They may be those demanding wisdom and responsibility upon the excessive politicization, dangerous massive fear invocation without any or limited scientific support, and excessive corporate profit-making made of the healthcare as a business. The following excerpt contributions are an insight into the young students' endurance strength:

- *'Importantly, I have finally recovered (due to COVID-19), even with after-effects... but I am motivated to carry on my research... the courses will probably continue online, with limitations on equipment and laboratory infrastructure, although continuing the postgraduate program is important; ... My research is ongoing, and even though the progress has been slow due to pandemic restrictions, I know I will achieve my objectives. The situation encourages me to be self-taught, to look for solutions, and constantly update myself in digital technologies, on the other hand, I am ready to adapt to the situation to comply with my obligations and responsibilities'* (Rubio-Tinajero and Zapata-Contreras, 2021).
- *'... To value and respect everyone in our lives. We must work to achieve what we want and end all absurd stereotypes... be proud of belonging to this country, and return to society with work and assistance what Mexico has given us'* (Villalobos-Camacho, 2021).

como opción rentable. También implicó su regulación en México para evitar el abuso laboral (La Jornada, 2021b). Sin embargo, las universidades privadas continuaron con las colegiaturas onerosas trasladando a los hogares la inversión tecnológica requerida para la educación.

LA VISIÓN COVID-19 DEL ESTUDIANTE

Limitaciones educativas. La crisis sanitaria por COVID-19 trastocó todas las actividades humanas. La educación digital en la fase pandémica, representó una oportunidad transformadora. Sin embargo, fue el binomio educador-educando, más que la estructura institucional, la que enfrentó el problema educativo inmediato. Las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC's), generalmente establecidas en las instituciones para comunicación intranet y soporte de plataformas divulgativas, se tuvieron que adecuar para la transición digital del sistema educativo. Sin embargo, no todas las instituciones tuvieron la capacidad tecnológica, o el cuerpo académico tuvo las competencias requeridas (Calvo-Araya, 2021; Manoj-Kumar, 2021; Fajardo-Franco and Aguilar-Tlatelpa, 2021). En consecuencia, por iniciativas individuales se optó por complementar o adoptar plataformas virtuales de videoconferencia comercial o de acceso libre restringido como Teams, BlueJeans y Zoom (Solano-Báez *et al.*, 2021; Granados-Montero, 2021; Fajardo-Franco and Aguilar-Tlatelpa, 2021). Estas no son plataformas diseñadas con fines educativos, pero permiten sesiones multi-usuarios en línea con posibilidad de interacción en tiempo real, contrario a sistemas tradicionales de 'e-learning', como Moodle y Blackboard, que además de requerir licencias o soporte institucional, están configuradas para educación *a distancia* con énfasis en gestión de información y material instructivo (Basogain-Urrutia, 2021).

- *'Being housebound... made me a little confused, tired and anxious..... The same exciting feeling is not felt through a computer. I have become very discouraged to carry on all those things that I usually did'* (García-Reynoso, 2021).
- *'In every environment, we are adapting ourselves as much as possible, as a society we are demonstrating able to continue pursuing an academic and working life as normal as possible to avoid stop our personal development, although with the necessary care and responsibility to protect the health of the people around us'* (de la Hoz-Ruiz, 2021).
- *'The laboratory is not anymore as before, with colleagues sharing results and difficulties, exchanging tips, or even some materials. I believe the pandemic forced us to work more slowly and as individuals... Many challenges still have to be overcome, although not all activities have been fully restored, however, the science never stops and we found a way to face it...'* (González-Meléndez, 2021).
- *'I trust that scientific advances will improve the pandemic mitigation. I am not scared to be infected; however, I try to be as careful as possible to avoid infecting my mother or my grandparents. We have been in similar epidemic situations in history... A system in entropy, as we know, always tends to equilibrium. I am hopeful for the growers, farmers, and ranchers, the primary sector that makes me proud and motivated because they carry on their shoulders the most important responsibility: feeding the human population'* (González-Cruces, 2021).

FINAL CONSIDERATIONS

SARS-CoV-2/COVID-19 pandemic is a multidimensional problem going beyond the predominant patient-disease approach framed at

Desde la perspectiva del estudiante de posgrado y licenciatura en el área de fitosanidad, la experiencia educativa virtual durante la pandemia no ha sido satisfactoria por los escasos conocimientos tecnológicos de la comunidad docente, calidad de conectividad regional, o uso de métodos didácticos tradicionales (García-Reynoso, 2021; González-Cruces, 2021; Rubio-Tinajero y Zapata-Contreras, 2021; Villalobos-Camacho, 2021). Similares conclusiones se han reportado en investigaciones formales sobre el empleo de tecnologías digitales (Calvo-Araya, 2021; Basogain-Urrutia, 2021). En el ámbito de la investigación, la conclusión fue más contundente al considerar que ni CONACYT o las propias instituciones tuvieron la sensibilidad para adecuar los tiempos programáticos y estrategias de apoyo a la investigación. Lo cual derivó en pérdida de material experimental, repetición de experimentos, o cambio de proyecto de investigación (González-Meléndez, 2021; Rubio-Tinajero y Zapata-Contreras, 2021). Ante esta inmovilidad institucional, convenientemente adherida a las políticas de salud, muchos estudiantes tuvieron que resolver problemas logísticos y organizativos asumiendo el riesgo de contagio COVID-19, lo cual ocurrió en un estudiante doctoral (Rubio-Tinajero y Zapata-Contreras, 2021). Siendo la agricultura una actividad esencial, la institución e investigador comprometido tienen la facultad para continuar con investigación. *De facto* se asume, pero transfiriendo al estudiante la mayor responsabilidad. Esto no es justo ni ético. Es comprensible que los estudiantes planteen que *'el becario es el más perjudicado'* en el contexto de la pandemia. No obstante, la existencia de clústeres institucionales resilientes de investigación preclude esta conducción desarticulada de estudiantes, resultando en procesos efectivos de investigación con infraestructura y logística apta para la excelente formación de recursos humanos (Ayala-Zepeda *et al.*, 2021; Santoyo, 2021).

the hospital-ambulatory environment, or event at the less common community-population disease monitoring associated with the Public Health Systems. Any solution limited to these approaches lacks the comprehensive *preventive* emphasis and sustainability necessary to restore integral health within the systemic model of physical, mental, and social components (WHO). Furthermore, the global institutional plans ‘*One Health, a New Health Architecture*’ (WHO), ‘*Zero Hunger*’ (FAO), and ‘*Sustainable Development*’ (UN), would be losing a historic opportunity to align efforts to transcend the classical declarative and programmatic approach required to face the complex dimension of the international crisis imposed by COVID-19.

The need for a *Pansystemic Preventive Model* of Plant, Animal, and Human Health, articulated and harmonized with *Regional Epidemiological Surveillance Models* implemented by respective Health Systems, is urgently needed (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2021). In the search for comprehensive solutions, Agriculture, due to its humanistic, civilizing, and well-being nature, is helping to mitigate the COVID-19 health crises through the global food supply. Remarkably, that Agriculture is sustaining production activity despite workers’ infection risks, and that has been contained excessive food price increases and speculative financial practices decontrolled in other economic sectors profiting from the health crisis.

Plant Health activities, directly supporting agricultural production, proved their resilience in safeguarding the health of the crops. This allowed domestic food supplied and safe international circulation with pests and pathogens risk monitoring for importing countries’ crops. This preventive transterritorial scheme, implemented since the late last century, could be emulated for human health risks as primary mitigation front balancing the current preeminence of the *patient-client curative*

La generación pandémica. El impacto psicológico, socio-cultural y profesional de COVID-19 en los estudiantes muestra la vívida dimensión de la pandemia en los jóvenes que transitaban por el mundo educativo con un sentido de pertinencia y apropiados de un entorno virtual-social, del cual eran percibidos como los depositarios del futuro. De golpe, su libertad fue acotada. Confinados al silencio probando que el mundo virtual es solo un puente que emerge y tiene sentido a partir de una realidad tangible. Solo el ‘miedo a la muerte’ pudo desdibujar esa fuerza vital, tan temida fuera del cauce políticamente correcto (Reuters *et al.*, 2021; González-Cruces, 2021; González-Meléndez, 2021; de la Hoz-Ruiz, 2021; García-Reynoso, 2021; Villalobos-Camacho, 2021; Rubio-Tinajero y Zapata-Contreras, 2021).

Estas generaciones, las más resilientes por su vocación emprendedora, deben reactivarse con creatividad y sin asumir los miedos y riesgos que no les corresponden, pero con la responsabilidad social como amerita la crisis sanitaria. Quizás sean ellos los que demanden cordura ante la excesiva politización de la contingencia, la peligrosa invocación del temor sin el soporte científico, y las exorbitantes ganancias empresariales que hace de la salud un negocio. Baste la inclusión de los siguientes fragmentos para percibir esa fuerza resiliente del joven estudiante:

- *‘Lo importante es que finalmente recupere mi salud (afectada por COVID-19), aunque con secuelas...pero motivada para proseguir con mi investigación...las clases posiblemente continúen en línea, con las limitantes en equipos e infraestructura de laboratorios, pero es importante seguir con el programa de postgrado; ... La investigación se está realizando, y aunque el avance es lento por restricciones de la pandemia, sé que cumpliré con mis objetivos. Esta situación me impulsa a ser más autodi-*

approach. This approach has disarticulated the public health model adopting this precept by reforming their juridical status (Franco-Giraldo, 2019; 2014; Frenk, 2003; Cabello, 2001), benefitting the pharmaceutical companies.

The success of global risk awareness and plant pest monitoring can be highlighted by the fact that historical human famines belong to the past. The quasi-pandemic epidemics, such as that caused by 'Late potato blight' are no longer an issue. As in humans, however, recurrent epidemic outbreaks occur. Therefore works still need to be done on prevention at the regional level. For agricultural scenarios, epidemiological surveillance regional models, based on advanced digital and genomic technologies, coupled with the comprehension of epidemics transitions to endemicity, allow fast adaptation of mitigation strategies harmonized with effective risk communication. This territorial *prevention - protection (i.e. cure)* plant health model can contribute to the 'One Health' global WHO's envision. Readily, can contribute to the poor official risk communication on COVID-19 as depicted on these series of official declarations: 'Omicron will generate a *'Tsunami of cases'*';... 'Maybe less critical than Delta, but not minor'; ... 'Health Systems are at the collapse risk' (WHO).

The first preventive front for COVID-19, and other potential zoonotic diseases, however, is not the human population. We need to move one step backward to natural environments and their connection to agriculture, urban pressure, and climate change. It is in this framework where a holistic-systemic-dynamic human disease risk model must be generated and applied. In this complexity, should be placed the need for a new agricultural production paradigm. This should be strong enough to balance the increasing global food demand with sustainable and resilient ecosystem services. A systemic and coordinated effort for

dacta, buscar soluciones y actualizarme constantemente en el uso de tecnologías digitales, por otro lado, estoy dispuesta a adaptarme a la situación, cumplir con mis obligaciones y responsabilidades' (Rubio-Tinajero y Zapata-Contreras, 2021).

- '... *Valorar y respetar a toda aquella persona que es parte de nuestra vida. Debemos trabajar para obtener lo que deseamos y terminar con todo estereotipo absurdo...sentirnos orgullosos de pertenecer a este país, y regresarle con trabajo y ayuda a la sociedad lo mucho que nos ha dado México'* (Villalobos-Camacho, 2021).
- '*Estar confinado en casa...me causó un poco de confusión, cansancio y ansiedad... No se siente la misma emoción a través de una computadora. Me he desanimado mucho en continuar con todas esas cosas que solía hacer'* (García-Reynoso, 2021).
- '*Nos estamos adaptando en todos los ámbitos de la mejor forma posible, demostrando como sociedad que podemos seguir realizando una vida académica y laboral con la mayor normalidad posible para no frenar nuestro crecimiento personal, pero con la debida protección y responsabilidad de cuidar la salud de los que nos rodean'* (de la Hoz-Ruiz, 2021).
- '*El laboratorio no está como solía lucir, lleno de colegas compartiendo resultados y dificultades, intercambiando consejos y hasta ciertos materiales. Creo que la pandemia nos ha orillado a hacer un trabajo de forma más individual y lenta...Aún quedan muchos retos por vencer, si bien las actividades no se han restablecido por completo, la ciencia no se detiene y hemos encontrado la forma de afrontarlo...'* (González-Meléndez, 2021).
- '*Tengo la confianza de que los avances científicos mejorarán la situación pandémica. No tengo miedo a contagiarme, sin embargo, tra-*

environmental and agricultural productive assets preservation must integrate all economic sectors to prevent and mitigate future pandemic risks. The root solution is multifactorial.

Through the Special Issue, ‘COVID-19 and Plant Health’ Vol. 39(4), the Mexican Society of Phytopathology / Mexican Journal of Phytopathology integrates research, reflections, data analysis, and proposals from productive actors, research, and academia in the context of the global human health crisis caused by COVID-19. The objective of making visible to all social sectors the plant health actions and efforts to crops health, and how it contributes to the COVID-19 problem solution, was fulfilled. Also, it intended to emulate and stimulate the excellence and social commitment of the scientific and academic activity. The Special Issue ‘COVID-19 and Plant Health’ was motivated by all human beings who suffer from the anguish of getting sick, languish in confinement, fear losing a job or postponing dreams, and by all farmers that make food possible in the world.

Acknowledgments

To all authors and coauthors who contributed to MJP Special Issue 39(4). To CP-LANREF team for their sustained work throughout the pandemic. To Miranda Mora Gutiérrez for her English version reviews. To the Mexican Society of Phytopathology for promoting this editorial project. The Postgraduate College in Agricultural Sciences for supporting research initiatives on COVID-19. All those directly and indirectly affected by the COVID-19 pandemic.

LITERATURE CITED

- Afp y Reuters. 2021. La variante delta redujo a 40% la eficacia de las vacunas, advierte la OMS. La Jornada. (25 noviembre, 2021). <https://www.jornada.com.mx/2021/11/25/politica/014n1pol>.
- Afp. 2021a. Al menos 15 millones de dosis de vacunas fueron desechadas en Estados Unidos desde marzo. El Economista. (01 septiembre, 2021). [*to de cuidarme al máximo para no contagiar a mi madre o mis abuelos. La historia nos ha marcado con situaciones epidémicas similares...Sabemos que un sistema en entropía siempre tiende al equilibrio. Mi esperanza está en los productores, campesinos y ganaderos, ese sector primario que me llena de orgullo y motivación, ya que en sus hombros cargan la responsabilidad más importante, la alimentación humana’* \(González-Cruces, 2021\).](https://www.eleco-</p>
</div>
<div data-bbox=)

CONSIDERACIONES FINALES

La pandemia SARS-CoV-2/COVID-19 es un problema multidimensional que supera el enfoque predominante paciente-enfermedad en un entorno ambulatorio-hospitalario, o el menos aplicado monitoreo comunitario-poblacional de enfermedades asociado con los Sistemas Públicos de Salud. Cualquier solución, circunscrita dentro de estos ámbitos carece del énfasis *preventivo* integral y de la sustentabilidad requerida para restituir el modelo sistémico de salud en sus componentes físico, mental y social (OMS). Adicionalmente, las proyecciones mundiales ‘Una sola salud, una nueva arquitectura sanitaria’ (OMS), ‘Hambre Cero’ (FAO), y ‘Desarrollo Sostenible’ (ONU), estarían perdiendo su oportunidad histórica de alinear esfuerzos para trascender el clásico enfoque declarativo y programático, ante la compleja dimensión de la crisis mundial que impone COVID-19.

Es urgente la búsqueda de un *Modelo Pansistémico Preventivo* de Salud Vegetal, Animal y Humana, articulados y armonizados con *Modelos Regionales de Vigilancia Epidemiológica* operados por sus respectivos Sistemas de Salud. En esta búsqueda de soluciones integrales, es notable que la Agricultura, en su vocación humanista y civilizadora, está contribuyendo a reducir el impacto de la crisis sanitaria con el aporte mundial de alimentos. Es de resaltar que se mantiene la actividad productiva a

- nomista.com.mx/arteseideas/Al-menos-15-millones-de-dosis-de-vacunas-desechadas-en-Estados-Unidos-desde-marzo-20210901-0091.html.
- Afp. 2021b. “Preocupante”, nueva variante de Covid-19: OMS; la llama “ómicron”. La Jornada. (26 noviembre, 2021). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/11/26/mundo/preocupante-nueva-variante-de-covid-19-oms-la-llamara-omicron/>.
- Álvarez-Maya I, Mora-Aguilera G and Acevedo-Sánchez G. 2021. Analysis of chronic diseases associated to SARS-CoV-2 infection in children and young people in Mexico. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 1-12. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-26>.
- Andreu A. 2021. LadyScience, la española pionera de la ciencia en TikTok, con más de 457.800 seguidores, apuesta por “democratizar el conocimiento científico” en la plataforma. Bussines Insider. <https://www.businessinsider.es/ladysience-espanola-pionera-habla-ciencia-tiktok-842265>.
- Anfossi A. 2021. Fiesta y protesta en Chile; se cumplen 2 años del estallido social. La Jornada. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/10/19/mundo/fiesta-y-protesta-en-chile-se-cumplen-2-anos-del-estallido-social/>.
- Ap, Europa Press, AFP y Reuters. Siguen las protestas en Ecuador; Lasso invita a la Conaie a dialogar. La Jornada. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/10/28/mundo/siguen-las-protestas-en-ecuador-lasso-invita-a-la-conaie-a-dialogar/>.
- Ayala-Zepeda M, Díaz-Rodríguez AM, Ahumada-Flores S, Parra-Cota FI and de los Santos-Villalobos S. 2021. Changes in the research conduction on agro-biotechnology due to COVID-19: The case of LBRM-COLMENA Research Node. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 1-14. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-9>.
- BANXICO. 2021. Principales Índices Mensuales. <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CP154&locale=es>.
- Basogain-Urrutia J. 2021. Evaluación en línea: herramientas, limitaciones y alternativas en un contexto de pandemia. Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0, 10: 30-41. <https://doi.org/10.37843/rted.v10i2.243>.
- BBC News. 2020. Covid-19: qué es una sindemia y por qué hay científicos que proponen llamar así a la crisis del coronavirus. (14 de Octubre, 2020). <https://www.bbc.com/mundo/noticias-54543375>.
- BBC News. 2020. Estados Unidos se retira de la OMS: Trump notifica oficialmente a Naciones Unidas de la salida de su país. (7 de Julio, 2020). <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-53329647>.
- Bolaños AB y González AR. 2020. Detección oportuna en la Ceda rompió la cadena de transmisión. La Jornada. <https://www.jornada.com.mx/2020/07/11/capital/033n3cap>.
- Cabello ME. 2001. Calidad de la atención médica: ¿Paciente o cliente?. Revista Médica Herediana 12: 96-99. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1018-130X2001000300005.
- Calvo-Araya JA. 2021. Phytopathology teaching during COVID-19: UNA Costa Rica case. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 1-13. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-12>.
- pesar de riesgos de contagio para el trabajador del campo, y que se ha contenido el incremento desmedido de precios y la especulación financiera que exhiben otros sectores de la economía aprovechando la crisis de salud.
- En apoyo directo a la producción agrícola, las actividades fitosanitarias mostraron su resiliencia salvaguardando la salud de cultivos. Esto permitió el consumo interno y la movilidad inocua de alimentos con monitoreo de riesgos asociados a plagas o patógenos para cultivos de países importadores. Este enfoque preventivo transterritorial, implementado desde finales del siglo pasado, podría ser emulado para riesgos inherentes a la salud humana como primer frente de mitigación equilibrando la preeminencia actual del enfoque *curativo* del *paciente-cliente*. Este enfoque ha desarticulado el modelo de salud pública, el cual ha adoptado gradualmente este precepto mediante reformas institucionalizadas (Franco-Giraldo, 2019; 2014; Frenk, 2003; Cabello, 200), privilegiando *de facto* a la industria farmacéutica.
- El éxito del conocimiento global de riesgos y del monitoreo internacional de plagas ha resultado en la ausencia de hambrunas humanas comunes en la historia. Las epidemias *cuasi*-pandémicas, como la causada por el ‘*Tizón tardío de la papa*’ han podido ser contenidas. No obstante, como en humanos, ocurren brotes epidémicos recurrentes por lo que aún es necesario desarrollar y fortalecer modelos preventivos regionales. En el escenario agrícola, modelos regionales de vigilancia epidemiológica, basados en tecnologías digitales y genómicas de vanguardia, y la comprensión transicional de epidemias a la endemidad, permiten la rápida adecuación de estrategias de mitigación coordinadas con una efectiva comunicación de riesgos. Este modelo territorial *preventivo – protectivo* (i.e., *curativo*) de la sanidad vegetal puede contribuir a la visión ‘*Una sola salud*’ de OMS. En lo inmediato,

- Camhaji E. 2021. El Gobierno de México insiste en el regreso a clases presenciales de todos los alumnos. El País. (10 noviembre 2021). <https://elpais.com/mexico/2021-11-11/el-gobierno-de-mexico-insiste-en-el-regreso-a-clases-presenciales-de-todos-los-alumnos.html>.
- Carbajal B. 2022. En 2 años creció 350 mil mdd el valor de seis farmacéuticas. La Jornada. (2 enero, 2022). <https://www.jornada.com.mx/2022/01/02/economia/015n1eco>.
- Carbajal B. 2021. Remesas de México a otros países se disparan 25%. La Jornada. (23 noviembre, 2021). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/11/23/economia/remesas-de-mexico-a-otros-paises-se-disparan-25/>.
- Carvajal MI. 2021. Tres cuentas de TikTok de mujeres científicas para motivar a tus estudiantes con el universo. Elige Educar. <https://eligeeducar.cl/ideas-para-el-aula/3-cuentas-de-tiktok-de-mujeres-cientificas-para-motivar-a-tus-estudiantes-con-el-universo/>.
- Castañeda-Cabrera C, Perales-Segovia C, Miranda-Salcedo MA and González-Gaona E. 2021. Effect of COVID-19 on the phytosanitary conditions and commercialization of avocado in Jalisco. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 1-10. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-17>.
- Corsini E, Liesivuori J, Vergieva T, Van Loveren and Colosio C. 2008. Effects of Pesticide Exposure on the Human Immune System. Human & Experimental Toxicology 27(9): 671-680. <https://doi.org/10.1177/0960327108094509>.
- Cortez-Madrigal H, Nord R and Villar-Luna E. 2021. Mexican native varieties and plant health in the context of COVID-19: The case of *Solanum lycopersicum*. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 1-11. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-19>.
- Cruces-Pedraza B. 2021. My name is Bernardino Cruces, 85 year-old, I am a farmer. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 1-6 <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-18>.
- Cruz MA. 2021. Cofepris autoriza la vacuna cubana Abdala. La Jornada. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/12/29/politica/cofepris-autoriza-la-vacuna-cubana-abdala/>.
- Cuevas-Castilleja J, Martínez-Luz A, López-Arzate MA, Ramírez-García IA, Mora-Aguilera G and Ávila-Alistac N. 2021. Perspectives of integrated pest management in CDMX urban agriculture and impacts of SARS-CoV-2 health emergency. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 1-23. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-6>.
- de la Hoz-Ruiz G. 2021. COVID-19 effects on my social and family life as student. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 1-2. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-30>.
- Expansión. 2021. México ha desembolsado 17,000 mdp en vacunas anti COVID. Revista digital Expansión. (03 mayo, 2021). <https://expansion.mx/economia/2021/05/03/mexico-ha-pagado-17-000-m-en-la-compra-de-vacunas-anti-covid>.
- Fajardo-Franco ML and Aguilar-Tlatelpa M. 2021. Challenges of COVID-19 pandemic: The postgraduate case in Sustainable Management of Natural Resources – UIEP. Mexican Journal of Phytopathology 39(4):1-5. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-25>.
- Fernández R. 2021. Ómicron: países afectados según los casos confirmados de contagio en 2021. Statista. <https://>
- puede aportar a la deficiente comunicación oficial de riesgos COVID-19, ilustrado con las siguientes declaraciones oficiales: *‘Ómicron generará un ‘Tsunami de casos’,... ‘Puede ser menos grave que Delta, pero no leve’,... ‘Los sistemas de salud están al borde del colapso’* (OMS).
- El primer frente preventivo de COVID-19, y otras enfermedades potenciales zoonóticas no está, sin embargo, en la población humana enferma. Son los entornos naturales, y su conexión con la agricultura, presión urbana y cambio climático, donde modelos de riesgo holísticos-sistémicos-dinámicos deben generarse e implementarse. En este contexto, se reconoce la necesidad de un nuevo paradigma productivo agrícola que equilibre la demanda creciente mundial de alimentos con servicios ecosistémicos sustentables y resilientes. El conjunto de los sectores de la economía debe integrarse a un enfoque sistémico y coordinado del cuidado del ambiente y de los activos agrícolas productivos que permitan la gestión de futuros riesgos pandémicos. La solución de raíz es multifactorial.
- La Sociedad Mexicana de Fitopatología / Revista Mexicana de Fitopatología, a través del Número Especial *‘COVID-19 y Fitosanidad’* Vol. 39(4) integra investigaciones, reflexiones, análisis de datos, y propuestas de actores productivos, investigación y academia en el contexto de la crisis global de salud humana causada por COVID-19. Se cumplió el objetivo de visibilizar ante todos los actores sociales acciones y contribuciones que la desde la Fitosanidad se aporta a la salud de los cultivos y su contribución en la solución del problema COVID-19. Se pretendió también emular y estimular la excelencia y el compromiso social de la actividad científica y académica. El Número Especial *‘COVID-19 y Fitosanidad’* fue motivado por todos los seres humanos que sufren la angustia de enfermar, languidecen en confinamiento, temen perder un empleo o aplazan sueños, y por todos aquellos

- es.statista.com/estadisticas/1278962/omicron-paises-afectados-segun-los-casos-confirmados-de-contagio/.
- Franco-Giraldo A. 2019. La salud pública en discusión. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 37(1):15-28. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v37n1a04>.
- Franco-Giraldo A. 2014. Health systems under market conditions: the reforms carried out during the last quarter century. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 32(1): 88-94. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2014000100011.
- Frenk J. 2003. La salud de la población. *Hacia una nueva salud pública*. 3ed. FCE, SEP, CONACYT. 166p.
- García-Reynoso JA. 2021. Toward COVID-19 we all have our stories, this is mine. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-3. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-31>
- García-Ruiz H, LaTourette K and Garcia-Ruiz MT. 2021. Basic Coronavirus biology and vaccines for COVID-19. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-19. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-1>.
- Goettsch B, Urquiza-Haas T, Koleff P, Acevedo-Gasman F, Aguilar-Meléndez A, Alavez V, Alejandre-Iturbide G, Aragón-Cuevas F, *et al.*, 2021. Extinction risk of Mesoamerican crop wild relatives. *Plants People Planet* 3: 1-21 <https://doi.org/10.1002/ppp3.10225>.
- González GE, Silos EH, Perales SC, Padilla RJS, López MIG y Acosta DE. 2020. Control del clavo de la guayaba con extractos de plantas. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas* 11(2): 365-376. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v11n2/2007-0934-remexca-11-02-365.pdf>.
- Gonzalez-Cruces A. 2021. My interest for agriculture and COVID-19 emotions as graduate student. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-3. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-28>.
- González-Gaona E, Padilla-Ramírez JS, Perales-Segovia C, Castañeda-Cabrera C and Miranda-Salcedo MA. 2021. COVID-19 impacts on the guava crop production system in Calvillo, Aguascalientes, Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-12. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-20>.
- González-Meléndez SS. 2021. Consequences of COVID-19 on my experiment of gene overexpression in beans. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4):1-2. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-29>.
- González-Salgado IL, Rivera-Navarro J, Padilla-Bernaldez J y Gullón-Tosio P. 2021. Epidemiocracia. Nadie está a salvo si no estamos todos a salvo. *Gaceta Sanitaria*. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.11.007>.
- Granados-Montero MM. 2021. COVID-19: Threat or ally in the teaching-learning process in phytopathology? *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-6. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-5>.
- Gutiérrez-Samperio JJ. 2021. COVID-19 in the International Year of Plant Health. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-4. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-2>.
- Hernández NL. 2022. Café amargo. *La Jornada* (4 enero, 2022) <https://www.jornada.com.mx/2022/01/04/opinion/011a1p01>.
- Hodcroft EB. 2021. “CoVariants: SARS-CoV-2 Mutations and Variants of Interest.” <https://covariants.org/>.

que trabajan en el campo para hacer posible el alimento en el mundo.

Agradecimientos

A todos los autores y coautores que contribuyeron al Número Especial RMF 39(4). Al equipo CP-LANREF por el sostenido trabajo durante la pandemia. A Miranda Mora Gutiérrez por la revisión de la versión en inglés. A la SMF que impulsó el proyecto editorial. Al Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas por apoyar iniciativas de investigación en COVID-19. A todos los afectados directa e indirectamente por la pandemia COVID-19.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Horton R. 2020. Offline: COVID-19 is not a pandemic. *Lancet* 396(10255): 874. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32000-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32000-6).
- Ibarra-Zapata E, Aguirre-Salado C, Escoto-Rodríguez M, Miranda-Aragón L, Loredó-Ostí C, Casiano-Domínguez M, Mora-Aguilera G, Aguirre-Salado A, Ramos-Méndez C, Villegas-Jiménez N, Urías-Morales C y González-Gómez R. 2021. Análisis geoespacial fitosanitario de la Fusariosis de las Musáceas a nivel global, con énfasis en América Pantropical. *Investigaciones Geográficas* 106. <https://doi.org/10.14350/ig.60466>.
- INEGI. 2021. Producto Interno Bruto. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/>.
- Johnson G. 2021. Ómicron podría ser menos peligrosa que delta. *Los Ángeles Times*. (5 diciembre, 2021). <https://www.latimes.com/espanol/eeuu/articulo/2021-12-05/fauci-omicron-podria-ser-menos-peligrosa-que-delta>.
- La Jornada. 2021a. Covid: cuarta ola y descontento social. Disponible en <https://www.jornada.com.mx/2021/11/23/opinion/002a1edi>.
- La Jornada. 2021b. Aplica desde hoy nueva norma sobre teletrabajo. Disponible en <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/01/12/politica/aplica-desde-hoy-nueva-norma-sobre-teletrabajo/>.
- Lal R. 2020. Soil science beyond COVID-19. *Journal of Soil and Water Conservation* 75(4): 79A-81A. <https://doi.org/10.2489/jswc.2020.0408A>.
- Lednický JA, Tagliamonte MS, White SK, Elbadry MA, Alam MdM, Stephenson CJ, Bonny TS, Loeb JC, Telisma T, Chavannes S, Ostrov DA, Mavian C, De Rochars VMB, Salemi M and Morris JG. 2021. Independent infections of

- porcine deltacoronavirus among Haitian children. *Nature* <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04111-z>.
- Manoj-Kumar A. 2021. Research challenges during the COVID-19 pandemic: The experience of a functional genomics laboratory. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-2. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-14>.
- Martín-Moreno JM, Arenas A, Bengoa R, Borrell C, Franco M, García-Basteiro A, y Vives-Cases C. 2021. Reflexiones sobre cómo evaluar y mejorar la respuesta a la pandemia de COVID-19. *Gaceta Sanitaria*. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.11.008>.
- Mendenhall E, Kohrt BA, Norris SA, Ndeti D and Prabhakaran D. 2017. Non-communicable disease syndemics: poverty, depression, and diabetes among low-income populations. *The Lancet*, 389: 951-963. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30402-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30402-6).
- Mendoza EC, González RC, Martínez SMC, Avelar GFJ, Valdivia FAG, Aldana MML, Rodríguez OG y Jaramillo JF. 2015. Estudio de exposición a Malatía y Cipermetrina y su relación con el riesgo de daño renal en habitantes del municipio de Calvillo, Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 46(3): 62-72. <https://www.Redalyc.org/articulo.oa?id=57945705007>.
- Mora-Aguilera G and Acevedo-Sánchez G. 2021. A retrospective analysis of plant and human epidemics for COVID-19 comprehension. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-93. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-27>.
- Mora-Aguilera G, Acevedo-Sánchez G, Guzmán-Hernández E, Flores-Colorado OE, Coria-Contreras JJ, Mendoza-Ramos C, Martínez-Bustamante VI, López-Buenfil A, González-Gómez R and Javier-López MA. 2021. Web-based epidemiological surveillance systems and applications to coffee rust disease. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(3): 452-492. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2104-6>.
- Mora-Aguilera G, Martínez-Bustamante V, Acevedo-Sánchez G, Coria-Contreras JJ, Guzmán-Hernández E, Flores-Colorado OE, Mendoza-Ramos C, Hernández-Nava G, Álvarez-Maya I, Gutiérrez-Espinosa MA, Gómez-Linton R, Robles-Bustamante AC and Gallardo-Hernández A. 2022. Surveillance web system and mouthwash-saliva qPCR for labor ambulatory SARS-CoV-2 detection and prevention. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(3): 1271. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031271>.
- Muñoz-Castellanos LN, Borrego-Loya A, Villalba-Bejarano CV, González-Escobedo R, Orduño-Cruz N, Villezcas-Villegas GP, Rodríguez-Roque MJ, Avila-Quezada GD and Vargas-Arispuro I. 2021. Chlorine and its importance in the inactivation of bacteria, can it inactivate viruses? *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-9. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-4>.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2008. La Formación en Medicina Orientada hacia la Atención Primaria de Salud. Washington D.C: OPS. 71p. [https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2010/APS-Formacion\\_Medicina\\_Orientada\\_APS.pdf](https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2010/APS-Formacion_Medicina_Orientada_APS.pdf).
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2015. La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/.
- Paton J. 2021. Vacunas COVID: Farmacéuticas disfrutarán multimillonarias ganancias de hasta 190,000 mdd. *El Financiero Bloomberg*. (26 mayo, 2021). <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/2021/05/26/vacunas-covid-farmaceticas-disfrutaran-multimillonarias-ganancias-de-hasta-190000-mdd/>.
- Pérez-Hernández O, Sautua F, Domínguez-Monge S, Góngora-Canul CC and Carmona M. 2021. The serial and generation intervals from SARS-CoV-2 transmission dynamics and their potential application in the epidemiology of two citrus diseases. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-21. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-23>.
- Reuters, Afp, Sputnik y Prensa Latina. 2021. Sin acuerdo, reunión entre Duque y el comité del paro en Colombia. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/2021/05/11/mundo/019n1mun>.
- Reuters. 2021. NASDAQ y S&P500 se benefician por tecnológicas. (18 octubre, 2021). <https://www.economista.com.mx/mercados/NASDAQ-y-SP500-se-benefician-por-tecnologicas-20211018-0114.html>.
- Reyes JP. 2019. Corte rechaza modificar etiquetado en alimentos y bebidas. *Excelsior*. (08 de mayo, 2019). <https://www.excelsior.com.mx/nacional/corte-rechaza-modificar-etiquetado-en-alimentos-y-bebidas/1311883>.
- Reyes-Tena A, Fernández-Pavía SP and Hernández-Macias B. 2021. Tomate (*Solanum lycopersicum*) production and bacterial canker management during COVID-19. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-11. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-8>.
- Riquelme R. 2021. Tecnología en 2021: aceleración y pandemia. *El Economista*. (25 diciembre, 2021). <https://www.economista.com.mx/tecnologia/Tecnologia-en-2021-aceleracion-y-pandemia-20201225-0001.html>.
- Ritchie H, Mathieu E, Rodés-Guirao L, Appel C, Giattino C, Ortiz-Ospina E, Hasell J, Macdonald B, Beltekian D and Roser M. 2021. SARS-CoV-2 sequences by variant. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/grapher/covid-variants-bar?time=2021-12-05&country=AUS~GBR~USA~BEL~ITA~FRA~ESP~DEU~BWA~ZAF~CAN~MEX>.
- Rivas-Valencia P, Rosales-Rivas LA, Ávila-Quezada GD and Martínez-Martínez TO. 2021. Economy of the Mexican agriculture sector in times of COVID-19. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-15. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-21>.
- Rivera Dommarco JA, Colchero MA, Fuentes ML, González de Cosío Martínez T, Aguilar Salinas CA, Hernández Licóna G, Barquera S (eds.). 2018. La obesidad en México. Estado de la política pública y recomendaciones para su prevención y control. Cuernavaca: Instituto Nacional de Salud Pública.
- Rodríguez P. 2021. Letalidad por covid-19 es mayor en zonas rurales: Secretaría de Salud. *El Excelsior*. (15 de febrero 2021). <https://www.excelsior.com.mx/nacional/letalidad-por-covid-19-es-mayor-en-zonas-rurales-secretaria-de-salud/1432916>.
- Rubio-Tinajero S and Zapata-Contreras J. 2021. COVID-19 impact on UAT postgraduate students. *Mexican Journal*

- of Phytopathology 39(4): 1-6. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-24>.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2016. Centro Nacional de Recursos Genéticos, resguardo de la riqueza de México. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (19 de octubre 2021). <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/centro-nacional-de-recursos-geneticos-resguardo-de-la-riqueza-de-mexico>.
- Samaniego-Gaxiola JA. Benefic organisms in agricultural crops: Towards a safety and healthy food in response to COVID-19 and future syndemics. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-21. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-13>.
- Sánchez JA. 2022. Retirarán de hospitales a estudiantes de Medicina. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/ultimas/sociedad/2020/04/07/retiraran-de-hospitales-a-estudiantes-de-medicina-4868.html>.
- Sánchez S. 2021. El confinamiento ya es un factor que impulsa la venta de cómputo y electrodomésticos. *Forbes*. (17 septiembre, 2021). <https://www.forbes.com.mx/el-confinamiento-ya-es-un-factor-que-impulsa-la-venta-de-computo-y-electrodomesticos/>.
- Santivañez CT, Vernal HP, Mora-Aguilera G, Diaz PG and López-Arroyo JL. 2014. Marco Estratégico para la Gestión Regional del Huanglongbing en América Latina y el Caribe. FAO, Rome, Italy. Online publication: <http://www.fao.org/3/a-i3319s.pdf>.
- Santoyo G. 2021. Reflections on the scientific research carried out in Mexico during the COVID-19 pandemic. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-8. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-15>.
- Schneegans-Vallejo N, López-Guerrero V, Martínez-Ramírez OC, Ramos-García ML, Guillén-Sánchez D and Rivas-Valencia P. 2021. Potential of citrus extract as disinfectant in SARS-CoV-2 prevention. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-11. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-10>.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2021. Operan México y Estados Unidos programa piloto de Certificación Electrónica Fitosanitaria. <https://www.gob.mx/senasica/prensa/operan-mexico-y-estados-unidos-programa-piloto-de-certificacion-electronica-fitosanitaria-265245>.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2020. Centro Nacional de Referencia de Control Biológico. <https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/centro-nacional-de-referencia-de-control-biologico-103097>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pecuaría (SIAP). 2021. Expectativas agroalimentarias Enero 2021. (febrero, 2021). <https://www.gob.mx/siap/documentos/expectativas-deproduccion-agropecuaria-pesquera>.
- Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SISSAO). 2014. Plan Nacional de la Eliminación del Consumo de Bromuro de Metilo en México. <http://apps2.semarnat.gob.mx:8080/sissao/index.html>.
- Sistema Integral de Referencia para la Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SIRVEF). 2021. (26 noviembre, 2021). <https://prod.senasica.gob.mx/>.
- Solano-Báez AR, Lara-Rojas F and Márquez-Licon G. 2021. Teaching and research in plant health in times of COVID-19. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-11. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-16>.
- Sui J and Wenquiang LV. 2021. Crop Production and Agricultural Carbon Emissions: Relationship Diagnosis and Decomposition Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(15): 8219. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158219>.
- UK Health Security Agency (UKHSA) and Department of Health and Social Care (DHSC). 2021. <https://www.gov.uk/government/news/uk-completes-over-one-million-sars-cov-2-whole-genome-sequences>.
- Vargas-Arispuro I, Martínez-Téllez MA, Sáenz-Hidalgo HK, Mora-Aguilera G, Orduño-Cruz N and Avila-Quezada GD. 2021. Can food be a risk factor in the transmission of SARS-CoV-2? *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-5. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-3>.
- Vidal LMJ, Longoria GMB and Vera AI. 2021. The impact of COVID-19 on higher education. *Educación Médica Superior* 35(1):e2851. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21412021000100023&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21412021000100023&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Villalobos-Arámbula V. [@vmva1950]. 2021. El comercio total agroalimentario con nuestros socios comerciales fue de 66 mil 703 mdd, de los que el 59.2% correspondió a las ventas realizadas por México. Twitter. (22 de Febrero, 2021) <https://twitter.com/vmva1950/status/1361100493758599174>.
- Villalobos-Camacho JR. 2021. The pandemic and the lost dreams of a junior engineer. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-4. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-22>.
- Villanueva D. 2021. Economía en México tendrá transformación digital: IFT. *La Jornada*. Disponible en: <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/05/25/economia/economia-en-mexico-tendra-transformacion-digital-ift/>
- Weisenburger DD. 2021. A review and update with perspective of evidence that the herbicide glyphosate (roundup) is a cause of non-Hodgkin lymphoma. *ScienceDirect* 21: 621-630. <https://doi.org/10.1016/j.cml.2021.04.009>.
- World Health Organization (WHO). 2021. Seguimiento de las variantes del SARS-CoV-2. <https://www.who.int/es/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants>.
- Zamora-Macorra EJ. 2021. Brief teaching experience facing COVID-19. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-3. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-11>.
- Zelaya-Molina LX, de los Santos-Villalobos S, Chávez-Díaz IF and Córdova-Albores LC. 2021. Microbial genetic resources in food security to face COVID 19 pandemic. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 1-28. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-7>.

# SECTION 1

COVID-19: THE VIRUS, DISEASE  
AND EPIDEMIOLOGY

\*

COVID-19: EL VIRUS, ENFERMEDAD  
Y EPIDEMIOLOGÍA



## COVID-19 in the International Year of Plant Health

### COVID-19 en el año Internacional de la Sanidad Vegetal

**José Jorge Gutiérrez-Samperio**, Exdirector General de Sanidad Vegetal, de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México; Exdirector ejecutivo del OIRSA; Creador de los Programas Nacionales contra Moscas de la fruta y Mosca del mediterráneo. Texcoco, Estado de México, CP. 56230, México. Corresponding author: josejorgegutierrezsamperio611@gmail.com

Received: February 2, 2020.

Accepted: March 30, 2021.

Gutiérrez-Samperio JJ. 2021. COVID-19 in the International Year of Plant Health. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 59-62.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-2>

Pests, in their broad sense, have played an important part in the history of humankind. We could say that humans, crops and pests have walked together through life. Codices, glyphs, paintings and countless ancient documents, including the Bible and the Koran, bear witness to this. Humanity has been attacked by its own diseases, but also by those that limit them from obtaining food and deteriorate the environment. COVID-19, which is now troubling us and was declared a pandemic by the World Health Organization in March of 2020, became a part of the list of experiences we have suffered in the past, with pests or epidemics that caused millions of deaths by diseases or famines. It is paradoxical that this health contingency occurs when the United Nations General Assembly, on December 20th, 2018, in its resolution A/RES/73/252 decides to declare 2020 the *International Year of Plant Health* in order to “highlight the importance of plant health to improve food security, protect the environment and

Las plagas, en su amplia acepción, han tenido un rol preponderante en la historia de la humanidad. Se puede afirmar que hombre, cultivos y plagas han transitado juntos en el tiempo. Códices, glifos, pinturas y un sinnúmero de documentos antiguos, incluyendo la Biblia y el Corán, así lo atestiguan. El ser humano ha tenido embates tanto de enfermedades propias, como de aquellas que limitan la obtención de sus alimentos y deterioran el medio ambiente. El COVID-19, que ahora nos aqueja y se declaró pandemia por la Organización Mundial de Salud en Marzo de 2020, viene a sumarse a las experiencias sufridas en el pasado, con pestes o epidemias que causaron millones de muertes por enfermedades o hambrunas. Es paradójico que esta contingencia sanitaria sucede justo cuando la Asamblea General de las Naciones Unidas, el 20 de diciembre de 2018, en su resolución A/RES/73/252 decide declarar 2020 *Año Internacional de la Sanidad Vegetal* con el propósito de “resaltar la importancia de la salud de las plantas para mejorar la seguridad alimentaria, proteger el medio ambiente y la biodiversidad e impulsar el desarrollo económico” según el pronunciamiento de FAO.

*biodiversity and boost economic development*” according to the pronouncement by the FAO. For the first time, in an era with great technological and scientific breakthroughs, humanity was aware of its vulnerability against the inevitable evolution of life forms in the face of dilemmas global impact caused by human beings. Thus, the pest or parasite makes its own declaration of existential pre-eminence through SARS-CoV-2 to remind us that the health of humans or plants is the essence of life and its continuity. But perhaps absolute health is not enough. It is necessary to find a balance in a world overwhelmed by giving so much in return for almost nothing to everyone living on it. If the sensor of our anthropocentric intervention of the world is climate change, then biological chaos is a masterpiece. The reemergence of pests and diseases considered eradicated, or those of zoonotic origin that had never accompanied our existence is a surreal dystopia that we will never be able to deny again.

In the case of the pests of our crops and foods, there are many examples of this advent of imbalance. In the book “The Great Plague,” by F. Löhner Von Wachendorf, with an extensive bibliography, its content is magnificent in involving philosophical aspects on plagues (Von Wachendorf, 1959). The author named the first chapter “*And they sat down to a lavish feast.*” just by reading this one becomes completely involved in Von Wachendorf’s vision. The rest of the chapters are just as intriguing. For example, “*The apocalyptic horsemen ride,*” “*Hunger is not the best cook,*” “*In the First World War, the winner was the potato pest, the tribute from France 2A small bug: 100,000 million gold francs.*”

In Mexico, Mayans and Aztecs faced the *langosta* or locust and the *chahuistle* (maize fungus) since pre-Hispanic times (Rodríguez-Vallejo, 1992). In the Museum of anthropology and history in Mexico City there is an excellent sculpture of a locust carved in pink stone, the stylized figure of which is very similar to those found in the Mayan ruins of Tikal in Guatemala. In the Chapultepec (which comes from *náhuatl* and means *grasshopper hill*),

Por primera vez, en una época con grandes avances tecnológicos y científicos, la humanidad fue consciente de su vulnerabilidad ante la inevitable evolución de las formas vivas frente a disyuntivas de impacto global que ha provocado el ser humano. Así, la plaga, parásito o peste hace su propia declaratoria de preeminencia existencial, a través del SARS-CoV-2, para recordarnos que la salud de humanos y de plantas es la esencia de la vida y de su continuidad. Pero quizás la salud absoluta no basta. Es necesario encontrar un equilibrio en un mundo agobiado por dar tanto, a cambio de casi nada, de todos aquellos que la habitamos. Si el sensor de nuestra intervención antropocéntrica del mundo es el cambio climático entonces el caos biológico es indirectamente nuestra obra. Reemergencia de plagas y enfermedades consideradas erradicadas, o las de origen zoonótico que nunca habían acompañado a la humanidad, constituye una distopía surrealista que no podremos eventualmente negar más.

En el caso de plagas de nuestros cultivos y alimentos, hay muchos ejemplos de ese advenimiento del desequilibrio. En el libro “La Gran Plaga”, cuyo autor es F. Löhner Von Wachendorf, con una extensa bibliografía consultada, su contenido resulta magnífico para involucrar aspectos filosóficos sobre las plagas (Von Wachendorf, 1959). El autor denominó al primer capítulo: “*Y se sentaron en un opíparo banquete*”. Con solo leer esto, queda uno totalmente involucrado en la visión de Von Wachendorf. Los demás capítulos son igualmente sugerentes, por ejemplo: “*Los jinetes apocalípticos cabalgan,*” “*El hambre no es el mejor cocinero,*” “*En la primera guerra mundial salió vencedera la peste de la patata, el tributo de Francia a un pequeño bicho: 100,000 millones de francos oro*”.

En México, los Mayas y Aztecas se enfrentaron a la *langosta* o *chapulín* y al *chahuistle*, hongo del maíz, desde tiempos prehispánicos (Rodríguez-Vallejo, 1992). En el museo de antropología e historia

there is a sculpture of a grasshopper in its majestic courtyard.

In the book “*Las cosas de Yucatán*” (The Things of Yucatan) by Fray Diego de Landa, the author narrates events regarding crops taken from the oral traditions of the natives of the peninsula, such as *droughts* and *locust* (*Saák* in the Mayan language) and even registers the existence of at least 14 famines, some of them caused by the *locust* (de Landa, 1986). one of the first measures to control or safeguard against this and other plagues was established through religious instances and process in viceregal times in Mérida, Morelia, Guadalajara and other areas of Mexico. There are text about religious events performed to ask several saints for help, as well as the establishment of tithes for their control and activities to save and protect harvested grains from *rodents* and *weevils*.

Between the 1920s and 1950s, international programs were established, with the participation of Mexico, against *fruit flies*, *wheat rust* and *locusts*. The protection of the northwest was considered, and included Sinaloa, Sonora and California, thus creating quarantine No. 2 with an area of inspection and treatment in Guadalajara. In 1947, the *Comité Internacional de Lucha Antiacridia* (CICLA) was established to fight the *locust*, with headquarters in Managua, Nicaragua. because of the good results, in 1953 it became the *Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria* (OIRSA). All these activities and programs were carried out before the creation of the FAO and the International Phytosanitary Protection Committee.

In those years, many plant health activities were strengthened between the USA and Mexico, such as the program on *wheat rust* with the support of the World Bank, the campaign to eradicate the *foot-and-mouth disease*, as well as the creation of the *Oficina de Estudios Especiales*, with the support of the USAID. Early on in those years, the world also underwent the *Spanish flu*, a disease that caused the deaths of many people in Mexico, and perhaps the first pandemic with a worldwide impact. If we are now suffering with the COVID-19 pandemic,

de la ciudad de México existe una excelente escultura de un chapulín en piedra rosada, cuya figura estilizada es muy parecida a las que se observan en las ruinas mayas de Tikal en Guatemala. En el Castillo de Chapultepec (proviene del náhuatl y significa *cerro del chapulín*), existe también una escultura de chapulín en su majestuoso patio.

En el libro “*Las cosas de Yucatán*” de Fray Diego de Landa, el autor narra eventos relativos a cultivos recogidos de la tradición oral de nativos peninsulares, como *sequías* y *langosta* (*Saák* en lengua maya) e inclusive registra la existencia de cuando menos 14 hambres, algunas de ellas originadas por la *langosta* (de Landa, 1986). Una de las primeras medidas para el control o salvaguarda contra esta y otras plagas fue establecida a través de instancias y procesos religiosos en la época virreinal en Mérida, Morelia, Guadalajara y otros lugares de México. Existen escritos sobre eventos religiosos para solicitar ayuda a diversos santos, así como el establecimiento de diezmos para su control y de actividades para salvar y proteger los granos cosechados de *roedores* y *gorgojos*.

En las décadas de los 20’s a los 50’s se establecieron programas internacionales con la participación de México contra las *moscas de la fruta*, *langosta* y *royas del trigo*. Por ejemplo, se consideró la protección fitosanitaria del noroeste, incluyendo Sinaloa, Sonora y California, creándose la cuarentena No. 2 con un área de inspección y tratamiento en Guadalajara. En 1947 se estableció el *Comité Internacional de Lucha Antiacridia* para combatir la *langosta* con sede en Managua, Nicaragua. Debido a los buenos resultados, en 1953 se transformó en el *Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria* (OIRSA). Todas estas actividades y programas se realizaron antes de la creación de FAO y del Comité Internacional de Protección Fitosanitaria.

people back then must have had greater difficulties with incipient health systems and investigation.

In all this historical context, it is crucial to find and drive a global *prevention* policy, seizing the momentum of the *International Year of Plant Health 2020*, a significant measure of the United Nations Organization. Today, more than ever, it is crucial to have *prevention* programs against biological adversities by strengthening official and private instances. An ability for good leadership, created adequately, with systemic and humanistic visions and actions, must be one of the most immediate actions. We must think about the future of all nations, of humanity, of nature, About the needs for human health and for agricultural wealth.

## LITERATURE CITED

- De Landa D. 1986. Relación de las Cosas de Yucatán. Edición de AM. Garibay, Ciudad de México, Editorial Porrúa. México. 126 p. <https://www.wayeb.org/download/resources/landa.pdf>
- Rodríguez-Vallejo J. 1992. Historia de la Agricultura y de la Fitopatología (Con referencia especial a México). (No. 630.972R62). Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 135p.
- Von Wachendorf FL. 1959. La Gran Plaga: El hambre a Través de la Historia. Editorial Labor. Barcelona, España. 451p.

En esos años se fortalecieron muchas actividades sanitarias entre México y EUA, como el programa sobre *roya del trigo* con apoyo del Banco Mundial; la campaña de erradicación de la *fiebre aftosa*, así como la creación de la *Oficina de Estudios Especiales*, con apoyo de AID de EUA. A principios de esos años, también se sufrió la *influenza española*, enfermedad que causó muchas muertes de personas en México y fue quizá la primera pandemia que afectó a nivel mundial. Si ahora estamos sufriendo con la pandemia de COVID-19, seguro se tuvieron grandes calamidades en aquellos años con investigación y sistemas de salud insipientes.

En todo este contexto histórico, es imperativo reconocer y promover una política global de *prevención* aprovechando el impulso del *Año Internacional de Sanidad Vegetal 2020*, una medida notable de la Organización de Naciones Unidas. Hoy más que nunca, es fundamental crear y fortalecer programas de *prevención* contra las adversidades biológicas robusteciendo instancias oficiales y privadas. La capacidad de buenos liderazgos, creados adecuadamente, con visiones y acciones sistémicas y humanísticas, debe ser una de las acciones inmediatas. Es imperativo pensar en el futuro de las naciones, de la humanidad, de la naturaleza, de las necesidades sobre la salud humana y de la riqueza agropecuaria.



## My name is Bernardino Cruces, 85 year-old, I am a farmer

### Mi nombre es Bernardino Cruces, tengo 85 años, soy productor

**Bernardino Cruces-Pedraza** Carr. Texcoco Lecheria. Km 28.5. Sta. Gertrudis Acuexcomac, Atenco, Estado de México, México CP 56300. Corresponding author (grandson): gonzalez.agustin@colpos.mx

Received: March 01, 2021.

Accepted: March 30, 2021.

Cruces-Pedraza B. 2021. My name is Bernardino Cruces, 85 year-old, I am a farmer. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 63-68.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-18>

#### My name is Bernardino Cruces Pedraza

My name is Bernardino Cruces Pedraza, I am 85 years old, and I am a producer of asparagus (*Asparagus officinalis*; editor's note) in the ejido of Acuescomac, municipality of Atenco, State of Mexico. Many important things have happened in the country throughout my life, but nothing like the pandemic we are going through. At first, I thought it was fake news, I thought it was only meant to scare the people. I remembered the news about the 'chupacabra' in 1994. Or maybe it was something similar to the flu, which in my opinion was just a fleeting, harmless cold.

To tell you the truth, I have never believed everything the news says, but as the months went by, I realized that this disease was really dangerous. I began to understand its importance when they

#### Mi nombre es Bernardino Cruces Pedraza

Mi nombre es Bernardino Cruces Pedraza, tengo 85 Años, soy productor de espárrago (*Asparagus officinalis*, nota del editor) en el ejido de Acuescomac, municipio de Atenco, Estado de México. A lo largo de mi vida han pasado muchas cosas importantes en el país, pero nada parecido a la pandemia que estamos viviendo. Al principio creí que se trataba de una noticia falsa, pensé que sólo era para asustar al pueblo, recordaba la noticia del 'chupacabras' en el 94, o algo parecido a la *influenza* que a mi parecer fue solo una gripita pasajera.

A decir verdad, nunca he creído todo lo que dicen las noticias, pero conforme fueron pasando los meses, me di cuenta de que en realidad esa enfermedad era peligrosa. Empecé a entender la importancia cuando cerraron la central de abasto de Iztapalapa, ya que es ahí donde comercializo mis espárragos. El comprador me dijo que el gobierno había tomado la decisión de cerrar por un fregado virus y que por ello bajaría el precio del producto, lo cual obviamente me afectaría económicamente, no solo a mí, sino también a mis trabajadores. En

closed the Iztapalapa supply center since that is where I sell my asparagus. The buyer told me that the government had made the decision to close the center due to a damn virus and that, as a consequence, the price of my product would go down, which would obviously affect me economically, me and my workers. In talks with friends, we made fun of and joked about the disease. It was rumored that it was just a government ploy to weed out the senior population as it couldn't keep paying so much support. That made me angry, made me want to curse because people from the countryside do not live off the government. We work hard and our work is the most honest and the most worthy... We are not a burden to the government.

By then it was the Spring-Summer season, and I was sowing asparagus, corn, and cabbage, in order to take advantage of the good rain and temperature of May, the month of my birthday. I felt safe in the field since I knew that the air there was good and that is why I would not be infected with anything; indeed, my lungs would be cleaned. That is why I did not wear a face mask, especially when I was working on my crops. Being in the field reassures me. When I'm weeding the field, my mind fills with memories of my childhood...memories from my entire life...memories of when we were not aware of anything else in the world, not like today...memories of my father, Mr. Narciso Cruces. He dedicated his life to working in the fields and raising cattle. Ever since I had use of reason, I helped him with that work, until I was 14 years old. It was then that American household appliance companies arrived, and I started working in the General Electric factory as a welder. Through hard work, I became a floor supervisor. I worked for that company for 40 years. Despite the hard work I did in the factory, I never left my father alone with the farm and livestock activities. It was only when I retired that I returned to work full-time to crop production. I changed

pláticas con mis amigos nos burlábamos y bromeábamos sobre la enfermedad. Se rumoraba que era solo una cosa del gobierno para eliminar a la población de la tercera edad ya que no podía seguir pagando tanto apoyo. Eso me enojaba e insultaba porque a la gente de campo no se nos mantiene, nosotros trabajamos duro y nuestro trabajo es el más honesto y el más digno... No somos una carga para el gobierno.

Para entonces sembraba espárrago y maíz-calabaza, en la temporada Primavera-Verano, con el propósito de alcanzar la bondad de la precipitación y temperaturas buenas de Mayo, mes de mi cumpleaños. Me sentía seguro en el campo, ya que sabía que el aire ahí era bueno y por eso no me contagiaria de nada, es más, mis pulmones se limpiarían. Por eso no usaba cubrebocas y menos cuando estaba trabajando en mis cultivos. Estar en el campo me tranquiliza, mientras deshiero mi mente se llena de recuerdos de mi infancia... recuerdos de toda mi vida...recuerdos de cuando no estábamos enterados de nada del mundo, no como hoy en día...recuerdos de mi padre, el Sr. Narciso Cruces. Él era un hombre dedicado trabajar el campo y criar ganado. Desde que tuve uso de razón me dediqué a ayudarlo hasta que cumplí 14 años. Para entonces se dio la llegada de empresas gringas de artículos electrodomésticos y fue ahí donde entré a trabajar en la fábrica de General Electric, como soldador y después a base de trabajo duro, llegué a ser supervisor de piso, 40 años trabajé para esa empresa. A pesar de mis pesadas actividades en la fábrica nunca dejé solo a mi padre con las actividades del campo y del ganado. Fue hasta que decidí jubilarme que volví a dedicarme de lleno producir, ahora cambiando del maíz a las hortalizas, como un deseo de revivir mi niñez. Más sé que el campo no es para sentimentalismos. El campo es trabajo duro, compromiso, y esfuerzo. Es cierto que hay apoyos dirigidos al campo ya sea con alimento para

from corn to vegetables due to a desire to relive my childhood. I know that working in the fields does not reward sentimentality. Working in the field requires hard work, commitment, and effort. It is true that the government provides some to agricultural producers in the form of livestock feed, fertilizer, tools, and agrochemicals, but I don't like to depend on anyone. That is why I strive not to depend on external help but to be self-sufficient, with my own work.

### **The spread of contagions in the town**

My grandchildren tried to explain to me how is it that a virus caused the disease, but to tell the truth, I did not understand how something that could not be seen or felt could be so damaging to our health. I started wearing face masks to reassure my family. At first, it didn't let me breathe well but as the days went by I got used to it. Although I know about diseases that affect cattle from my experience taking care of my father's cows, I never imagined that an animal disease could infect people. I have never stopped working. But I have to get through the whole town to get to my field and there is my compadre and no shortage of friends, and I stop to greet them on my way there. Just to have a little talk and find out what is happening in town.

I told my grandchildren that the disease spread in crowded places, where there are many people. Many of the town's residents go to the city to work and that is what caused the spread of contagions in the town. It was in September (2020) that the number of deaths in the town started to rise. At first, out of habit, we went to offer condolences and pray the rosary with the deceased's family, but later we were forbidden to do it, the funerals were held in the evening and the coffins were wrapped in plastic. It was around this time that I found out that Mr. Luis was sick. He was my friend and plot neighbor

ganado, fertilizante o con implementos o agroquímicos, pero a mí no me gusta depender de nadie. Por eso me esfuerzo para no depender de una ayuda sino ser autosuficiente, con mi propio trabajo.

### **La 'contagiadera' en el pueblo**

Mis nietos trataban de explicarme la enfermedad causada por el virus, pero, a decir verdad, yo no comprendía cómo algo que no se podía ver, ni sentir podía perjudicar tanto nuestra salud. Empecé a usar cubrebocas para mantener tranquila a mi familia, aunque al principio no me dejaba respirar bien, conforme pasaron los días me fui acostumbrando. Aunque tengo conocimiento de enfermedades que afectan al ganado por experiencia cuidando las vacas de mi padre, nunca imagine que una enfermedad de animales pudiera contagiar a las personas. Nunca pare ni he parado de trabajar. Lo que sí, es que tengo que atravesar todo el pueblo para llegar a mis terrenos de cultivo. Y que no faltó que parara a saludar a mi compadre, mis amigos, solo para echarme una platicada y enterarme de lo que sucede en el pueblo.

También les decía a mis nietos que eso de la enfermedad se veía en lugares concurridos, donde hay mucha gente. Muchas de las personas del pueblo van a trabajar a la ciudad y esa fue la causa de la 'contagiadera' en el pueblo. Fue para septiembre (2020) que se elevó el número de muertes en el pueblo. En un principio y por costumbre asistíamos a dar el pésame y acompañar al rosario de los difuntitos, después se nos prohibió y pasaron los entierros a la tarde-noche y las cajas iban empujadas. Fue por esas fechas cuando me enteré de que estaba enfermo el Sr. Luis, era mi amigo y vecino de parcela desde hace 10 años. Me extrañó porque yo lo vi trabajando su parcela hacía apenas dos días, pensé que se aliviaría, por la fortaleza que tenía, algo que el trabajo de campo te da, pero ¡no!,

for 10 years. He surprised me because I saw him working on his plot just two days before. I thought he would get well because of the strength he had, which is something that working in the fields gives to you, but no! He died that same week. That served as a warning to me and since then I have avoided direct contact with my acquaintances. However, I have not stopped going to the meetings with the other “ejidatarios” (shareholders of common land) and to the society of irrigation wells. The mega project of the Mexico City airport caused us more harm than good, even though it was canceled. My production plots are just 60 meters from the road used by the cargo trucks that carried construction material there. When the trucks passed, they raised a lot of dust, which affected the crops. To speed up the passage of trucks, they made a temporary stone bridge covering the Papalotla riverbed, and this caused it to overflow and flood the surrounding fields. Due to poor planning, the construction of that bridge caused a flood that covered 14 hectares of agricultural land, where several producers grow vegetables. It is worth mentioning that the waters of this river are dirty, and this affected the cleanliness and sanitary quality of the vegetables, including my asparagus.

### **Praying to God this will end soon**

It has been almost a year now and we have not stopped working in the fields. For us, little has changed in our daily habits. But we are always praying to God that this will end soon and we can continue to be a normal community. Something that affected us a lot is that the temples and chapels were closed. Because of this, we did not celebrate as we owe San Isidro Labrador, patron saint of farmers. He helps us have a good harvest. There was no procession, no mass in the ejido, no banquet, no ornaments, no animals; that saddened

falleció esa misma semana. Eso me alertó y desde entonces he evitado tener contacto directo con mis conocidos. Sin embargo, no he dejado de ir a las reuniones de ejidatarios y de la *sociedad de pozos de riego*, ya que el megaproyecto del aeropuerto de la Ciudad de México, aunque cancelado, nos dejó más perjuicios que beneficios. Mis parcelas productoras están a escasos 60 metros del camino usado por los camiones de carga que se dirigían a dejar material de construcción. El paso de éstos levantaba polvaredas que afectaban los cultivos e incluso con el afán de agilizar el paso de camiones, hicieron un puente provisional de piedra tapando el cauce del río *Papalotla* lo que ha causado su desbordamiento y anegamientos. La mala planeación de ese puente causó la inundación de una tabla agrícola de 14 hectáreas donde varios productores teníamos hortalizas. Cabe mencionar que las aguas de este río son sucias, lo que por obvias razones afectó la limpieza y sanidad de las hortalizas, entre ellas mi espárrago.

### **Rezando a Dios para que esto se termine pronto**

Ya llevamos casi un año y nosotros no hemos parado en las labores del campo y para nosotros poco ha cambiado nuestras costumbres diarias. Pero si estamos siempre rezando a Dios para que esto se termine pronto y sigamos siendo una comunidad normal. También algo que nos afectó muchísimo es que nuestros templos y capillas fueron cerradas. Tanto que no celebramos como debemos a *San Isidro Labrador*, patrón de los agricultores. Él nos ayuda a tener buena cosecha. Ni procesión, ni misa en el ejido, ni convivio, ni adornos, ni animales, eso me entristeció. Todo sea por el cuidado de la vida. No hemos dejado de prenderle sus veladoras y procurando sus oraciones y ofrendas. Ya ven que ni siquiera pusimos ofrendas en el panteón como acostumbramos a nuestros difuntitos.



me. But everything is to take care of our lives. We have not stopped lighting candles or praying to him and making offerings. You can see that we did not even made offerings to our dead in the cemetery, as we used to. Fortunately, work keeps us busy and hopeful, even when I hear about relatives and friends that got sick and were even killed by this virus. We have to go to our crops, and then the mind clears, even if the heart hurts. I hope the vaccines will help us. They say they will come, especially to us old people. I hope we leave this world when God calls us to account, but not because of a virus.

I have had time to think, and to talk about the way one dies after being infected. It's really scary not being able to breathe, but even so, the decision comes from above. For now, I take care of myself and do what they tell us, but to be honest I sometimes forget and get over-confident. I don't want to be scared going to my plot. I don't want fear to stop me, so I live day by day, and I try to have new projects in mind to plant and continue working, which is what gets me up every day.

I am thankful for what I have lived. My wish is to be able to share bread with all my family, celebrate with my friends, go on pilgrimage, go to deliver my asparagus to the supply center in Mexico City, attend ejidal meetings, and our patronal feast. And I hope to be healthy and alive one day at a time.

Afortunadamente el trabajo nos mantiene ocupados y esperanzados, aun cuando me entero de los parientes y amigos afectados y hasta muertos por este virus. Tenemos que acudir a nuestras cosechas, la mente se despeja, aunque el corazón nos 'duela'. Espero que las vacunas nos ayuden, dicen que llagarán, sobre todo a nosotros los viejos y sea cuando Dios nos llame a cuentas cuando dejemos este mundo, mas no por un virus.

He tenido tiempo de reflexionar, y de platicar sobre la forma en que se muere estando contagiado. De verdad da miedo, no poder respirar, Pero aun así quien tiene la decisión es de arriba. Por lo pronto me cuido y hago lo que nos dicen, pero para ser honesto se me olvida y me confío. No quiero estar con miedo yendo a mi parcela. No quiero que me pare el miedo, así que vivo día a día, y procuro tener en mente nuevos proyectos para sembrar y seguir trabajando que es lo que me levanta a diario.

Doy gracias por lo que he vivido. Deseo ya, compartir el pan con toda mi familia, festejar con mis amistades, salir de peregrinación, ir a entregar mi espárrago a la central de abastos, acudir a juntas ejidales y nuestra fiesta patronal Y espero estar sano y vivo solo "un día cada vez".



**Don Bernardino Cruces Pedraza in his asparagus plot  
Don Bernardino Cruces Pedraza en su parcela de espárrago**

# Basic Coronavirus biology and vaccines for COVID-19

## Biología básica del Coronavirus y vacunas para COVID-19

Hernan Garcia-Ruiz<sup>1,2\*</sup>, Katherine LaTourrette<sup>1,2,3</sup>, Mayra Teresa Garcia-Ruiz<sup>4</sup>, <sup>1</sup>Nebraska Center for Virology, <sup>2</sup>Department of Plant Pathology, <sup>3</sup>Complex Biosystems Interdisciplinary Life Sciences Program, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE, USA, 68503. <sup>4</sup>Universidad Autónoma Chapingo, México, CP 56230. \*Corresponding author: hgarciarui2@unl.edu

Received: December 21, 2020.

Accepted: March 01, 2021.

Garcia-Ruiz H, LaTourrette K and Garcia-Ruiz MT. 2021. Basic Coronavirus biology and vaccines for COVID-19. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 69-87.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-1>

**Abstract.** *Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2* (SARS-CoV-2) is the causal agent of the COVID-19 pandemic. Two mRNA vaccines based on the spike protein S have been authorized by the Food and Drug Administration. Antibody-based diagnostic test detect antibodies developed against protein S. Mutations in the genome of SARS-CoV-2 might compromise the precision of diagnostic tests and the efficacy of vaccines and antiviral drugs. We recently profiled genomic variation in human coronaviruses SARS-CoV, SARS-CoV-2, and *Middle East respiratory syndrome coronavirus* (MERS-CoV). As in all species of the genus *Betacoronavirus*, the genome is hyper variable, and mutations are not random. The most variable cistron codes for the spike S protein. Hyper variation in protein S has the potential to affect the efficacy of vaccines, the reliability

**Resumen.** El *coronavirus de tipo 2 causante del síndrome respiratorio agudo severo* (SARS-CoV-2) es el agente causal de la pandemia de COVID-19. Dos vacunas de ARNm basadas en la proteína espicular S han sido autorizadas por la Administración de Alimentos y Fármacos de Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés). La prueba de diagnóstico basada en anticuerpos detecta anticuerpos desarrollados contra la proteína S. Las mutaciones en el genoma de SARS-CoV-2 podrían poner en riesgo la precisión de las pruebas de diagnóstico y la eficacia de las vacunas y los fármacos antivirales. Recientemente, realizamos un perfil de la variación genómica en los coronavirus humanos SARS-CoV, SARS-CoV-2 y el *Coronavirus del síndrome respiratorio de Oriente Medio* (MERS-CoV). Al igual que en todas las especies del género *Betacoronavirus*, el genoma es hipervariable y las mutaciones no son aleatorias. El cistron más variable codifica la proteína espicular S. La hipervariación en la proteína S tiene el potencial de afectar la eficacia de las vacunas, la confiabilidad de una prueba de diagnóstico basada en anticuerpos y predice el potencial de infecciones recurrentes de SARS-CoV-2. En este trabajo revisamos lo básico de la biología y



of antibody-based diagnostic test, and predicts potential for repeated SARS-CoV-2 infections. Here we review the basics of coronavirus biology and genomic variation, and link them to diagnostic tests, vaccines, and antiviral drugs.

**Key words:** Antiviral, Coronavirus, COVID-19, MERS-CoV, mRNA vaccine, protein S, spike protein.

### The virus

The causal agent of the COVID-19 pandemic is the *Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2* (SARS-CoV-2) first described in Wuhan, China in December of 2019 (Lu *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2020). Two other coronaviruses are highly pathogenic to humans. The *Severe acute respiratory syndrome coronavirus* (SARS-CoV) was described in China in 2002, and the *Middle East respiratory syndrome coronavirus* (MERS-CoV) was described in South Arabia in 2012 (Cui *et al.*, 2019). Both SARS-CoV and SARS-CoV-2 originated in bats, in China, and adapted to infect humans (Cui *et al.*, 2019; Cagliani *et al.*, 2020; Lu *et al.*, 2020).

Coronaviruses form spherical virions with a membrane envelope. The genome is single-stranded RNA (Cui *et al.*, 2019). As in all RNA viruses, in coronaviruses sources of genetic variation include nucleotide insertions, deletions, substitutions and include RNA recombination. These events occur naturally during RNA replication (Sanjuán and Domingo-Calap, 2016). Genetic variation and selection favor accumulation of mutations in parts of the genome responsible for critical processes, such as host adaptation, vector transmission, entry into the cell, and suppression of antiviral defense (Obenauer *et al.*, 2006; Nigam and Garcia-Ruiz, 2020).

variación genómica del coronavirus y los vinculamos a pruebas de diagnóstico, vacunas y fármacos antivirales.

**Palabras clave:** Antivirales, COVID-19, MERS-CoV, vacuna ARNm, proteína S, proteína espicular.

### El virus

El agente causal de la pandemia de COVID-19 es el *coronavirus de tipo 2 causante del síndrome respiratorio agudo severo* (SARS-CoV-2, por sus siglas en inglés), descrito por primera vez en Wuhan, China en diciembre de 2019 (Lu *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2020). Existen otros dos coronavirus que son altamente patogénicos para los humanos. El *coronavirus del síndrome respiratorio agudo severo* (SARS-CoV, por sus siglas en inglés) fue descrito en China en el año 2002 y el *Coronavirus del síndrome respiratorio de Oriente Medio* (MERS-CoV, por sus siglas en inglés) fue descrito en el sur de Arabia Saudita en el 2012 (Cui *et al.*, 2019). Tanto el SARS-CoV como el SARS-CoV-2 se originaron en murciélagos en China y se adaptaron para infectar a los humanos (Cui *et al.*, 2019; Cagliani *et al.*, 2020; Lu *et al.*, 2020).

Los coronavirus forman viriones esféricos y están cubiertos por una membrana. El genoma es un ARN monocatenario (Cui *et al.*, 2019). Al igual que en todos los virus de ARN, en los coronavirus, fuentes de variación genética incluyen inserciones, eliminaciones, sustituciones e incluyen la recombinación de ARN. Estos ocurren de manera natural durante la replicación del ARN (Sanjuán y Domingo-Calap, 2016). La variación y selección genética favorecen la acumulación de mutaciones en partes del genoma encargadas de procesos críticos, tales como la adaptación del hospedante, la transmisión de vectores, entrada a la célula y la supresión de la defensa antiviral (Obenauer *et al.*, 2006; Nigam y Garcia-Ruiz, 2020).



At the population level, genetic variation and selection drive the formation of new strains and species (Lauring and Andino, 2010). This model supports the emergence of SARS-CoV and SARS-CoV-2 in bats followed by adaptation to humans (Cui *et al.*, 2019; Cagliani *et al.*, 2020; Lu *et al.*, 2020). SARS-CoV never reached pandemic level. One of the differences is that SARS-CoV-2 is more readily transmissible than SARS-CoV. The genetic difference in transmissibility and pathogenicity maps to the spike protein S (Zhou *et al.*, 2020).

The spike protein decorates the coronavirus virion and mediates entry into the cell to initiate infection (Li, 2016; Wrapp *et al.*, 2020a). SARS-CoV-2 entry is mediated by the specific interaction between the spike protein S and cellular receptor angiotensin-converting enzyme 2 (ACE2) (Cai *et al.*, 2020). Infected people develop neutralizing antibodies against the entire protein S and non-neutralizing antibodies against fractions or a subunit of protein S (Brochot *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020). Accordingly, antibodies against the S protein are used as markers in diagnostic assays (Zhu *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2008; Brochot *et al.*, 2020). Other, coronavirus diagnostic protocols are based on the detection of viral RNA by RT-PCR, viral proteins, or antibodies developed against viral proteins (Brochot *et al.*, 2020; Phan, 2020b; Zhu *et al.*, 2020).

Vaccines against SARS-CoV-2 are being developed using multiple approaches, including attenuated or inactivated viruses, DNA, adenovirus-based and mRNA vaccines (Amanat and Krammer, 2020; Dearlove *et al.*, 2020). In the United States of America, two mRNA vaccines based on protein S have been authorized for use by the Food and Drug Administration. The end goal of these vaccines is to block virus entry into the cell by activating the formation of antibodies against protein S. We recently showed that the cistron coding for protein S is the most variable in the genome of SARS-CoV-2

A nivel poblacional, la variación y la selección genética promueven la formación de nuevas cepas y especies (Lauring y Andino, 2010). Este modelo apoya la emergencia del SARS-CoV y el SARS-CoV-2 en murciélagos, seguido de su adaptación en humanos (Cui *et al.*, 2019; Cagliani *et al.*, 2020; Lu *et al.*, 2020). El SARS-CoV nunca alcanzó un nivel de pandemia. Una de las diferencias es que SARS-CoV-2 es más fácilmente transmisible que el SARS-CoV. La diferencia genética en transmisibilidad y patogenicidad se encuentra en la proteína espicular S (Zhou *et al.*, 2020).

La proteína espicular adorna de virión del coronavirus y media la entrada a la célula para iniciar la infección (Li, 2016; Wrapp *et al.*, 2020a). La entrada del SARS-CoV-2 es mediada por la interacción específica entre la proteína espicular S y el receptor celular ACE2 (por sus siglas en inglés), o enzima convertidora de angiotensina (Cai *et al.*, 2020). Las personas infectadas desarrollan anticuerpos neutralizantes contra toda la proteína S y anticuerpos no neutralizantes contra fracciones o una subunidad de la proteína S (Brochot *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020). Por consiguiente, los anticuerpos contra la proteína S son usados como marcadores en ensayos de diagnóstico (Zhu *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2008; Brochot *et al.*, 2020). Otros protocolos de diagnóstico del coronavirus se basan en la detección de ARN viral por RT-PCR, proteínas virales o anticuerpos desarrollados contra las proteínas virales (Brochot *et al.*, 2020; Phan, 2020b; Zhu *et al.*, 2020).

Varias vacunas contra SARS-CoV-2 se encuentran en desarrollo, usando varios enfoques, incluyendo virus atenuados o desactivados, ADN, con base en adenovirus y vacunas de ARNm (Amanat y Krammer, 2020; Dearlove *et al.*, 2020). En Estados Unidos, dos vacunas de ARNm basadas en la proteína S han sido autorizadas para su uso por la Administración de Alimentos y Fármacos de Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés). La finalidad de estas vacunas es bloquear la entrada del

and in all species in the genus *Betacoronavirus* (LaTourrette *et al.*, 2021), which includes SARS-CoV and MERS-CoV. The wide genetic diversity of their host has selected *Betacoronavirus* for hyper variation in protein S (LaTourrette *et al.*, 2021).

The hyper variable nature of protein S has several biological functions. One is to maintain functionality and recognize a genetically diverse group of potential hosts, such as humans or bats (Zhai *et al.*, 2020). Another is to trigger the formation of non-neutralizing antibodies that serve as decoys. Protein S variation may also escape neutralizing antibodies formed by natural infection or triggered by vaccines (Long *et al.*, 2020; Walls *et al.*, 2020). Accordingly, efficacy of vaccines, and reliability of antibody-based diagnostic test has potential to be affected by variation in protein S. Protein S variation also explains the occurrence of repeated SARS-CoV-2 infections (Tillett *et al.*, 2020). Fundamental understanding of the coronavirus biology and genomic variation establish the basis for designing and deploying diagnostic tests, vaccines, and antiviral drugs.

### Coronavirus taxonomy

Coronaviruses belong to the order *Nidovirales*, the family *Coronaviridae*, the sub-family *Orthcoronavirinae*, and four genera (*Alphacoronavirus*, *Betacoronavirus*, *Gammacoronavirus*, and *Deltacoronavirus*) (Lu *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2020) (Figure 1). Alphacoronaviruses infect mammals. Betacoronaviruses mainly infect bats and humans. Gammacoronaviruses and Deltacoronaviruses infect birds, and some species infect mammals. The genus *Betacoronavirus* is divided into five sub-genera (Figure 1): *Embecovirus*, *Merbecovirus*, *Nobecovirus*, *Hibecovirus*, and *Sarbecovirus* (Lu *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2020). The sub-genus

virus a la célula al activar la formación de anticuerpos contra la proteína S. Hace poco demostramos que el cistron que codifica la proteína S es el más variable en el genoma del SARS-CoV-2 y en toda la especie del género *Betacoronavirus* (LaTourrette *et al.*, 2021), que incluye a SARS-CoV y a MERS-CoV. La amplia diversidad genética de su huésped ha seleccionado a *Betacoronavirus* para la hipervariación en la proteína S (LaTourrette *et al.*, 2021). La naturaleza hipervariable de la proteína S tiene varias funciones biológicas. Una es mantener la funcionalidad y reconocer a un grupo genéticamente diverso de hospedantes en potencia, tales como los humanos o los murciélagos (Zhai *et al.*, 2020). Otra es desencadenar la formación de anticuerpos no neutralizantes que sirven de señuelos. La variación de la proteína S también podrían escapar a anticuerpos neutralizantes formados por una infección natural o desencadenados por vacunas (Long *et al.*, 2020; Walls *et al.*, 2020). Por ello, la eficacia de las vacunas y la confiabilidad de la prueba de diagnóstico tiene el potencial de ser afectado por la variación en la proteína S. La variación en la proteína S también explica la ocurrencia de infecciones recurrentes de SARS-CoV-2 (Tillett *et al.*, 2020). Una comprensión de los fundamentos de la biología y la variación genómica del coronavirus sientan las bases para el diseño y la implementación de pruebas de diagnóstico, vacunas y fármacos antivirales.

### Taxonomía del Coronavirus

Los coronavirus pertenecen al orden *Nidovirales*, la familia *Coronaviridae*, la subfamilia *Orthcoronavirinae* y cuatro géneros (*Alphacoronavirus*, *Betacoronavirus*, *Gammacoronavirus* y *Deltacoronavirus*) (Lu *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2020) (Figura 1). Los alfacoronavirus infectan a los mamíferos. Los betacoronavirus infectan principalmente a

| Family        | Sub-Family         | Genus                  | Sub-genus               | Clade                                                   | Representative species        | Host                                                                   | Tropism           |                |
|---------------|--------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|
| Coronaviridae | Letovirinae        | <i>Alphaletovirus</i>  | <i>Milecovirus</i>      |                                                         | <i>Microhylla letovirus 1</i> | Amphibians                                                             | Not determined    |                |
|               |                    |                        |                         |                                                         | <i>Alphacoronavirus 1</i>     | Cat                                                                    | Enteric           |                |
|               | Orthocoronavirinae | <i>Betacoronavirus</i> |                         |                                                         |                               | <i>Human coronavirus HKU1</i>                                          | Human             | Respiratory    |
|               |                    |                        |                         |                                                         |                               | <i>Middle East respiratory syndrome-related coronavirus (MERS-CoV)</i> | Human, bat, camel | Respiratory    |
|               |                    |                        |                         |                                                         |                               | <i>Rousettus bat coronavirus HKU9</i>                                  | Bat               | Not determined |
|               |                    |                        |                         |                                                         |                               | <i>Bat Hp-betacoronavirus</i>                                          | Bat               | Not determined |
|               |                    |                        |                         |                                                         |                               | <i>Sarbecovirus</i>                                                    |                   |                |
|               |                    |                        | I                       | <i>Bat coronavirus</i>                                  | Bat                           | Respiratory                                                            |                   |                |
|               |                    |                        | II                      | <i>SARS-CoV-2</i><br><i>Bat SARS coronavirus RaTG13</i> | Human<br>Bat                  | Respiratory<br>Respiratory                                             |                   |                |
|               |                    |                        | III                     | <i>SARS-CoV</i><br><i>Bat SARS-like coronavirus</i>     | Human<br>Bat                  | Respiratory<br>Respiratory                                             |                   |                |
|               |                    |                        | <i>Deltacoronavirus</i> | <i>Bulbul coronavirus HKU11</i>                         | Bird                          | Not determined                                                         |                   |                |
|               |                    |                        | <i>Gammacoronavirus</i> | <i>Avian infectious bronchitis virus</i>                | Commercial pheasants          | Respiratory, enteric, and neurological                                 |                   |                |

**Figure 1. Taxonomic organization of coronaviruses. Representative species are indicated for every genus and sub-genus. Their hosts and tropism are indicated. Important human pathogens are highlighted in blue.**

**Figura 1. Organización taxonómica de los coronavirus. Las especies representativas están señaladas para cada género y subgénero. Sus hospedantes y tropismo están señalados. Los patógenos humanos importantes aparecen resaltados en color azul.**

*Sarbecovirus* contains species that infect only bats or humans and includes SARS-CoV and SARS-CoV-2. Another human coronavirus, MERS-CoV, belongs to the sub-genus *Merbecovirus*. The sub-genera *Nobecovirus*, *Hibecovirus* are integrated by species that infect bats (Figure 1).

### Coronavirus genome organization

In betacoronaviruses the genome consists of a single RNA, linear, of positive polarity and is approximately 30,000 nt long. The virion is spherical, enveloped, and is 120 nm in diameter

murciélagos y humanos. Los gammacoronavirus y deltacoronavirus infectan a aves y algunas especies, a mamíferos. El género *Betacoronavirus* se divide en cinco subgéneros (Figura 1): *Embecovirus*, *Merbecovirus*, *Nobecovirus*, *Hibecovirus* y *Sarbecovirus* (Lu *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2020). El subgénero *Sarbecovirus* contiene especies que infectan sólo a murciélagos y humanos e incluye a SARS-CoV y a SARS-CoV-2. Otro coronavirus humano, el MERS-CoV, pertenece al subgénero *Merbecovirus*. Los subgéneros *Nobecovirus* y *Hibecovirus* están integrados por especies que infectan a murciélagos (Figura 1).

(Brian and Baric, 2005; Cui *et al.*, 2019). The genomic RNA is protected by nucleoprotein N in a nucleocapsid. The envelope is formed by the membrane (M) protein and the small membrane protein E. A distinctive feature of the coronavirus virion is the presence of spikes formed by the glycoprotein S (protein S) ( Figure 2) (Lan *et al.*, 2020; Walls *et al.*, 2020; Wrapp *et al.*, 2020a).

The coronavirus genomic RNA (Figure 3) is capped, polyadenylated and encodes multiple cistrons in open reading frames 1 (ORF1a) and 1b (ORF1b) joined by a ribosomal frameshift. Polyproteins 1a and 1ab are processed by papain-like proteinase NSP3 and 3C-like proteinase NSP5 to form the viral RNA-dependent RNA polymerase and several non-structural proteins necessary for RNA replication. M, E, S and other structural proteins are expressed from subgenomic RNAs co-terminal with the 3' end, and contain a 5' leader that is 65 to 89 nt long (Brian and Baric, 2005).

### Entry into the cell

Entry into the cell is mediated by protein S spikes on the virion surface that interact with cellular receptors. The process is facilitated by entry cofactors (Gallagher and Buchmeier, 2001; Li, 2013; Cantuti-Castelvetri *et al.*, 2020; Yan *et al.*, 2020). Protein S is divided into S1 and S2 subunits cleaved by cellular proteases and cofactors (Millet and Whittaker, 2015; Cantuti-Castelvetri *et al.*, 2020; Coutard *et al.*, 2020; Xia *et al.*, 2020). The receptor binding domain is located at the tip of the S1 head, and mediates recognition and binding to the surface of the receptor ACE2 (Cai *et al.*, 2020). Interactions between protein S and de cellular receptor are critical for cell entry, and highly specific (Cai *et al.*, 2020). Thus, protein S is a determinant of coronavirus host range (Gallagher and Buchmeier, 2001; Zhai *et al.*, 2020).

### Organización del genoma del Coronavirus

En los betacoronavirus, el genoma consiste en un único ARN, lineal, de polaridad positiva y con una longitud de aproximadamente 30,000 nt. El virión es esférico, está envuelto y tiene un diámetro de 120 nm (Brian y Baric, 2005; Cui *et al.*, 2019). El ARN genómico está protegido por la nucleoproteína N en una nucleocápside. La envoltura está formada por la proteína de membrana (M) y la proteína E de la membrana pequeña. Una característica distintiva del virión del coronavirus es la presencia de puntas formadas por la glucoproteína S (proteína S) (Figura 2) (Lan *et al.*, 2020; Walls *et al.*, 2020; Wrapp *et al.*, 2020a).

El ARN genómico del coronavirus (Figura 3) está protegido, poliandenilado y codifica múltiples cistrones en los marcos abiertos de lectura 1 (ORF1a) y 1b (ORF1b), unidos por un desplazamiento de marco ribosómico. Las poliproteínas 1a y 1ab son procesadas por proteinasa similar al NSP3 y la proteinasa NSP5 similar al 3C para formar la polimerasa ARN dependiente del ARN viral y varias proteínas no estructurales necesarias para la replicación del ARN. M, E, S y otras proteínas estructurales se expresan desde ARNs subgenómicos coterminales con la punta de 3' y contienen un líder de 5' con una longitud de entre 65 y 89 nt (Brian y Baric, 2005).

### Entrada a la célula

La entrada a la célula está mediada por puntas de proteína S en la superficie del virión que interactúan con receptores celulares. El proceso es facilitado por cofactores de entrada (Gallagher y Buchmeier, 2001; Li, 2013; Cantuti-Castelvetri *et al.*, 2020; Yan *et al.*, 2020). La proteína S se divide en las subunidades S1 y S2, divididas por proteasas



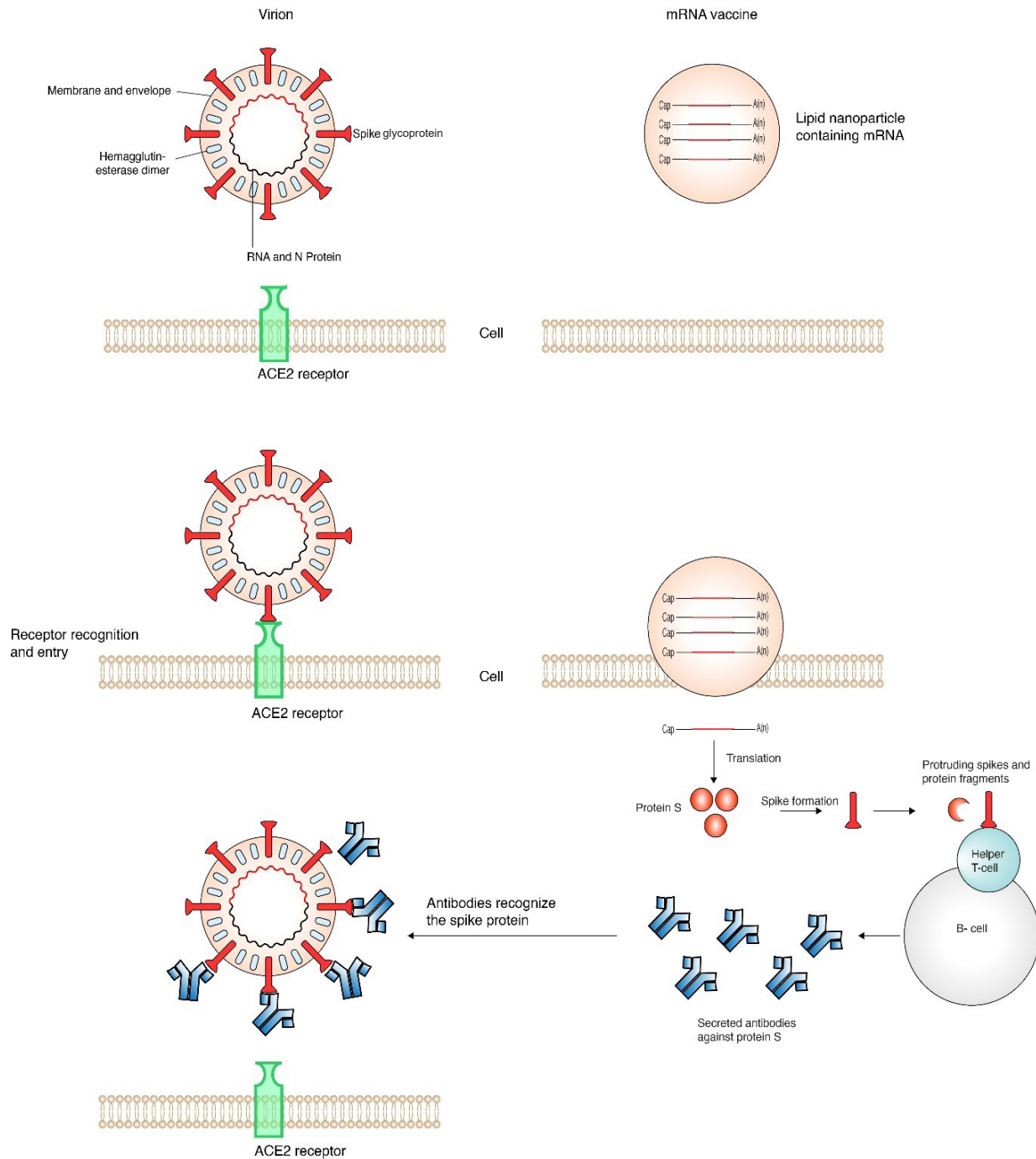
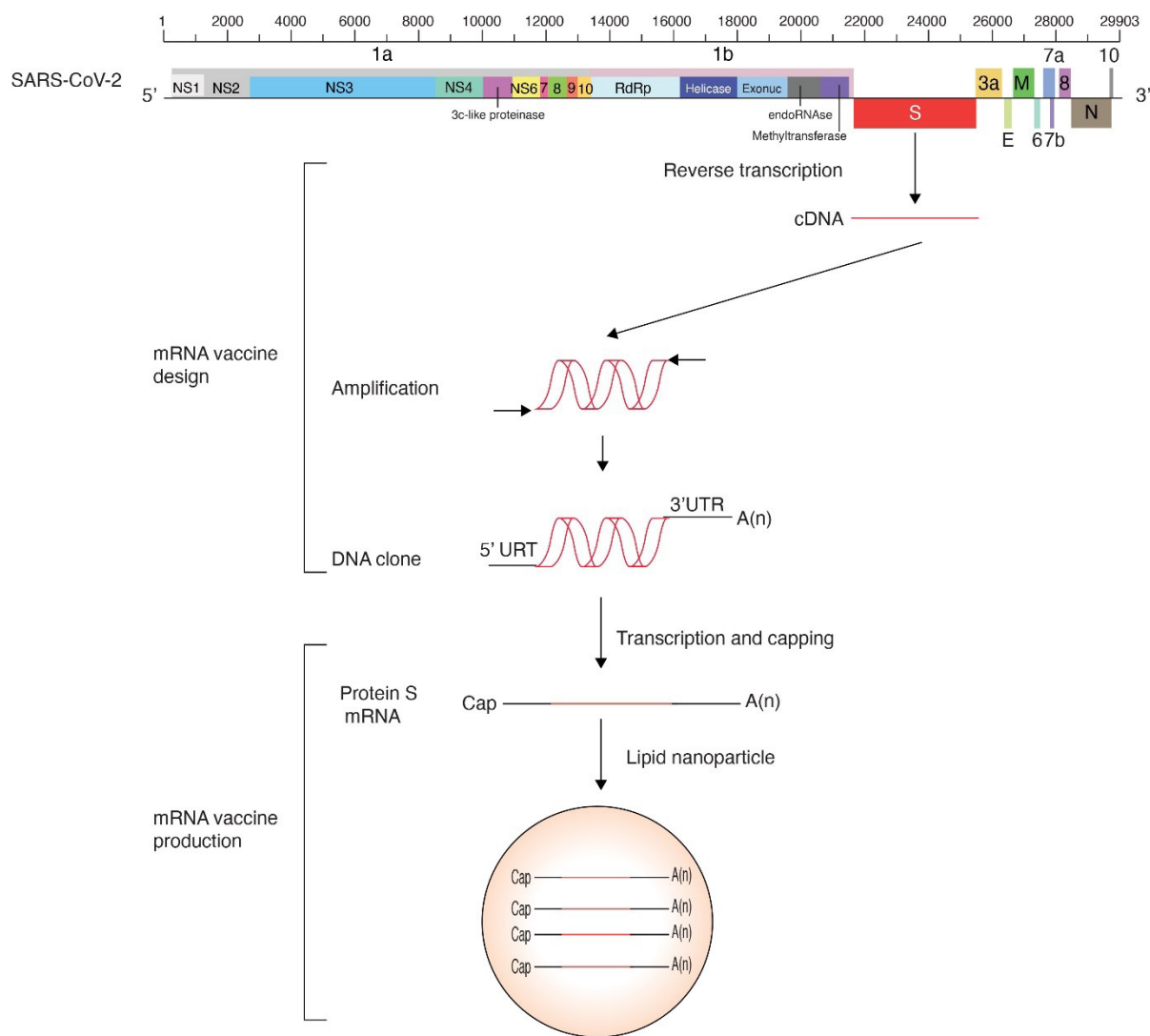


Figure 2. Schematic representation of coronavirus virions, entry into cells, and generation and activity of neutralizing antibodies against protein S triggered by natural infection or an mRNA vaccine.

Figura 2. Representación esquemática de viriones de coronavirus, la entrada a las células y generación y actividad de anticuerpos neutralizantes contra la proteína S desencadenada por infección natural o una vacuna de ARNm.



**Figure 3. SARS-CoV-2 genome organization and design of a mRNA vaccine. Coordinates are based on the reference isolate Wuhan-Hu-1 (NC\_045512.2).**

**Figura 3. Organización de genomas de SARS-CoV-2 y el diseño de una vacuna de ARNm. Las coordenadas se basan en el aislamiento de referencia Wuhan-Hu-1 (NC\_045512.2).**

### The mRNA vaccine

For its critical role in cell entry, the spike S protein is the common target for neutralizing antibodies and vaccines (Brochot *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020). In people infected with coronavirus,

celulares y cofactores (Millet y Whittaker, 2015; Cantuti-Castelvetri *et al.*, 2020; Coutard *et al.*, 2020; Xia *et al.*, 2020). El dominio de unión del receptor está ubicado en la punta del cabezal S1 y media en el reconocimiento y unión con la superficie del receptor ACE2 (Cai *et al.*, 2020). Las

neutralizing antibodies are formed against the entire protein S. However, non-neutralizing antibodies are also developed against the S2 subunit (Brochot *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020).

Vaccines trigger the formation of neutralizing antibodies against protein S, in the absence of infection. Two mRNA vaccines based on protein S have been authorized. Their design is similar and are based on the genome organization and gene expression of coronaviruses (Figure 3). The cistron coding for protein S was cloned using the sequence from the reference isolate Wuhan-Hu-1 (NC\_045512.2). A 5' UTR, a 3' UTR, and a poly A tail were added to provide stability and enhance translation efficiency. To account for variation in protein S (Becerra-Flores and Cardozo, 2020) prevalent mutations were introduced, and to further enhance translation efficiency, nucleoside modification were introduced (Pardi *et al.*, 2018). The basic design was made by integrating all basic information previously accumulated from SARS-CoV and MERS (Corbett *et al.*, 2020). For delivery purposes, and to avoid degradation, the mRNA is enclosed in a lipid nanodrop that releases the mRNA into the cell. Ribosomes translate the mRNA into protein S that triggers the formation of neutralizing antibodies (Pardi *et al.*, 2018).

### Genome variation

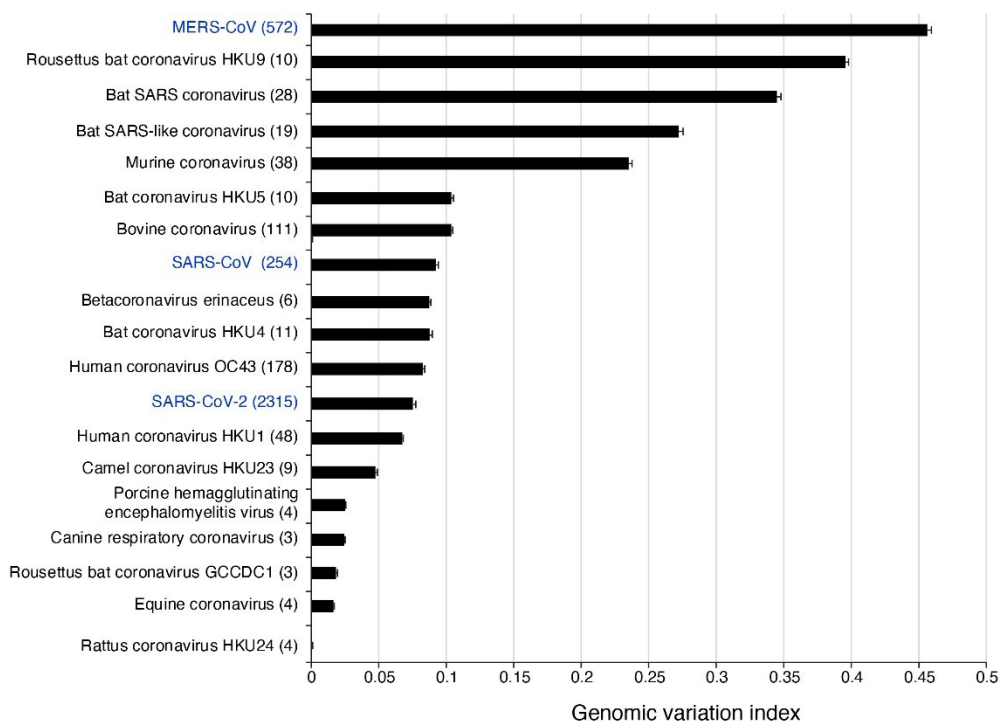
In SARS-CoV-2, mutations have been detected and are being tracked using on-line tools (Hadfield *et al.*, 2018; Fernandes *et al.*, 2020). We recently profiled the genomic variation in all species in the genus *Betacoronavirus* (LaTourrette *et al.*, 2021). Results showed betacoronaviruses are hyper variable (Figure 4). The most diversity was observed in *Rousettus bat coronavirus HKU9*, other species infecting bats, and MERS-CoV. In these species, more than 25% of the nucleotides in the

interacciones entre la proteína S y el receptor celular son fundamentales para la entrada a la célula y altamente específicas (Cai *et al.*, 2020). Por ello, la proteína S es un factor decisivo del rango del hospedante del coronavirus (Gallagher y Buchmeier, 2001; Zhai *et al.*, 2020).

### La vacuna de ARNm

Por su papel fundamental en la entrada a la célula, la proteína S es el objetivo común de anticuerpos neutralizantes y vacunas (Brochot *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020). En personas infectadas con el coronavirus, los anticuerpos neutralizantes son formados en contra de toda la proteína S. Sin embargo, también se desarrollan anticuerpos no neutralizantes en contra de la subunidad S2 (Brochot *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020).

Las vacunas desencadenan la formación de anticuerpos neutralizantes contra la proteína S en la ausencia de una infección. Dos vacunas de ARNm basadas en la proteína S han sido autorizadas. Sus diseños son similares y están basados en la organización genómica y la expresión de los genes de los coronavirus (Figura 3). La codificación del cistron para la proteína S fue clonada usando la secuencia del aislamiento de referencia Wuhan-Hu-1 (NC\_045512.2). Un UTR de 5', un UTR de 3' y una cola de poli A se adicionaron para brindar estabilidad y aumentar la eficiencia de traducción. Para dar cuenta de la variación en la proteína S (Becerra-Flores y Cardozo, 2020), se introdujeron mutaciones prevalentes, y para aumentar la eficiencia de traducción aún más, se introdujeron modificaciones de nucleósidos (Pardi *et al.*, 2018). El diseño básico se hizo mediante la integración de toda la información previamente acumulada acerca de SARS-CoV y MERS (Corbett *et al.*, 2020). Para su entrega, y para evitar su degradación, el ARNm está cubierta por una nanogota lipídica que descarga el ARNm dentro de la célula. Los ribosomas tradu-



**Figure 4. Genomic variation in betacoronaviruses.** A genomic variation index indicates the proportion of single nucleotide polymorphisms normalized to the length of the genome. Modified from LaTourrette *et al.* (2021).

**Figura 4. Variación genómica en los betacoronavirus.** Un índice de variación genómica indica la proporción de polimorfismos de un solo nucleótido normalizados al largo del genoma. Modificado de LaTourrette *et al.* (2021).

genome are polymorphic (Figure 4). The genome of betacoronaviruses consists of 11 to 14 cistrons. The most variable cistron codes for the spike protein S. The lowest variation was detected the cistrons that code for proteins that mediate virus replication: RNA-dependent RNA polymerase, RNA helicase, exonuclease, endo RNase and methyltransferase, and that are located in open reading frame 1b (LaTourrette *et al.*, 2021).

### Protein S variation

Mutations in the genome of SARS-CoV-2 have the potential to affect the precision of diagnostic tests and the efficacy of vaccines. In a recent genome-wide analysis, we showed that hyper variation in

cen el ARNm en una proteína S que desencadena la formación de anticuerpos neutralizantes (Pardi *et al.*, 2018).

### Variación genómica

En el SARS-CoV-2 se han detectado mutaciones que están siendo rastreadas con el uso de herramientas en línea (Hadfield *et al.*, 2018; Fernandes *et al.*, 2020). Recientemente trazamos un perfil de la variación genómica en todas las especies del género *Betacoronavirus* (LaTourrette *et al.*, 2021). Los resultados muestran que los betacoronavirus son hipervariables (Figura 4). La mayor diversidad se observó en *Roussetus bat coronavirus* HKU9, otras especies que infectan a murciélagos,



protein S is a general feature of betacoronaviruses (LaTourrette *et al.*, 2021). Hyper variation in protein S is evident in betacoronavirus highly pathogenic to humans: MERS-CoV (Figure 5A), SARS-CoV (Figure 5B), and SARS-CoV-2 (Figure 5C). The pattern is also clear in species that infect bats (Figure 5B). Specifically, in SARS-CoV-2 several regions in protein S are hyper variable, including the ACE2 receptor binding domain and the fusion peptide proximal region (Figure 5D).

Betacoronaviruses mainly infect bats and humans (Figure 1). Given the large genetic diversity of bats, and possibly humans, the cellular receptors, proteases, and entry cofactors are likely diverse (Kuo *et al.*, 2000; Cantuti-Castelvetri *et al.*, 2020). Accordingly, protein S hyper variation may provide an evolutionary advantage. Mechanisms driving diversifying selection in protein S may include diversity in cellular receptors, cellular proteases that process the S1/S2 cleavage site, entry cellular cofactors, and antibodies.

Several domains in protein S are intrinsically disordered (LaTourrette *et al.*, 2021): the receptor binding domain and the C-terminal domain 2 in S1, and the fusion peptide proximal region in S2 (Figure 5D). This observation is important because intrinsically disordered proteins mediate functional diversity and interactions with genetically diverse partners such as cellular receptors and entry cofactor in bats and humans (Hebrard *et al.*, 2009; Rantalainen *et al.*, 2011; Charon *et al.*, 2018). Selection for hyper variation and disorder in protein S are consistent with the bat origin of SARS-CoV and SARS-CoV-2 followed by adaptation to humans (Cui *et al.*, 2019; Lu *et al.*, 2020).

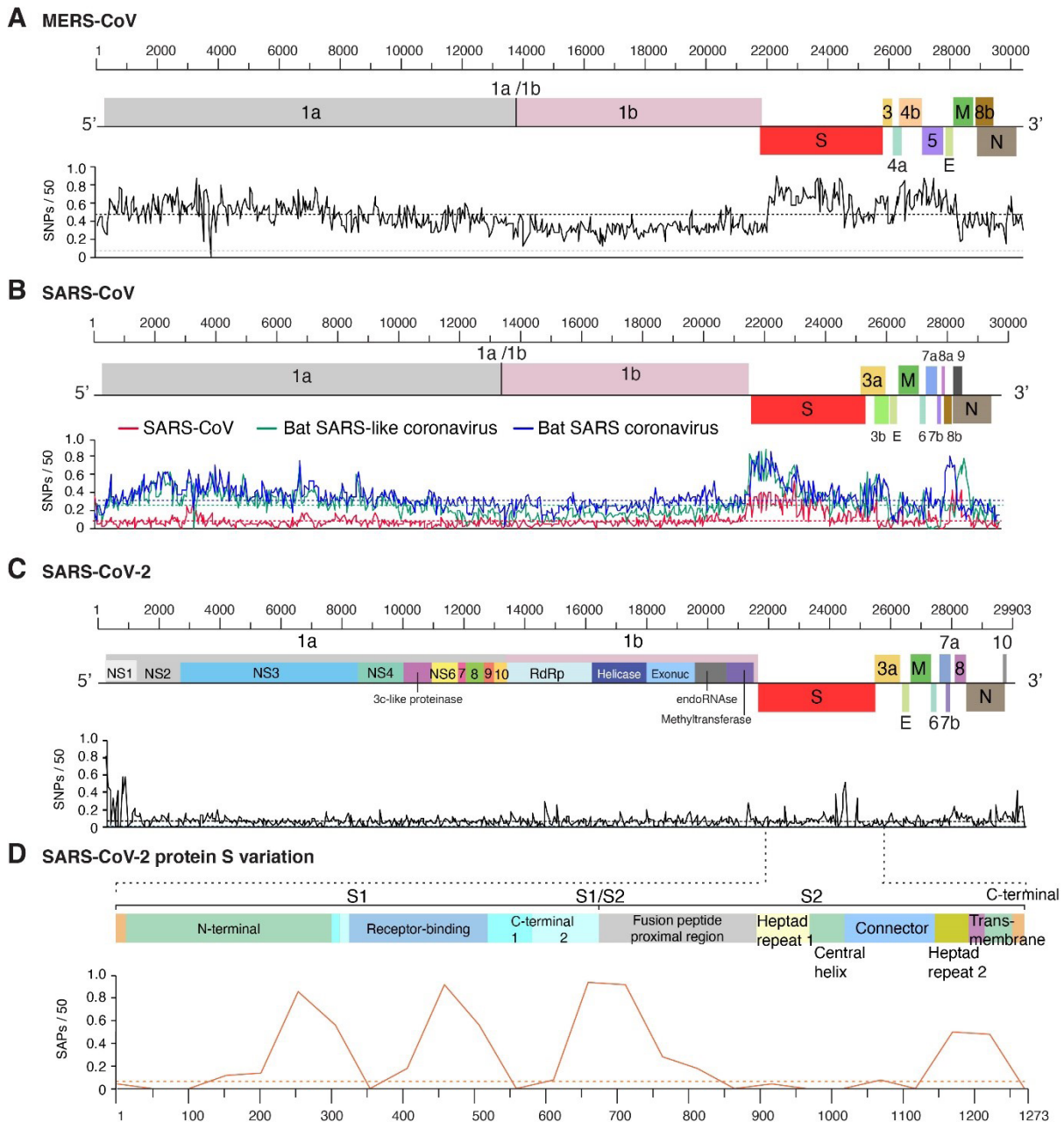
In betacoronaviruses, protein S is hyper variable, disordered, mutationally robust (LaTourrette *et al.*, 2021), and is a determinant of host adaptation and host range (Kuo *et al.*, 2000; Muth *et al.*, 2018; Zhai *et al.*, 2020). The emerging model is that in protein S

y el MERS-CoV. En estas especies, más de 25% de los nucleótidos en el genoma son polimórficos (Figura 4). El genoma de los betacoronavirus consiste en entre 11 y 14 cistrones. El cistrón más variable codifica la proteína espicular S. La menor variación fue detectada en los cistrones que codifican las proteínas que median la replicación del virus: polimerasa de RNA dependiente de ARN, helicasa de ARN, exonucleasa, endo-RNasa y metiltransferasa, y que se encuentran en el marco de lectura abierto 1b (LaTourrette *et al.*, 2021).

### Variación de la proteína S

Las mutaciones en el genoma de SARS-CoV-2 tienen el potencial de afectar la precisión de las pruebas de diagnóstico y la eficacia de las vacunas. Mediante un reciente análisis del genoma entero comprobamos que la hipervariación de la proteína S es una característica general de los betacoronavirus (LaTourrette *et al.*, 2021). La hipervariación en la proteína S es evidente en los betacoronavirus altamente patogénicos para los humanos: MERS-CoV (Figura 5A), SARS-CoV (Figura 5B) y SARS-CoV-2 (Figura 5C). El patrón también es claro en las especies que infectan a los murciélagos (Figura 5B). Específicamente en SARS-CoV-2, varias regiones en la proteína S son hipervariables, incluyendo el dominio de unión al receptor ACE2 y la región proximal del péptido de fusión (Figura 5D).

Los betacoronavirus infectan principalmente a murciélagos y humanos (Figura 1). Dada la gran diversidad genética de los murciélagos, y posiblemente de humanos, los receptores celulares, proteasas y cofactores de entrada posiblemente sean diversos (Kuo *et al.*, 2000; Cantuti-Castelvetri *et al.*, 2020). Por consiguiente, la hipervariación de la proteína S puede brindar una ventaja evolutiva. Los mecanismos que impulsan la selección diversificadora en la proteína S podrían incluir la diversidad en



**Figure 5. Distribution of genomic variation in human betacoronaviruses. Single nucleotide polymorphisms were plotted with respect to the genome. A 99% confidence interval is indicated as a horizontal line. A) MERS-CoV. B) SARS-CoV. Two species infecting bats are included for comparison. C) SARS-CoV-2. D) Single amino acid polymorphism in SARS-CoV-2 protein S. Domains are annotated and color coded. Modified from LaTourrette *et al.* (2021).**

**Figura 5. Distribución de variación genómica en betacoronavirus humanos. Polimorfismos de un solo nucleótido fueron graficados con respecto al genoma. Un intervalo de confianza de 99% está señalado como una línea horizontal. A) MERS-CoV. B) SARS-CoV. Dos especies que infectan a murciélagos están incluidas para comparar. C) SARS-CoV-2. D) Polimorfismo de un solo aminoácido en la proteína S de SARS-CoV-2. Los dominios están anotados y con códigos de color. Modificado de LaTourrette *et al.* (2021).**

hyper variation provides an evolutionary advantage and is an intrinsic property of betacoronaviruses (LaTourrette *et al.*, 2021).

### Antibodies against protein S

In infected cells, neutralizing antibodies are developed against protein S (Brochot *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020). The receptor-binding domain is a critical antigen (Noy-Porat *et al.*, 2020). Additionally, non-neutralizing antibodies against protein S fragments of subunit two are also present (Brochot *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020). Non-neutralizing antibodies may serve to reduce biogenesis and targeting efficiency of neutralizing antibodies (Cai *et al.*, 2020). Thus, the hyper variation of protein S might be a mechanism for betacoronaviruses to escape the immune system.

### Variation in protein S and implications for vaccine use

Vaccines against SARS-CoV-2 induce neutralizing antibodies against protein S (Figure 2) (Cai *et al.*, 2020; Wrapp *et al.*; Yuan *et al.*, 2020). Hyper variation in protein S has potential to reduce efficacy of vaccines by multiple mechanisms. In an infected individual, new virus variants might be generated and have been detected (Jary *et al.*, 2020) with potential to escape neutralizing antibodies. Furthermore, antibodies developed after vaccination are a selection agents with potential to favor virus variants that can escape neutralizing antibodies (Baum *et al.*, 2020).

Under this scenario, if SARS-CoV-2 remains genetically stable, vaccines will be efficient (Dearlove *et al.*, 2020), antibody-based diagnostic test highly reliable, and infected people who develop antibodies will likely acquire immunity to SARS-CoV-2. However, if SARS-CoV-2 differentiates

receptores celulares, proteasas celulares que procesan el sitio de escisión S1/S2, cofactores de entrada celular y anticuerpos.

Varios dominios en la proteína S están intrínsecamente desordenados (LaTourrette *et al.*, 2021): el dominio de unión del receptor y el dominio 2 de la terminal C en S1, así como la región proximal del péptido de fusión en S2 (Figura 5D). Esta observación es importante, ya que las proteínas intrínsecamente desordenadas median en la diversidad funcional y las interacciones con parejas genéticamente diversas, tales como los receptores celulares y el cofactor de entrada en murciélagos y humanos (Hebrard *et al.*, 2009; Rantalainen *et al.*, 2011; Charon *et al.*, 2018). La selección para la hipervariación y el desorden en la proteína S son consistentes con el origen en el murciélago de SARS-CoV y SARS-CoV-2, seguido de su adaptación en los humanos (Cui *et al.*, 2019; Lu *et al.*, 2020).

En los betacoronavirus, la proteína S es hipervariable, desordenada, mutacionalmente robusta (LaTourrette *et al.*, 2021) y es determinante en la adaptación y el rango de los hospedantes (Kuo *et al.*, 2000; Muth *et al.*, 2018; Zhai *et al.*, 2020). Estas son características intrínsecas de todas las especies de betacoronavirus que les da una ventaja evolutiva (LaTourrette *et al.*, 2021).

### Anticuerpos contra la proteína S

En células infectadas se desarrollan anticuerpos neutralizantes contra la proteína S (Brochot *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020). El dominio de unión del receptor es un antígeno crítico (Noy-Porat *et al.*, 2020). Además, se encuentran presentes anticuerpos no neutralizantes contra fragmentos de proteína S de la subunidad dos (Brochot *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020). Anticuerpos que no neutralizan proporcionan varias ventajas al virus. Reducen la síntesis de anticuerpos neutralizantes y mantienen ocupados

into strains, vaccines will be efficient only against closely related strains, ineffective against diverse strains, and people might be repeatedly infected by SARS-CoV-2.

Re-infection in humans has been confirmed (Tillett *et al.*, 2020), and hyper variation in protein S is a general feature of betacoronaviruses (LaTourrette *et al.*, 2021). These observations predict that adjustments to vaccine design and antibody-based diagnostic tests will be needed. Vaccines administered to people may consist of a cocktail of protein S variants (Baum *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020). Alternatively, or in addition, the vaccines may need to be re-designed based on SARS-CoV-2 population dynamics, structure and their geographic distribution (Korber *et al.*, 2020; Taboada *et al.*, 2020; LaTourrette *et al.*, 2021).

It is likely that SARS-CoV-2 will accumulate mutations for efficient replication and differentiate into biological strains as the virus faces selection pressure from genetically different human populations (LaTourrette *et al.*, 2021). Multiple lines of evidence support this model. Despite not reaching pandemic levels, protein S accumulated large numbers of mutations in MERS-CoV and SARS-CoV (Figure 5). SARS-CoV-2 variants infecting the same individual have been detected (Tillett *et al.*, 2020; Jary *et al.*, 2020), and recurrent mutations in open reading frame 1ab, and cistrons coding for NSP6 and protein S have been identified (van Dorp *et al.*, 2020). Additionally, contrasting mutations have also be described. In Mexico, SARS-CoV-2 population were grouped into clades (Taboada *et al.*, 2020), and in Arizona, a 27-amino acid deletion was detected in protein 7 (Holland *et al.*, 2020).

The first genome of the SARS-CoV-2 came from the strain initially described in China, (Wuhan-Hu-1 NC\_045512.2). The cistron coding for protein S contains residues that are compatible, but not

al sistema inmunológico (Cai *et al.*, 2020). Por ello, la hipervariación de la proteína S podría ser un mecanismo para que los betacoronavirus escapen del sistema inmune.

### **Variación en la proteína S e implicaciones para el uso en vacunas**

Las vacunas contra el SARS-CoV-2 inducen anticuerpos neutralizantes contra la proteína S (Figura 2) (Cai *et al.*, 2020; Wrapp *et al.*; Yuan *et al.*, 2020). La hipervariación en la proteína S tiene el potencial de reducir la eficacia de las vacunas mediante varios mecanismos. En un individuo infectado se podrían generar, y se han detectado, varias variantes del virus (Jary *et al.*, 2020) con el potencial de escapar a los anticuerpos neutralizantes. Además, los anticuerpos desarrollados después de recibir la vacuna son agentes de selección con el potencial de favorecer a variantes del virus que pueden escapar a anticuerpos neutralizantes (Baum *et al.*, 2020).

En este escenario, si el SARS-CoV-2 permanece genéticamente estable, las vacunas serán eficientes (Dearlove *et al.*, 2020), las pruebas de diagnósticos basadas en anticuerpos serán muy confiables y la gente infectada que desarrollen anticuerpos probablemente se vuelvan inmunes al SARS-CoV-2. Sin embargo, si el SARS-CoV-2 se separa en cepas, las vacunas serán eficientes sólo contra cepas estrechamente relacionadas e ineficiente contra cepas diversificadas, con lo que la gente se infectará con SARS-CoV-2 de manera recurrente.

La reinfección en los humanos ha sido confirmada (Tillett *et al.*, 2020) y la hipervariación en la proteína S es una característica general de los betacoronavirus (LaTourrette *et al.*, 2021). Estas observaciones predicen que se requerirán ajustes al diseño de la vacuna y pruebas de diagnóstico con base en anticuerpos. Las vacunas administradas a las personas podrían consistir en un cóctel



optimal, for binding human receptor ACE2 (Wan *et al.*, 2020). Thus, there is potential for protein S to accumulate mutations for more efficient entry into human cells. Consistent with this model, a D614G mutation makes the virus more transmissible, more pathogenic to humans (Becerra-Flores and Cardozo, 2020), and has replaced the initial strain (Long *et al.*, 2020; Volz *et al.*, 2020). The D614G mutation and others in the receptor binding domain reduce affinity to monoclonal antibody CR3022 (Long *et al.*, 2020). This is consistent with a role for protein S variation in escaping from neutralizing antibodies.

### Future challenges

Multiple lines of evidence support the model that SARS-CoV-2 is mutating (Forster *et al.*, 2020; Korber *et al.*, 2020; Phan, 2020a), and that as a group betacoronaviruses are hypervariable and variation mainly accumulates in protein S (LaTourrette *et al.*, 2021). This variation has the potential to affect the both the efficacy of vaccines and the reliability of antibody-based diagnostic test. Collectively this information predicts that vaccine design and deployment will be based on fundamental understanding and characterization of proteins S, and other genes, in the SARS-CoV-2 genome in a combination of factors such as human population genetics, age groups, health underlying conditions, geographical and regional boundaries. Characterizing the genetic structure of SARS-CoV-2 at fine scale, and translating this variation into the design and deployment of SARS-CoV-2 vaccines is one of the main challenges. To answer this challenge, it will be essential profile the genetic structure of the virus in different parts of the world, in human populations of different genetic backgrounds, and before and after administration of the SARS-CoV-2 vaccines

de variantes de la proteína S (Baum *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2020). Además, o como alternativa, las vacunas quizá necesiten ser rediseñadas con base en las dinámicas de la población del SARS-CoV-2, su estructura y distribución geográfica (Korber *et al.*, 2020; Taboada *et al.*, 2020; LaTourrette *et al.*, 2021).

Es posible que el SARS-CoV-2 acumule mutaciones para su replicación eficiente y se diferencie en cepas biológicas a medida que el virus enfrenta presión de selección de poblaciones humanas genéticamente diferentes (LaTourrette *et al.*, 2021). Son muchas las líneas de evidencia que apoyan este modelo. A pesar de no haber alcanzado niveles pandémicos, la proteína S acumuló grandes cantidades de mutaciones en MERS-CoV y SARS-CoV (Figura 5). Se han detectado variantes del SARS-CoV-2 que han infectado al mismo individuo (Tillett *et al.*, 2020; Jary *et al.*, 2020) y se han identificado mutaciones recurrentes en el marco abierto de lectura 1ab y cistrones que codifican NSP6 y proteína S (van Dorp *et al.*, 2020). Además, también se han descrito mutaciones contrastantes. En México, la población de SARS-CoV-2 se agrupó en clados (Taboada *et al.*, 2020) y en Arizona se detectó la eliminación de 27 aminoácidos en la proteína 7 (Holland *et al.*, 2020).

El primer genoma del SARS-CoV-2 surgió de la cepa inicialmente descrita en China, (Wuhan-Hu-1 NC\_045512.2). El cistron que codifica la proteína S contiene residuos que son compatibles, aunque no óptimos, para el receptor humano de unión ACE2 (Wan *et al.*, 2020). Por ello, la proteína S tiene el potencial de acumular mutaciones para una entrada más eficiente a las células humanas. Consistente con este modelo, una mutación de D614G hace al virus más transmisible, más patogénico para humanos (Becerra-Flores y Cardozo, 2020) y ha reemplazado a la cepa inicial (Long *et al.*, 2020;

## ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by NIH grant R01GM120108 to HG-R and by the Nebraska Agricultural Experiment Station with funding from the Hatch Act (Accession Number 1007272) through the USDA National Institute of Food and Agriculture.

## LITERATURE CITED

- Amanat F and Krammer F. 2020. SARS-CoV-2 Vaccines: Status Report. *Immunity* 52(4): 583-589. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2020.03.007>
- Baum A, Fulton BO, Wloga E, Copin R, Pascal KE, Russo V, Giordano S, Lanza K, Negron N, Ni M, Wei Y, Atwal GS, Murphy AJ, Stahl N, Yancopoulos GD and Kyratsous CA. 2020. Antibody cocktail to SARS-CoV-2 spike protein prevents rapid mutational escape seen with individual antibodies. *Science* 369(6506): 1014-1018. <https://doi.org/10.1126/science.abd0831>
- Becerra-Flores M and Cardozo T. 2020. SARS-CoV-2 viral spike G614 mutation exhibits higher case fatality rate. *International Journal of Clinical Practice* 74(8): e13525. <https://doi.org/10.1111/ijcp.13525>
- Brian DA and Baric RS. 2005. Coronavirus genome structure and replication. *Current Topics and Microbiology Immunology* 287: 1-30. [https://doi.org/10.1007/3-540-26765-4\\_1](https://doi.org/10.1007/3-540-26765-4_1)
- Brochot E, Demey B, Touzé A, Belouzard S, Dubuisson J, Schmit J-L, Duverlie G, Francois C, Castelain S and Helle F. 2020. Anti-spike, Anti-nucleocapsid and Neutralizing Antibodies in SARS-CoV-2 Inpatients and Asymptomatic carriers. *Frontiers in Microbiology*. 24 p. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.584251>
- Cagliani R, Forni D, Clerici M and Sironi M. 2020. Computational Inference of Selection Underlying the Evolution of the Novel Coronavirus, Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2. *Journal of Virology* 94: e00411-00420. <https://doi.org/10.1128/JVI.00411-20>
- Cai Y, Zhang J, Xiao T, Peng H, Sterling SM, Walsh RM, Rawson S, Rits-Volloc, S and Chen B. 2020. Distinct conformational states of SARS-CoV-2 spike protein. *Science* 369(6511) 1586-1592. <https://doi.org/10.1126/science.abd4251>
- Cantuti-Castelvetri L, Ojha R, Pedro LD, Djannatian M, Franz J, Kuivanen S, van der Meer F, Kallio K, Kaya T, Anastasina M, Smura T, Levanov L, Szivovics L, Tobi A, Kallio-Kokko H, Österlund P, Joensuu M, Meunier FA, Butcher SJ, Winkler MS, Mollenhauer B, Helenius A, Gokce O, Teesalu T, Hepojoki J, Vapalahti O, Stadelmann C, Balistreri G and Simons M. 2020. Neuropilin-1 facilitates SARS-CoV-2 cell entry and infectivity. *Science* 370(6518): 856-860. <https://doi.org/10.1126/science.abd2985>
- Charon J, Barra A, Walter J, Millot P, Hebrard E, Moury B and Michon T. 2018. First Experimental Assessment of Protein

Volz *et al.*, 2020). La mutación de D614G y otros en el dominio de unión del receptor reducen la afinidad al anticuerpo monoclonal CR3022 (Long *et al.*, 2020). Esto es consistente con un rol de la variación de la proteína S para escapar de anticuerpos neutralizantes.

## Retos a futuro

El SARS-CoV-2 está acumulando mutaciones y cambiando (Forster *et al.*, 2020; Korber *et al.*, 2020; Phan, 2020a) y que, como grupo, los betacoronavirus son hipervariables y la variación se acumula principalmente en la proteína S (LaTourrette *et al.*, 2021). Esta variación tiene el potencial de afectar tanto la eficacia de las vacunas como la confiabilidad de la prueba de diagnóstico basada en anticuerpos. De forma colectiva, esta información predice que el diseño y el uso de las vacunas se basará en la comprensión fundamental y la caracterización de las proteínas S y otros genes en el genoma del SARS-CoV-2 en una combinación de factores tales como la genética de las poblaciones humanas, grupos de edades, condiciones de salud subyacentes y fronteras geográficas y regionales. Caracterizar la estructura genética de SARS-CoV-2 a una escala fina y traducir esta variación al diseño y la implementación de las vacunas contra SARS-CoV-2 es uno de los desafíos principales. Para responder a este desafío será esencial realizar un perfil de la estructura genética de este virus en diferentes partes del mundo, en poblaciones humanas de diversos orígenes genéticos y antes y después de administrar las vacunas contra el SARS-CoV-2.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación contó con el apoyo de la beca NIH R01GM120108 a HG-R y por la Estación Experimental Agrícola de Nebraska con la financiación del Acta de Hatch (Número de Acceso 1007272) a través del Instituto Nacional de Alimentos y Agricultura del USDA.

- Intrinsic Disorder Involvement in an RNA Virus Natural Adaptive Process. *Molecular Biology and Evolution* 35(1): 38-49. <https://doi.org/10.1093/molbev/msx249>.
- Corbett KS, Edwards DK, Leist SR, Abiona OM, Boyoglu-Barnum S, Gillespie RA, Himansu S, Schäfer A, Ziwawo CT, DiPiazza AT, Dinnon KH, Elbashir SM, Shaw CA, Woods A, Fritch EJ, Martinez DR, Bock KW, Minai M, Nagata BM, Hutchinson GB, Wu K, Henry C, Bahl K, Garcia-Dominguez D, Ma L, Renzi I, Kong W-P, Schmidt SD, Wang L, Zhang Y, Phung E, Chang LA, Loomis RJ, Altaras NE, Narayanan E, Metkar M, Presnyak V, Liu C, Louder MK, Shi W, Leung K, Yang ES, West A, Gully KL, Stevens LJ, Wang N, Wrapp D, Doria-Rose NA, Stewart-Jones G, Bennett H, Alvarado GS, Nason MC, Ruckwardt TJ, McLellan JS, Denison MR, Chappell JD, Moore IN, Morabito KM, Mascola JR, Baric RS, Carfi A and Graham BS. 2020. SARS-CoV-2 mRNA vaccine design enabled by prototype pathogen preparedness. *Nature* 586: 567-571. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2622-0>
- Coutard B, Valle C, de Lamballerie X, Canard B, Seidah NG and Decroly E. 2020. The spike glycoprotein of the new coronavirus 2019-nCoV contains a furin-like cleavage site absent in CoV of the same clade. *Antiviral Research* 176: 104742. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2020.104742>
- Cui J, Li F and Shi ZL. 2019. Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nature Reviews Microbiology* 17: 181-192. <https://www.nature.com/articles/s41579-018-0118-9>
- Dearlove B, Lewitus E, Bai H, Li Y, Reeves DB, Joyce MG, Scott PT, Amare MF, Vasan S, Michael NL, Modjarrad K and Rolland M. 2020. A SARS-CoV-2 vaccine candidate would likely match all currently circulating variants. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(38): 23652-23662. <https://doi.org/10.1073/pnas.2008281117>
- Fernandes JD, Hinrichs AS, Clawson H, Gonzalez JN, Lee BT, Nassar LR, Raney BJ, Rosenbloom KR, Nerli S, Rao AA, Schmelter D, Fyfe A, Maulding N, Zweig AS, Lowe TM, Ares M, Corbet-Detig R, Kent WJ, Haussler D and Haussler M. 2020. The UCSC SARS-CoV-2 Genome Browser. *Nature Genetics* 52: 991-998. <https://www.nature.com/articles/s41588-020-0700-8>
- Forster P, Forster L, Renfrew C and Forster M. 2020. Phylogenetic network analysis of SARS-CoV-2 genomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(17): 9241-9243. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004999117>
- Gallagher TM and Buchmeier MJ. 2001. Coronavirus spike proteins in viral entry and pathogenesis. *Virology* 279(2): 371-374. <https://doi.org/10.1006/viro.2000.0757>
- Hadfield J, Megill C, Bell SM, Huddleston J, Potter B, Callender C, Sagulenko P, Bedford T and Neher RA. 2018. Nextstrain: real-time tracking of pathogen evolution. *Bioinformatics* 34(23): 4121-4123. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty407>
- Hebrard E, Bessin Y, Michon T, Longhi S, Uversky VN, Delalande F, Van Dorsselaer A, Romero P, Walter J, Declerck N and Fargette D. 2009. Intrinsic disorder in Viral Proteins Genome-Linked: experimental and predictive analyses. *Virology Journal* 6: 23. <https://virologyj.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-422X-6-23>
- Holland LA, Kaelin EA, Maqsood R, Estifanos B, Wu LI, Varsani A, Halden RU, Hogue BG, Scotch M, and Lim ES. 2020. An 81-Nucleotide Deletion in SARS-CoV-2 ORF7a Identified from Sentinel Surveillance in Arizona (January to March 2020). *Journal Virology* 94(14): JVI.00711-00720. <https://doi.org/10.1128/JVI.00711-20>
- Jary A, Leducq V, Malet I, Marot S, Klement-Frutos E, Teysou E, Soulié C, Abdi B, Wirden M, Pourcher V, Caumes E, Calvez V, Burrel S, Marcelin A-G and Boutolleau D. 2020. Evolution of viral quasispecies during SARS-CoV-2 infection. *Clinical Microbiology and Infection* 26(11):1560.e1-1560.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2020.07.032>
- Korber B, Fischer WM, Gnanakaran S, Yoon H, Theiler J, Abfalterer W, Hengartner N, Giorgi EE, Bhattacharya T, Foley B, Hastie KM, Parker MD, Partridge DG, Evans CM, Freeman TM, de Silva TI, Angyal A, Brown RL, Carrilero L, Green LR, Groves DC, Johnson KJ, Keeley AJ, Lindsey BB, Parsons PJ, Raza M, Rowland-Jones S, Smith N, Tucker RM, Wang D, Wyles MD, McDanal C, Perez LG, Tang H, Moon-Walker A, Whelan SP, LaBranche CC, Saphire EO and Montefiori DC. 2020. Tracking Changes in SARS-CoV-2 Spike: Evidence that D614G Increases Infectivity of the COVID-19 Virus. *Cell* 182(4): 812-827. e819. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.06.043>
- Kuo L, Godeke GJ, Raamsman MJ, Masters PS and Rottier PJ. 2000. Retargeting of coronavirus by substitution of the spike glycoprotein ectodomain: crossing the host cell species barrier. *Journal Virology* 74(3): 1393-1406. <https://doi.org/10.1128/jvi.74.3.1393-1406.2000>
- Lan J, Ge J, Yu J, Shan S, Zhou H, Fan S, Zhang Q, Shi X, Wang Q, Zhang L and Wang X. 2020. Structure of the SARS-CoV-2 spike receptor-binding domain bound to the ACE2 receptor. *Nature* 581: 215-220. <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2180-5>
- LaTourrette K, Holste NM, Rodriguez-Peña R, Arruda-Leme R and García-Ruiz H. 2021. Genome-wide variation in betacoronaviruses. *Journal Virology* Submitted.
- Lauring AS and Andino R. 2010. Quasispecies theory and the behavior of RNA viruses. *PLoS Pathog* 6: e1001005. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1001005>
- Li CK-f, Wu H, Yan H, Ma S, Wang L, Zhang M, Tang X, Temperton NJ, Weiss RA, Brenchley JM, Douek DC, Mongkolsapaya J, Tran B-H, Lin C-IS, Screaton GR, Hou J-I, McMichael AJ and Xu X-N. 2008. T cell responses to whole SARS coronavirus in humans. *The Journal of Immunology* 181(8): 5490-5500. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.181.8.5490>
- Li F. 2013. Receptor recognition and cross-species infections of SARS coronavirus. *Antiviral Research* 100(1): 246-254. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2013.08.014>
- Li F. 2016. Structure, Function, and Evolution of Coronavirus Spike Proteins. *Annual Review of Virology* 3: 237-261. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-110615-042301>
- Long SW, Olsen RJ, Christensen PA, Bernard DW, Davis JJ, Shukla M, Nguyen M, Saavedra MO, Yerramilli P, Pruitt L, Subedi S, Kuo H-C, Hendrickson H, Eskandari G, Nguyen HAT, Long JH, Kumaraswami M, Goike J, Boutz D, Gollihar J, McLellan JS, Chou C-W, Javanmardi K,

- Finkelstein IJ and Musser J. 2020. Molecular Architecture of Early Dissemination and Massive Second Wave of the SARS-CoV-2 Virus in a Major Metropolitan Area. *mBio* 2020.2009.2022.20199125. <https://doi.org/10.1128/mBio.02707-20>
- Lu R, Zhao X, Li J, Niu P, Yang B, Wu H, Wang W, Song H, Huang B, Zhu N, Bi Y, Ma X, Zhan F, Wang L, Hu T, Zhou H, Hu Z, Zhou W, Zhao L, Chen J, Meng Y, Wang J, Lin Y, Yuan J, Xie Z, Ma J, Liu WJ, Wang D, Xu W, Holmes EC, Gao GF, Wu G, Chen W, Shi W and Tan W. 2020. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. *The Lancet* 395(10224): 565-574. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30251-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30251-8)
- Millet JK, and Whittaker GR. 2015. Host cell proteases: Critical determinants of coronavirus tropism and pathogenesis. *Virus Research* 202: 120-134. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2014.11.021>
- Muth D, Corman VM, Roth H, Binger T, Dijkman R, Gottula LT, Gloza-Rausch F, Balboni A, Battilani M, Rihtaric D, Toplak I, Ameneiros RS, Pfeifer A, Thiel V, Drexler JF, Muller MA and Drosten C. 2018. Attenuation of replication by a 29 nucleotide deletion in SARS-coronavirus acquired during the early stages of human-to-human transmission. *Scientific Report* 8: 15177. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33487-8>
- Nigam D and Garcia-Ruiz H. 2020. Variation Profile of the Orthospovirus Genome. *Pathogens* 9(7): 521. <https://doi.org/10.3390/pathogens9070521>
- Noy-Porat T, Makdasi E, Alcalay R, Mechaly A, Levy Y, Bercovich-Kinori A, Zauberman A, Tamir H, Yahalom-Ronen Y, Israeli Ma, Epstein E, Achdout H, Melamed S, Chitlaru T, Weiss S, Peretz E, Rosen O, Paran N, Yitzhaki S, Shapira SC, Israely T, Mazor O and Rosenfeld R. 2020. A panel of human neutralizing mAbs targeting SARS-CoV-2 spike at multiple epitopes. *Nature Communications* 11: 4303. <https://www.nature.com/articles/s41467-020-18159-4>
- Obenauer JC, Denson J, Mehta PK, Su X, Mukatira S, Finkelstein DB, Xu X, Wang J, Ma J, Fan Y, Rakestraw KM, Webster RG, Hoffmann E, Krauss S, Zheng J, Zhang Z and Naeve CW. 2006. Large-Scale Sequence Analysis of Avian Influenza Isolates. *Science* 311(5767): 1576-1580. <https://doi.org/10.1126/science.1121586>
- Pardi N, Hogan MJ, Porter FW and Weissman D. 2018. mRNA vaccines — a new era in vaccinology. *Nature Reviews Drug Discovery* 17: 261-279. <https://www.nature.com/articles/nrd.2017.243>
- Phan T. 2020a. Genetic diversity and evolution of SARS-CoV-2. *Infection, Genetics and Evolution* 81: 104260. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104260>
- Phan T. 2020b. Novel coronavirus: From discovery to clinical diagnostics. *Infection, Genetics and Evolution* 79: 104211. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104211>
- Rantalainen KI, Eskelin K, Tompa P, and Mäkinen K. 2011. Structural flexibility allows the functional diversity of potyvirus genome-linked protein VPg. *Journal of virology* 85: 2449-2457. <https://jvi.asm.org/content/85/5/2449>
- Sanjuán R and Domingo-Calap P. 2016. Mechanisms of viral mutation. *Cellular and Molecular Life Sciences* 73(23): 4433-4448. <https://doi.org/10.1007/s00018-016-2299-6>
- Taboada B, Vazquez-Perez JA, Muñoz-Medina JE, Ramos-Cervantes P, Escalera-Zamudio M, Boukadida C, Sanchez-Flores A, Isa P, Mendieta-Condado E, Martínez-Orozco JA, Becerril-Vargas E, Salas-Hernández J, Grande R, González-Torres C, Gaytán-Cervantes FJ, Vazquez G, Pulido F, Araiza-Rodríguez A, Garcés-Ayala F, González-Bonilla CR, Grajales-Muñiz C, Borja-Aburto VH, Barrera-Badillo G, López S, Hernández-Rivas L, Perez-Padilla R, López-Martínez I, Ávila-Ríos S, Ruiz-Palacios G, Ramírez-González JE and Arias CF. 2020. Genomic Analysis of Early SARS-CoV-2 Variants Introduced in Mexico. *Journal of Virology* 94(1): e01056-01020. <https://doi.org/10.1128/JVI.01056-20>
- Tillett RL, Sevinsky JR, Hartley PD, Kerwin H, Crawford N, Gorzalski A, Laverdure C, Verma SC, Rossetto CC, Jackson D, Farrell MJ, Van Hooser S and Pandori M. 2020. Genomic evidence for reinfection with SARS-CoV-2: a case study. *The Lancet Infectious Diseases* 21(1): 52-58. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30764-7](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30764-7)
- van Dorp L, Acman M, Richard D, Shaw LP, Ford CE, Ormond L, Owen CJ, Pang J, Tan CCS, Boshier FAT, Ortiz AT and Balloux F. 2020. Emergence of genomic diversity and recurrent mutations in SARS-CoV-2. *Infection, Genetics and Evolution* 83: 104351. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104351>
- Volz EM, Hill V, McCrone JT, Price A, Jorgensen D, Toole A, Southgate JA, Johnson R, Jackson B, Nascimento FF, Rey SM, Nicholls SM, Colquhoun RM, da Silva Filipe A, Shepherd JG, Pascall DJ, Shah R, Jesudason N, Li K, Jarrett R, Pacchiarini N, Bull M, Geidelberg L, Siveroni I, Goodfellow IG, Loman NJ, Pybus O, Robertson DL, Thomson EC, Rambaut A and Connor TR. 2020. Evaluating the effects of SARS-CoV-2 Spike mutation D614G on transmissibility and pathogenicity 184(1): 64-75. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.11.020>
- Walls AC, Park Y-J, Tortorici MA, Wall A, McGuire AT and Veerler D. 2020. Structure, Function, and Antigenicity of the SARS-CoV-2 Spike Glycoprotein. *Cell* 181(2): 281-292.e6. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.02.058>
- Wan Y, Shang J, Graham R, Baric RS and Li F. 2020. Receptor Recognition by the Novel Coronavirus from Wuhan: an Analysis Based on Decade-Long Structural Studies of SARS Coronavirus. *Journal of Virology* 94(7): e00127-00120. <https://doi.org/10.1128/JVI.00127-20>
- Wrapp D, Wang N, Corbett KS, Goldsmith JA, Hsieh CL, Abiona O, Graham BS and McLellan JS. 2020a. Cryo-EM structure of the 2019-nCoV spike in the prefusion conformation. *Science* 367(6483): 1260-1263. <https://doi.org/10.1126/science.abb2507>
- Wrapp D, De Vlioger D, Corbett KS, Torres GM, Wang N, Van Breedam W, Roose K, van Schie L, Team V-CC-R, Hoffmann M, Pohlmann S, Graham BS, Callewaert N, Schepens B, Saelens X and McLellan JS. 2020b. Structural Basis for Potent Neutralization of Betacoronaviruses by Single-Domain Camelid Antibodies. *Cell* 181(5): 1004-1015.e15. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.04.031>
- Xia S, Liu M, Wang C, Xu W, Lan Q, Feng S, Qi F, Bao L, Du L, Liu S, Qin C, Sun F, Shi Z, Zhu Y, Jiang S and Lu L. 2020. Inhibition of SARS-CoV-2 (previously 2019-nCoV) infection by a highly potent pan-coronavirus fusion inhibitor targeting its spike protein that harbors a high



- capacity to mediate membrane fusion. *Cell Research* 30: 343-355. <https://www.nature.com/articles/s41422-020-0305-x>
- Yan R, Zhang Y, Li Y, Xia L, Guo Y and Zhou Q. 2020. Structural basis for the recognition of SARS-CoV-2 by full-length human ACE2. *Science* 367(6485): 1444-1448. <https://doi.org/10.1126/science.abb2762>
- Yuan M, Wu NC, Zhu X, Lee C-CD, So RTY, Lv H, Mok CKP, and Wilson IA. 2020. A highly conserved cryptic epitope in the receptor binding domains of SARS-CoV-2 and SARS-CoV. *Science* 368(6491): 630-633. <https://doi.org/10.1126/science.abb7269>
- Zhai X, Sun J, Yan Z, Zhang J, Zhao J, Zhao Z, Gao Q, He W-T, Veit M and Su S. 2020. Comparison of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Spike Protein Binding to ACE2 Receptors from Human, Pets, Farm Animals, and Putative Intermediate Hosts. *Journal of Virology* 94: e00831-00820. <https://doi.org/10.1128/JVI.00831-20>
- Zhou H, Chen X, Hu T, Li J, Song H, Liu Y, Wang P, Liu D, Yang J, Holmes EC, Hughes AC, Bi Y and Shi W. 2020. A Novel Bat Coronavirus Closely Related to SARS-CoV-2 Contains Natural Insertions at the S1/S2 Cleavage Site of the Spike Protein. *Current Biology* 30(11): 2196-2203 e2193. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.05.023>
- Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, Zhao X, Huang B, Shi W, Lu R, Niu P, Zhan F, Ma X, Wang D, Xu W, Wu G, Gao GF, Tan W, China Novel Coronavirus I and Research T. 2020. A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *The New England Journal of Medicine* 382: 727-733. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017>
- Zhu Z, Chakraborti S, He Y, Roberts A, Sheahan T, Xiao X, Hensley LE, Prabaharan P, Rockx B, Sidorov IA, Corti D, Vogel L, Feng Y, Kim JO, Wang LF, Baric R, Lanzavecchia A, Curtis KM, Nabel GJ, Subbarao K, Jiang S and Dimitrov DS. 2007. Potent cross-reactive neutralization of SARS coronavirus isolates by human monoclonal antibodies. *Proceeding of the National Academy of Sciences of United States of America* 104(29): 12123-12128. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701000104>

# A retrospective analysis of plant and human epidemics for COVID-19 comprehension

## Un análisis retrospectivo de epidemias en plantas y humanos para comprender COVID-19

Gustavo Mora-Aguilera\*, Gerardo Acevedo-Sánchez, Laboratory of Phytosanitary Epidemiological Risk Analysis (LANREF), Postgraduate College, Montecillo Campus, Texcoco. km 36.5 Road Mexico-Texcoco. Montecillo, Mexico State, C.P. 56230. \*Corresponding Author: morag@colpos.mx

Received: February 02, 2021

Accepted: November 30, 2021

Mora-Aguilera G and Acevedo-Sánchez G. 2021. A retrospective analysis of plant and human epidemics for COVID-19 comprehension. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 88-180.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-27>

**Abstract.** Global retrospective human/plant epidemiology analysis exhibits a reactive cognitive development influenced by casuistic phenomena. Epidemic outbreaks of XXI century evidenced regression of the population-based approach to risk prevention and erosion of *Public Health* model, successful between 1950-1970. After 19 pandemics and 200 historical outbreaks, neither WHO nor public or private institutions, have not consolidated sustainable *preventive* models. Urban expansion and agricultural colonialism during the Industrial Revolution accelerated pandemic processes such as Black Death (*Yersinia pestis*), Cholera (*Vibrio cholerae*), Potato Blight (*Phytophthora infestans*) or Coffee Rust (*Hemileia vastatrix*). These factors contributed to the conception and application of the

**Resumen.** El análisis retrospectivo mundial de la epidemiología humana/vegetal exhibe desarrollo cognitivo reactivo influenciado por fenómenos casuísticos. Brotes epidémicos del siglo XXI demuestran involución del enfoque poblacional de *prevención* de riesgos y erosión del modelo de *Salud Pública*, exitoso entre 1950-1970. Después de 19 pandemias y 200 brotes históricos, ni la OMS e instituciones públicas o privadas han consolidado modelos *preventivos* sustentables. La expansión urbana y el colonialismo agrícola durante la Revolución Industrial aceleró procesos pandémicos como la Peste Negra (*Yersinia pestis*), Cólera (*Vibrio cholerae*), Tizón de la Papa (*Phytophthora infestans*) o Roya del Café (*Hemileia vastatrix*). Éstas coadyuvaron en la concepción y aplicación de los principios *contagio* y *prevención* por Snow/1854 o de Bary/1857, en el higienismo de Proust/1873, y la sanitización de Marshall/1882, antes del principio *etiológico* desarrollado por Pasteur/1862 y Koch/1882. Las revoluciones científicas contemporáneas fortalecieron la visión reduccionista hospitalaria, o parcelaria, con énfasis en la *curación*

*contagion* and *prevention* principles by Snow/1854 or de Bary/1857, in the hygienism of Proust/1873, and the sanitation of Marshall/1882, before the *etiological* principle developed by Pasteur/1862 and Koch/1882. The contemporary scientific revolutions strengthened the reductionist hospital vision, with emphasis on *cure* as a principle, and on *health* privatization as a business strategy. The central epidemiology paradigm's *population* is limited to the *individual-patient* or *plant-damage*. The COVID-19 cases *curve* ('*epidemic wave*') is not inherent to *preventive* epidemiology, '*flattening*' lacks infectious basis, '*healthy distance*' or '*confinement*' are not sustainable mitigation strategies. The immunological emphasis did not generate the expected individual protection and '*herd immunity*'. Instead, it exacerbated the pharmaceutical-mercantiled vaccine 'race' to new variants; geopolitical protectionism; and unequal distribution of immunologicals. The SARS-CoV-2/COVID-19 pandemic evidenced the rational epidemiological framework deterioration; the absence of *Surveillance Systems* that articulate clinical detection and viral variants with community risks follow-up, enhanced with genomic and digital technology; the systematic failure of *Public Health Systems*; and the absence of a *pansystemic model* to integrate *regional preventive models*. Maximum case-fatality reduction from 15.2% in 2020 to 2.5 world average 2021, suggests an endemic transitional process. Worldwide reproduction rates  $R_t > 1$  are consistent with more transmissible variants, such as Delta and Omicron, as sublethal survival ability of the virus. The pandemic has not been successfully intervened and its *momentum* is determined by biological attributes inherent to SARS-CoV-2.

**Key words:** Pandemic, Disease, Prevention, Cure, SARS-COV-2, Health, Vaccine.

como principio, y la privatización de la *salud* como estrategia de mercado. La *población*, paradigma central de la epidemiología, está limitada al *individuo-paciente* o *planta-daño*. La *curva* de casos COVID-19 ('*ola epidémica*') no es inherente a la epidemiología *preventiva*, su '*aplanamiento*' carece de fundamento infeccioso, la '*sana distancia*' o '*confinamiento*' no son estrategias de mitigación sostenibles. El énfasis inmunológico, no generó la protección individual e '*inmunidad de rebaño*' esperadas. En cambio, exacerbó la '*carrera*' farmacéutica-mercantilizada de vacunas ante nuevas variantes; el proteccionismo geopolítico; y la inequitativa distribución de inmunológicos. La pandemia SARS-CoV-2/COVID-19 evidenció el deterioro de un marco epidemiológico racional; ausencia de *Sistemas de Vigilancia* que articulen la detección clínica y de variantes virales con trazabilidad de riesgos comunitarios, potenciados con tecnología genómica y digital; la depauperación del *Sistema Público de Salud*; y la ausencia de un *modelo pansistémico* integrador de *modelos regionales preventivos*. Reducción de letalidad máxima de 15.2% en 2020, a 2.5 promedio mundial en 2021 sugiere un proceso transicional endémico. Tasas de reproducción mundial  $R_t > 1$  son congruentes con variantes más transmisibles, como Delta y Ómicron, como aptitud de sobrevivencia subletal del virus. La pandemia no se ha logrado intervenir exitosamente y su *momentum* está determinado por atributos biológicos inherentes al SARS-CoV-2.

**Palabras clave:** Pandemia, Enfermedad, Prevención, Cura, SARS-COV-2, Salud, Vacuna.

## INTRODUCCIÓN

México detectó el primer caso de SARS-CoV-2, agente causal de la enfermedad denominada

## INTRODUCTION

Mexico detected the first SARS-CoV-2 case, causal agent of disease known as COVID-19, in Mexico City on February 28, 2020 (SSA, 2020; Méndez-Domínguez *et al.*, 2020). Two months and eleven days after the outbreak in Wuhan, World Health Organization (WHO, 2021a) declared pandemic status, i.e., an epidemic with synchronous temporal and spatial occurrence respect to functional *contagion* relationships. Immediately, restrictions on economic and social activities were imposed in several Europe and Asia countries, due to 126559 COVID-19 cases with 4566 deaths in 113 countries (Dong *et al.*, 2020). Five months after the outbreak, *Public Health System* in cities from Italy, Spain and other countries were on the brink of collapse. Limitations of infrastructure, specialized human resources, availability of commercial diagnostic kits, and validated clinical testing for SARS-CoV-2 were evident (WHO, 2021a). This was the result of adopting gradually a *curative* approach in detriment of the *preventive* principle (Velázquez, 2021; CEPAL y OPS, 2021; Frenk, 2003). In Mexico, *preventive* measures were implemented based on WHO recommendations for ambulatory populations. The ‘*Healthy Distance Program*’, ‘*Sentinel Model*’ for detection and estimation of suspected cases (Hernández-Ávila *et al.*, 2020), and WHO’s *Polymerase Chain Reaction* (PCR) diagnostic protocol were immediately adopted for using in clinics and official laboratories. However, the feasibility of mass testing was questioned due to cost and infrastructure, the efficacy of which was evidenced during first quarter of 2020 in South Korea, Hong Kong and China for early SARS-CoV-2 detection and suppression of *contagion* chains (June-Ho *et al.*, 2021). In November 2021, almost two years after the pandemic process, Mexico and rest of the world have gone through

COVID-19, en la Ciudad de México el 28 de febrero, 2020 (SSA, 2020; Méndez-Domínguez *et al.*, 2020). Dos meses y once días después del brote epidémico en Wuhan, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021a) declaró la condición pandémica de COVID-19, es decir, una epidemia de ocurrencia espacial-global temporalmente sincrónica respecto a relaciones funcionales de *contagio*. Restricciones a las actividades económicas y sociales se establecieron de inmediato en varios países europeos y asiáticos, debido a un total de 126559 casos de COVID-19 con 4566 muertes en 113 países (Dong *et al.*, 2020). Cinco meses después del brote, el *Sistema Público de Salud* en algunas ciudades de Italia, España y otros países estuvo por colapsar. Fue evidente la limitación en infraestructura, recursos humanos especializados, disponibilidad de ‘kits’ comerciales de diagnóstico y pruebas clínicas validadas para enfrentar la enfermedad (OMS, 2021a). Esto fue consecuencia de la gradual adopción mundial del enfoque *curativo* en detrimento del principio *preventivo* de enfermedades (Velázquez, 2021; CEPAL y OPS, 2021; Frenk, 2003). En México, se establecieron medidas *preventivas* con base en recomendaciones de la OMS para la población ambulatoria como el ‘*Programa de Sana Distancia*’, el ‘*Modelo Centinela*’ para detección y estimación de casos sospechosos (Hernández-Ávila *et al.*, 2020), y se adoptó el protocolo de diagnóstico de *Reacción de Cadena de la Polimerasa* (PCR por siglas en inglés) de la OMS para uso rutinario en laboratorios oficiales y aprobados. Sin embargo, por costo e infraestructura, se cuestionó la viabilidad de pruebas masivas, cuya eficacia se demostró durante el primer trimestre de 2020 en Corea del Sur, Hong Kong y China, para diagnóstico temprano de SARS-CoV-2 y supresión de cadenas de *contagio* (June-Ho *et al.*, 2021). En Noviembre 2021, a casi dos años del proceso pandémico, México y el resto de países han transitado



several stages of epidemic management and mitigation according to their governmental health structure, financial and operational capacity for to articulate WHO recommendations. The contrasting and inconsistent results require a *cause-effect* analysis from a comprehensive and systemic historical perspective.

In this context, the objective of this work was to analyze the SARS-CoV-2 pandemic process from a retrospective historical approach of epidemics in humans and plants, to compare the application of concepts, principles and mitigation strategies under the premise of that epidemiology is a transversal science unified by the *population* and the *epidemiological system* as a rational framework of a Health System. For this purpose, epidemics with extensive population and regional impact, but contrasting with respect to scientific, technological and social realities were selected.

## 1. COVID-19: PANDEMIC MANAGEMENT

**Pandemic COVID-19. Impact and curative approach.** Twenty one months after the pandemic outbreak (November 2021), more than 239 million and 5 million cumulative COVID-19 cases and deaths, respectively, have been reported in four ‘*epidemic waves*’ or cyclical events worldwide (Dong *et al.*, 2020; WHO, 2021b). At least the last two waves occurred despite a mass immunization, but with an incipient doses number and poorly geographic distribution. However, the medical and clinical emphasis still prevails in the search for solutions to a complex problem that requires including economic, psychological, sociological, demographic, agro-productive, environmental, and technological-digitalization approaches (e.g., big data, web communication, etc.). The three epidemics of this century (Influenza A H1N1, SARS-2002, MERS and SARS-CoV-2) illustrate

por varias etapas de gestión y mitigación epidémica en función a su estructura gubernamental de salud, capacidad financiera y operativa para articular recomendaciones de la OMS. Los resultados, contrastantes e inconsistentes, requieren un análisis *causa-efecto* desde la perspectiva histórica integral y sistémica.

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue analizar el proceso pandémico de SARS-CoV-2 desde un enfoque histórico retrospectivo de epidemias en humanos y plantas, con el fin comparar la aplicación de conceptos, principios y estrategias de mitigación bajo la premisa de que la epidemiología es una ciencia transversal unificada por la *población* y el *sistema epidemiológico* como marco racional de un Sistema de Salud. Para este fin, se seleccionaron epidemias con un impacto poblacional y regional extensivo pero contrastantes respecto a realidades científicas, tecnológicas y sociales.

## 1. COVID-19: LA GESTIÓN PANDÉMICA

**Pandemia COVID-19. Impacto y enfoque curativo.** A 21 meses del brote pandémico (Noviembre 2021), mundialmente se han acumulado más de 239 millones de casos de COVID-19 y 5 millones de muertes en cuatro ‘*olas epidémicas*’ o eventos cíclicos (Dong *et al.*, 2020; OMS, 2021b). Al menos los dos últimos eventos ocurrieron a pesar de la vacunación masiva, insipiente y en número de dosis mal distribuidas geográficamente. No obstante, todavía prevalece el énfasis médico y clínico en la búsqueda de soluciones ante un problema complejo, que requiere la inclusión de enfoques transdisciplinarios. Para ilustrar este enfoque reduccionista centrado en la solución clínica, impulsado por grandes farmacéuticas y centros de investigación, baste recordar que las tres epidemias de este siglo (Influenza A H1N1, SARS-2002, MERS y SARS-CoV-2) son de origen zoonótico, implicando que

this reductionist approach focused on clinical solution, promoted by pharmaceutical companies and associated research centers. These zoonotic diseases suggest that anthropocentric activities were decisive for infectious agent transmission from animals to humans. Efficient *prevention* approaches, not just *curative*, would focus on epidemiological surveillance of primary ‘*causality*’ in animal microbiome for risk models.

#### **Early epidemiological approaches and research.**

At international scale, SARS-CoV-2 detection was used for clinical and epidemic monitoring, without specific needs and strategies for medical treatment, in line with community *preventive* goals (Dong *et al.*, 2020; WHO, 2021a). On the other hand, scientific research was slowed or paralyzed due to voluntary or mandatory confinement. This impeded the infrastructure use and the application of interdisciplinary approaches to face the pandemic complexity from a holistic, systemic and multidimensional vision. Additionally, the strong scientific specialization has been detrimental to the interdisciplinary team formation. The appreciation that COVID-19 health crisis is responsibility of government and biomedical research systems has persisted, and still persists, among sociology, psychology, agriculture, demography, etc., researchers areas. Unfortunately, that vision also prevails in the health field.

#### **Pharmaceuticals, immunization and antivirals.**

Almost two years after the onset epidemic, demands for a return to comprehensive *preventive* models through strengthening the *Public Health Systems* has disappeared. Rather, prevail a public agenda with predominance of pharmaceutical business vision. Thus, the focus is on mass vaccination and ‘*herd immunity*’, but SARS-CoV-2 reinfection in people with full doses suggests

las actividades antropocéntricas fueron determinantes para transmisión de agentes infecciosos de animales a humanos. Enfoques *preventivos* efectivos, no solo *curativos*, enfatizarían el monitoreo epidemiológico de ‘*causalidad*’ primaria en el microbioma animal para modelos de riesgo.

#### **Primeros enfoques epidemiológicos e investigación.**

Internacionalmente, la detección del SARS-CoV-2 se utilizó para monitoreo clínico y epidémico, sin diferenciar necesidades y estrategias específicas de un tratamiento médico con respecto a objetivos *preventivos* comunitarios (Dong *et al.*, 2020; OMS, 2021a). Por otra parte, la investigación científica se ralentizó o paralizó debido al confinamiento voluntario u obligatorio. Esto impidió usar infraestructura instalada y aplicar enfoques interdisciplinarios para enfrentar la complejidad de la pandemia desde una visión holística, sistémica y multidimensional. Adicionalmente, la fuerte especialización científica ha sido detrimental para la conformación de equipos interdisciplinarios. Persistió, y persiste aún, entre investigadores de áreas sociológicas, psicológicas, agrícolas, demográficas, etc., la apreciación que la crisis de salud por COVID-19 es responsabilidad gubernamental y del sistema de investigación biomédico. Desafortunadamente, esta visión también impera dentro del propio sector salud.

#### **Farmacéuticas, inmunización y antivirales.**

Desde el inicio epidémico, la demanda original de regresar a modelos *preventivos* integrales mediante fortalecimiento de los *Sistemas Públicos de Salud*, prácticamente ha desaparecido. Por el contrario, se ha implantado una agenda de visión predominantemente mercantil de la industria farmacéutica. De este modo, el enfoque se centra en la vacunación masiva y la ‘*inmunidad de rebaño*’, pero la reinfección por SARS-COV-2 en personas con dosis

an immunity potential loss after 16 months, less than other coronaviruses such as SARS-CoV 2003, MERS or HCoV (Townsend *et al.*, 2021). Furthermore, full immunity does not exist yet; cyclical epidemic processes have continued with a sequence of high-prevalence variants (Delta and Omicron are the current); and the occurrence of variable clinical conditions, including severe symptoms and deaths in immunized individuals. Therefore, it is now recognized that the potential for infection, re-infection or co-infection may be exhibit in immunized individuals, and that a vaccine eliminates the mortality risk over 90% in case of infection. Pharmaceuticals research was undoubtedly fast in the development of vaccines, but with mechanistic biological gaps derived of limited pathological virus understanding (Li *et al.*, 2021). Despite these scientific gaps, another medical front is now being tested that will definitely eliminate the possibility of returning to sustainable health models, and maintain highest profitable *curative* approach to the *prevention* detriment.

At close of this paper, Merck and Pfizer had advanced clinical tests, not yet public, on antiviral pills (Molnupiravir and Paxlovid) against SARS-CoV-2 (Ap, 2021a; Afp *et al.*, 2021a). On another front, the current pharmaceutical public agenda includes vaccination of children when their risk factors do not justify, and there are still high-risk populations without vaccines in countries lacking economic sufficiency and infrastructure for vaccines acquisition, which may represent sources of re-infection and new variants worldwide. As of October 28, WHO reported that only 0.4% tests and 0.5% vaccines administered worldwide were performed in low-income countries (Afp *et al.*, 2021b). We are approaching to a public health cooptation for profitability, exploiting vulnerability and fear to COVID-19 as a dissuasive speech.

completas sugiere una potencial pérdida de inmunidad después de 16 meses, menor a otros coronavirus como SARS-CoV, MERS o HCoV (Townsend *et al.*, 2021). Más aun, no existe la inmunidad absoluta. Han continuado procesos epidémicos cíclicos con una sucesión de variantes de alta prevalencia (Delta es la actual) y la ocurrencia de cuadros clínicos variables, incluso severos y muerte, en personas inmunizadas. Se tuvo que reconocer la posibilidad de infección, reinfección o coinfección en personas inmunizadas e introducir el argumento que una vacuna elimina el riesgo de mortalidad en más del 90%. La investigación de farmacéuticas fue indudablemente rápida en la generación de inmunizantes pero a costa de vacíos biológicos mecanísticos derivados de limitada comprensión patológica viral (Li *et al.*, 2021). A pesar de ello, ahora se incursiona en otro frente médico que definitivamente eliminará la posibilidad de retornar modelos de salud sustentables y mantendrá la línea *curativa* altamente rentable en detrimento de la *prevención*.

Al cierre de este escrito, Merck y Pfizer tenían pruebas clínicas avanzadas, aún no públicas, que sugieren el beneficio de píldoras antivirales (Molnupiravir y Paxlovid) contra SARS-CoV-2 (Ap, 2021; Afp *et al.*, 2021a). En otro frente, la agenda actual inducida por farmacéuticas incluye la vacunación de niños cuando sus factores de riesgo no lo justifican y aún existen poblaciones de adultos con alto riesgo sin vacunas en países con insuficiencia económica e infraestructura para la adquisición de inmunizantes, que pueden representar fuentes de reinfección y nuevas variantes para el resto del mundo. Al 28 de octubre, la OMS reportaba que solo el 0.4% de pruebas y 0.5% de vacunas aplicadas en el mundo fueron efectuados en países de pocos ingresos (Afp *et al.*, 2021b). Nos aproximamos peligrosamente a una cooptación de la salud pública, con fines mercantiles, explotando la

## 2. PREVENTION AND PUBLIC HEALTH

**The WHO and COVID-19.** In a historical perspective, it is necessary to state forcefully that neither WHO nor the human health institutions have been able to develop and implement effective public health models with emphasis on risk *prevention* (Figure 1). Successful *preventive* programs, concretized or initiated in the XX century (Cáceres, 2012), have been surreptitiously ignored despite the smallpox (1971), polio (1997) and measles (2016) eradication, the latter derived of a global program initiated in 1980 and which has prevented, according to the WHO, 17.1 million deaths in the world between 2000 and 2014 (OPS). Moreover, the emergence of anti-vaccine groups in Europe and US confirms the health organizations negligence to reverse a trend that undermines the *prevention* principle and favors economically profitable *curative* models (Velázquez, 2021; CEPAL and OPS, 2021; Frenk, 2003). Thus, past failures like H1N1 flu (2009) or Ebola (2014) evidenced fragile *preventive* models. Consequently, the management of COVID-19 pandemic has been questioned and controversial despite the significant financial amounts operated by WHO. In 2020-2021, this organization invested US\$ 8482 million to address three fundamental health components: **1)** Universal health coverage; **2)** Health emergencies; and **3)** Improved health and well-being (WHO, 2021a). By October 2021, 239 million infections since patient zero, on November 17, 2019 in Wuhan, China (Dong *et al.*, 2020), suggests the global systematic negligence of *prevention*, and limited academical, research, and operational structures (Velázquez, 2021; CEPAL y OPS, 2021; Frenk, 2003). In this context, the WHO's 'new plan' against the pandemic in less developed countries requires US\$ 23.4 billion annually for operation, but lacks effective contingency plans, rigorous risk

vulnerabilidad y miedo a COVID-19 como recurso disuasorio.

## 2. PREVENCIÓN Y SALUD PÚBLICA

**La OMS y COVID-19.** Desde un contexto histórico, es necesario plantear contundentemente que ni la OMS ni instituciones de salud humana, han podido desarrollar e implementar modelos efectivos de salud pública con énfasis en la *prevención* de riesgos (Figura 1). Los programas *preventivos* exitosos, concretados o iniciados en el siglo XX (Cáceres, 2012), han sido subrepticamente soslayados a pesar de la erradicación de viruela (1971), poliomielitis (1997) y sarampión (2016), esta última derivada de un programa global iniciado en 1980 y que previno, según la OMS, 17.1 millones de muertes mundiales entre 2000 y 2014 (OPS). No obstante, la emergencia de grupos antivacunas en Europa y EUA constata la negligencia de organismos responsables de la salud por revertir una tendencia que atenta al principio de *prevención* y favorece el modelo *curativo* económicamente rentable (Velázquez, 2021; CEPAL y OPS, 2021; Frenk, 2003). Así, los fracasos del pasado reciente con la gripe H1N1 (2009) o el Ébola (2014) prueban la ausencia de modelos *preventivos*. Consecuentemente, el manejo de la pandemia COVID-19 ha sido cuestionado y controvertido a pesar de grandes montos financieros operados por la OMS. Tan solo en 2020-2021 este organismo invirtió US\$ 8482 millones para atender tres componentes fundamentales en materia de salud: **1)** Cobertura universal de salud; **2)** Emergencias sanitarias; y **3)** Mejora de la salud y bienestar (OMS, 2021a). No obstante, 239 millones de infecciones desde el paciente cero, el 17 de noviembre de 2019 en Wuhan, China (Dong *et al.*, 2020), evidencian el abandono sistemático mundial de la *prevención* y de estructuras académicas, investigación y operativas (Velázquez, 2021;



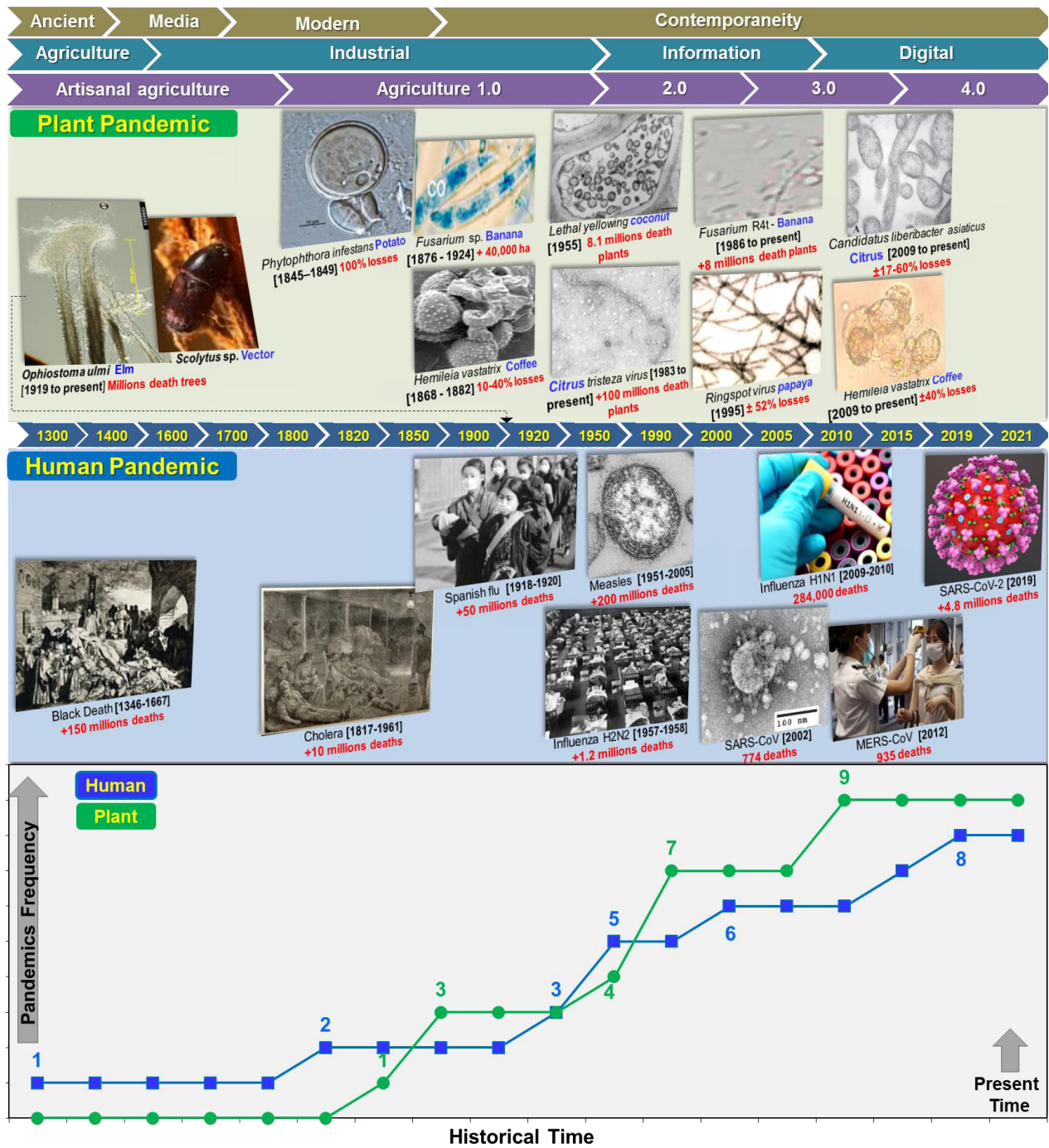


Figure 1. Timeline of the most important epidemic/pandemic processes occurred in human and plant populations during 1300-2021. The accumulated curves of plant/human pandemics in the same period are shown. Source: Own elaboration with data from cited literature.

Figura 1. Línea de tiempo de procesos epidémicos/pandémicos más importantes ocurridas en poblaciones de humanos y plantas durante 1300-2021. Se muestran las curvas acumuladas de pandemias vegetales/humanas en el mismo periodo. Fuente: Elaboración propia con datos de literatura citada.

scenarios and massive data analysis for decision-making (Afp, 2021c).

**Public health: Infrastructure and human resources.** COVID-19 revealed the absence and weakness in infrastructure, technology and advanced research in public institutions to generate vaccines, even in developed countries. This compromised public health security in less than 10 major pharmaceutical companies. Between 2020 and 2021, these companies earned profits in excess of US\$ 270 billion, with Moderna, mRNA-1273 vaccine creator, being the most benefitted with 50% (Carbajal, 2021). The epidemic evidenced, in addition to the lack of health workers and specialists in intensive care (e.g., pulmonologists, internists or emergency physicians), the scarcity of epidemiologists focused on research and mitigation of community risks, outside the hospital environmental, to develop *preventive contagion* models, complementary to diagnosis, confinement and monitoring of cases applied worldwide. Paradoxically, Mexico and many countries were at the forefront in educational and research models. As an example, the School of Public Health of Mexico (SPHM) founded more than 100 years ago, was created under the philosophy of principle *prevention* as a logical and rational alternative (ESPM, 2021).

A 1920 definition of **public health** clearly establishes the *prevention* principle adoption: *'Public health is the science and art of preventing disease, prolonging life, and promoting health and physical efficiency through organized community efforts to clean the environment, control community infections, and educate the individual about the principles of personal hygiene; organize medical and nursing services for the early diagnosis and preventive treatment of diseases, as well as develop the social machinery that assures each individual*

CEPAL y OPS, 2021; Frenk, 2003). En este contexto, el 'nuevo plan' de la OMS contra la pandemia en países menos desarrollados, requiere US\$ 23 mil 400 millones anuales para su operación (Afp, 2021c), pero carece de planes de contingencia efectivos, escenarios de riesgo rigurosos y análisis de datos masivos para toma de decisiones.

**Salud pública: Infraestructura y recursos humanos.** COVID-19 evidenció la ausencia y debilidad en infraestructura, tecnología e investigación avanzada en instituciones públicas para generar vacunas, incluidos países desarrollados. Esto comprometió la seguridad de salud pública en menos de 10 grandes farmacéuticas. Éstas, entre 2020 y 2021 lograron ganancias superiores a US\$ 270 billones, siendo Moderna, creadora de la vacuna ARNm-1273, la más beneficiada con el 50% (Carbajal, 2021). La epidemia demostró, además de carencia en personal de salud y especialistas en terapia intensiva (p.e., neumólogos, internistas o urgenciólogos), la escasez de epidemiólogos enfocados a la investigación y mitigación de riesgos comunitarios, fuera del ámbito hospitalario, para desarrollar modelos *preventivos* al *contagio*, complementarios al diagnóstico, confinamiento y monitoreo aplicados a nivel mundial. Paradójicamente, México y muchos países estuvieron a la vanguardia en modelos educativos y de investigación. Como ejemplo, la Escuela de Salud Pública de México (ESPM) fundada hace más de 100 años, se creó bajo la filosofía del principio de *prevención* como alternativa lógica y racional (ESPM, 2021). Una definición de **salud pública** de 1920 establece claramente la adopción del principio de *prevención*: *'la salud pública es la ciencia y el arte de prevenir las enfermedades, prolongar la vida y fomentar la salud y la eficiencia física mediante esfuerzos organizados de la comunidad para sanear el medio ambiente, controlar las infecciones de la comunidad y educar al individuo*

*in the community an adequate standard of living for the maintenance of health*' (Winslow, 1920). Although the evolution of public health concept is recognized, Julio Frenk emphasizes: *'at the level of population analysis of public health, health conditions are addressed through epidemiological research'* (INSP, 2020). Consequently, a pandemic not studied by epidemiologists promotes *'cure'* as only response for the disease, just as it currently occurs with COVID-19 pharmacological treatments.

**Vaccines and global risk management.** The mistakes in global risk management were also evidenced by COVID-19. The impartiality, or at least the apparent bureaucratism, of WHO and the European Medicines Agency, which have delayed the approval of Sinovac (CoronaVac), Cansino (Ad5-nCoV) and Sputnik V (Gam-COVID-Vac), vaccines created with participation of prestigious Chinese and Russian public institutions, is questionable. Disagreement that those countries involved have expressed as *'unfair competition'* and *'protectionism'* of the G-20 countries (Afp, 2021d). This delay is incomprehensible given that Sputnik V was the first vaccine produced worldwide and has been applied in over 70 countries, including Mexico. The China's vaccines have been used in full doses for more than 1 billion people (75.7% of the population) and at least 20 countries (datosmacro, 2021a). A health crisis, by definition, implies rapid decision-making and comprehensive innovation in all processes associated with the solution. This geopolitical strategy is compounded by the pharmaceuticals company reluctance, supported by their countries, to release vaccine patents, evidencing economic interests over human health. This is an obvious consequence of dominant market economy. Consequently, humanity is trapped in its own structures and rules. So, it is not surprising the discouragement of the UN Secretary declaring:

*en cuanto a los principios de la higiene personal; organizar servicios médicos y de enfermería para el diagnóstico precoz y el tratamiento preventivo de las enfermedades, así como desarrollar la maquinaria social que le asegure a cada individuo de la comunidad un nivel de vida adecuado para el mantenimiento de la salud'* (Winslow, 1920). Si bien, se reconoce la evolución del concepto de salud pública, Julio Frenk puntualiza que *'en el nivel de análisis poblacional de la salud pública, las condiciones de salud se abordan a través de la investigación epidemiológica'* (INSP, 2020). En consecuencia, una pandemia sin epidemiólogos que la investiguen es privilegiar la *'cura'* como única respuesta a la enfermedad, justo como está ocurriendo actualmente con los tratamientos farmacológicos de COVID-19.

**Vacunas y gestión global de riesgos.** COVID-19 también evidenció desaciertos en la gestión global de riesgos. Es cuestionable la imparcialidad, o por lo menos el aparente burocratismo, de la OMS y la Agencia Europea de Medicamentos que han retrasado la aprobación de las vacunas Sinovac (CoronaVac), Cansino (Ad5-nCoV) y Sputnik V (Gam-COVID-Vac) creadas con participación de prestigiosas instituciones públicas Chinas y Rusas; inconformidad que los implicados han expresado en términos de *'competencia desleal'* y *'proteccionismo'* de los países del G-20 (Afp, 2021d). La dilación resulta incomprensible si se considera que Sputnik V fue la primera vacuna generada a nivel mundial y se ha aplicado en más de 70 países, incluido México. Las vacunas Chinas se han empleado en dosis completas para más de 1000 millones de personas (75.7% poblacional) y al menos 20 países (datosmacro, 2021a). Una crisis sanitaria, por definición, implica celeridad en la toma de decisiones y la innovación integral de todos los procesos asociados a la solución. A esta estrategia geopolítica se adiciona la reticencia de farmacéuticas, apoyadas



*'not to have equitable distribution of vaccines is not only a question of being immoral – it is also a question of being stupid'* in response to 'hoarding and nationalistic vaccination policies' of the most developed countries such as USA, UK, France, and Germany (Navarrete, 2021; ONU, 2021).

**Mexico and Cuba: Vaccine production.** BIRMEX, a Mexican governmental institution, leader in the 50's and 60's in vaccine production (Mexico eradicated smallpox 20 years before the rest of the world in 1952), evidenced its unfeasibility to generate own immunologicals (BIRMEX, 2021). On the contrary, it is commendable that Cuba, the only Latin American country with developed vaccines, Abdala and Soberana 02, has applied 14 million 672 thousand 62 doses up to September 4 (52% of the population), and has been the first country in the world to initiate a National Children's Campaign against COVID-19 once adult population was immunized (Noda y Chávez, 2021). This achievement is only understandable with a solid *Health System*, initiated in 1962, with an emphasis on *prevention*. This self-sufficiency example and public health security is an exceptional achievement considering the restrictions in infrastructure and laboratory material due to economic blockade imposed by the US since 60's. This is inhumane and immoral considering current COVID-19 pandemic situation. It is paradoxical, but understandable from a health business perspective, that humanity suffers epidemics in XXI century in the midst of the amazing scientific revolutions flourishing. Also, it is ignominious that human epidemics occur without improvement of solid, sustainable and resilient public health models.

### 3. HUMAN EPIDEMICS AND PANDEMICS

**Pandemics and historical epidemic outbreaks.** Throughout human history, infectious agents have

por sus países, para liberar patentes de vacunas evidenciando intereses económicos por encima la salud humana. Una consecuencia lógica de la economía de mercado dominante. Como resultado, la humanidad atrapada en sus propias estructuras y reglas. Entonces, no sorprende el desaliento del Secretario de la ONU quien declara: *'no asegurar una distribución equitativa de las vacunas no sólo es cuestión de ser inmoral, es también cuestión de ser estúpido'* en respuesta al 'acaparamiento y las políticas nacionalistas de vacunación' de países desarrollados como EUA, GB, Francia y Alemania (Navarrete, 2021; ONU, 2021).

**México y Cuba: Producción de vacunas.** BIRMEX, institución gubernamental mexicana, líder en los 50's y 60's en producción de vacunas (México erradicó la viruela 20 años antes que el resto del mundo en 1952), evidenció la inviabilidad para generar sus propios inmunológicos a partir del brote epidémico de Influenza A (H1N1) (BIRMEX, 2021). Por el contrario, es meritorio que Cuba, único país latinoamericano con vacunas desarrolladas, Abdala y Soberana 02, haya aplicado 14 millones 672 mil 62 dosis hasta el 4 de septiembre (52% poblacional), y fue el primer país en el mundo que inició una Campaña Nacional Infantil contra COVID-19 una vez asegurada su población adulta (Noda y Chávez, 2021). Este logro solo es comprensible con un robusto *Sistema de Salud*, iniciado en 1962, con énfasis en *prevención*. Este ejemplo de autosuficiencia y seguridad de salud pública constituye un logro excepcional considerando las restricciones en infraestructura y materiales de laboratorio debido al bloqueo económico impuesto por EUA desde los 60's. Inhumano e inmoral ante la situación pandémica de COVID-19. Es paradójico, pero comprensible desde la óptica de la salud como negocio, que la humanidad padezca epidemias en el siglo XXI con florecimiento de sorprendentes revoluciones científicas. También es ignominioso



coexisted and evolved with humans. Diseases have been documented since at least 1200 B.C. However, epidemic expression has resulted from the populations settlement in conditions that favor faster and effective *contagion* such as trade, migration, unhealthy conditions, poor nutrition, etc. Thus, a total of 19 pandemics (Piret and Boivin, 2019) and 200 local or regional epidemic outbreaks have occurred since the late Medieval Ages, highlighting the **Black Death** (1346-1353), **Cholera** (1846-1860), **Spanish Influenza** (1918-1920), **H2N2 Influenza** (1957-1958), **SARS-CoV** (2002), **H1N1 Influenza** (2009-2010), **MERS-CoV** (2012) and **SARS-CoV-2** (2019-present) (Figure 1). However, these epidemic processes have been exempted of a rigorous comprehensive analysis from scientific, philosophical, social, economic and technological perspectives (Figure 2). On the contrary, there is a generalized disinterest for generate and systematize knowledge applying to public policies, educational models and the *Public Health Systems* strengthening. Historical successes and failures provide opportunities for analyzing and improving public health policies.

The emergence of pandemics is linked to the human rise over nature. The breakpoint was Industrial Revolution (1760-1840), a historical reference that represented the intensification of production through machines incorporated into manufacturing lines, this with the consequent radical changes in socio-cultural patterns, education, urban population growth, job insecurity, unhealthy conditions and expansion of technology and capital to poor countries. An inevitable framework for Karl Marx, in *Das Kapital* (1867), unraveled the *merchandise* or *commodity* paradigm of modern economy. Eventually, the international geopolitical interest realignment and the World War I were originated. It was the context for the **Spanish Flu** (1918-1919), first world pandemic

que las epidemias humanas sucedan sin beneficiar modelos de salud pública más robustos, sustentables y resilientes.

### 3. EPIDEMIAS Y PANDEMIAS EN HUMANOS

**Pandemias y brotes epidémicos históricos.** A través de la historia de la humanidad, los agentes infecciosos han coexistido y evolucionado con los humanos. Las enfermedades se han podido documentar al menos desde 1200 a. C. Sin embargo, la expresión epidémica ha sido el resultado del asentamiento de poblaciones en condiciones que favorecen el *contagio* rápido y efectivo como el comercio, migración, condiciones insalubres, deficiente nutrición, etc. Así, un total de 19 pandemias (Piret y Boivin, 2019) y 200 brotes epidémicos locales o regionales han ocurrido desde la última fase del medioevo, destacando la **Peste Negra** (1346-1353), **Cólera** (1846-1860), **Gripe Española** (1918-1920), **Gripe H2N2** (1957-1958), **SARS-CoV** (2002), **Gripe H1N1** (2009-2010), **MERS-CoV** (2012) y **SARS-CoV-2** (2019-presente) (Figura 1). Sin embargo, estos procesos epidémicos han estado exentos de un riguroso análisis integral desde la perspectiva científica, filosófica, social, económica y tecnológica (Figura 2). Por el contrario, persiste un desinterés generalizado por generar y sistematizar el conocimiento y aplicarlo en política pública, modelos educativos y en el fortalecimiento de *Sistemas Públicos de Salud*. Los éxitos y fracasos históricos son áreas de oportunidad para analizar y mejorar la política pública de salud.

La emergencia de pandemias está vinculada con el encumbramiento del ser humano sobre la naturaleza. El punto de quiebre fue la Revolución Industrial (1760 - 1840), una referencia histórica que representó intensificación de la producción mediante máquinas incorporadas a líneas de manufactura con el consecuente cambio radical en



occurred, caused by sick US soldiers displaced to Europe.

**The Spanish Flu (1918-1919) and human mobility.** The Spanish flu was caused by the Influenza A (H1N1) virus, a variant identified in 2005 by genomics technologies (Figure 1). In only 18 months, a surprising synchronic *contagion* occurred in different regions of the world due to mobility of diseased individuals. Mortality was estimated at 50%. The secrecy of the disease for strategic reasons of countries participating in the First World War, contributed to the lack of risk communication. The Industrial Revolution represented the rise of modernity; accelerated-sustained growth of population since XVII century (Roser *et al.*, 2013); and increase in anthropogenic mobility due to invented means of transportation (steamships, railroads, automobile, etc.) (Figure 2). Inevitably, these development dynamized the economy and enhanced socio-cultural interconnections between distant regions, e.g., tourism emerged, which would become an important factor in many economies and cause intense and human flows. This is the globalization beginnings and contemporary pandemic consequences. The SARS-CoV-2 dispersion during the epidemic onset proved the globalization weight on the *contagion* and the fast spread of an infectious agent, sufficing just over two months for a pandemic condition (WHO, 2021a). The fragility of global economy due to the disaggregation of supply chains was evidenced. A chip not produced in Asia stopped car production in America. The virus paralyzed the supply chains and the global economy.

**Black Death (1346-1667), miasmatic theory and causality.** Although the **Black Death or Bubonic Plague** historically had highest mortality rate (estimated 60%), the epidemic occurrence for

patrones socio-culturales, educativos, crecimiento poblacional urbano, precarización del trabajo, condiciones insalubres y la expansión tecnológica y de capital a países pobres. Marco ineludible para que Karl Marx, en *El Capital* (1867), desentrañara el paradigma de la *mercancía* en la economía moderna. Eventualmente, también originó el reacomodo de intereses geopolíticos internacionales y la Primera Guerra Mundial. En ese contexto ocurrió la **Gripe Española** (1918-1919), primera pandemia mundial, a partir de militares enfermos de EUA desplazados a Europa.

**La Gripe Española (1918-1919) y movilidad humana.** La enfermedad es causada por el virus de la Influenza A (H1N1), variante identificada en 2005 con tecnología genómica (Figura 1). En un lapso de 18 meses, fue sorprendente la sincronía temporal del *contagio* en diferentes regiones geográficas del mundo a partir de movilidad de individuos enfermos. Su mortalidad se estimó en 50%. A la nula o baja comunicación del riesgo contribuyó la secrecía de la enfermedad por razones estratégicas de guerra. La Revolución Industrial representó el auge de la modernidad, el crecimiento acelerado-sostenido de la población desde el siglo XVII (Roser *et al.*, 2013) y el incremento de la movilidad antropogénica por la invención de medios de transporte (locomotora y barcos de vapor, ferrocarril, automóvil, etc.) (Figura 2). Inevitablemente, estos desarrollos promovieron interconexiones económicas y socio-culturales dinámicas entre regiones distantes, p.e., surgió el turismo, que se convertiría en un factor importante de muchas economías y causante de flujos humanos intensos. Es decir, los inicios de la globalización y con ello las pandemias contemporáneas. La movilidad de SARS-CoV-2 durante la fase inicial de la epidemia, y de sus variantes virales en posteriores etapas, demostró el peso de la globalización en la velocidad de *contagio* y dispersión del

many years was restricted mainly to Europe in overcrowded and unhealthy cities in coexistence with rats and fleas, the host-reservoirs from which the bacterium *Yersinia pestis* is transmitted to humans. Secondary individual-to-individual infection was effective due to direct bacterial skin exudates. This is a case of an infectious agent mobilized from Asia by trade (Figure 1). Although strictly the **Black Death** was not a pandemic, caused between 75-200 million deaths in the late Middle Ages (Figure 1). It occurred in a convulsive period characterized by wars (e.g., 100 Years' War, Crusades, invasions, etc.). The *theory of spontaneous* or *miasmatic generation* prevailed (Caponi, 2002) and the Aristotelian vision permeated science, basically philosophical. Technological developments were essentially warlike, iconically illustrated with Leonardo Da Vinci (1452-1519) as inventor. The absence of solid scientific-technological bases delayed the possibilities of an efficient **Black Death** management. It was not until 1894, crucial stage in which miasmatic ideas were destroyed and microbiological etiology emerged, that Alexander Yersin, using the etiological approach of *cause-effect* association, discovered the causal agent *Yersinia pestis* and the zoonotic animal-human relationship. A. Yersin was a student of Robert Koch, discoverer of *Mycobacterium tuberculosis* which causes tuberculosis and to who are attributed the famous causation postulates widely used in phytopathology and medicine with some restrictions.

**Black Death, vaccination, hygienism, and endemicity.** The microbiological advances enabled the development of first vaccine against *Y. pestis* in 1897, i.e., 551 years after the first epidemic outbreak. However, the hygienist approaches of Adrien Proust was, among others, what helped to interrupt the primary chains of *contagion* involved

agente infeccioso, bastando poco más de dos meses para una condición pandémica (OMS, 2021a). También evidenció, sin precedente, la fragilidad de la economía global por la desagregación mundial de la producción y distribución de suministros. Un chip no producido en Asia cesó la producción de autos en América. Un virus que paralizó los canales de suministro e inmovilizó la economía mundial.

**Peste Negra (1346-1667), teoría miasmática y causalidad.** Aunque la **Peste Negra o bubónica** ha tenido históricamente la mayor tasa de mortalidad (60% estimada), su ocurrencia epidémica por muchos años se restringió principalmente a Europa en ciudades hacinadas e insalubres en convivencia con ratas y pulgas reservorios de la bacteria *Yersinia pestis* que la transmiten al humano. La infección secundaria individuo-individuo fue efectiva por exudados bacterianos directos de piel. Un agente infeccioso movilizado desde Asia por el comercio (Figura 1). Aunque estrictamente no tuvo un carácter pandémico, la **Peste Negra** causó entre 75-200 millones de muertes a finales de la Edad Media (Figura 1). Ocurrió en un período convulso caracterizado por guerras (p.e., Guerra de los 100 Años, Cruzadas, invasiones, etc.). La *teoría de la generación espontánea* o *miasmática* prevalecía (Caponi, 2002) y la visión aristotélica permeaba la ciencia, básicamente filosófica. Los desarrollos tecnológicos eran esencialmente bélicos, icónicamente ilustrados con un Leonardo da Vinci inventor (1452-1519). La ausencia de sólidas bases científico-tecnológicas retrasó las posibilidades de un manejo eficiente de la **Peste Negra**. Fue hasta 1894, en esa etapa crucial en que se destruyeron las ideas miasmáticas y surge la etiología microbiológica, cuando Alexander Yersin, empleando el enfoque etiológico de asociación *causa-efecto* descubrió al agente causal *Yersinia pestis* y la relación zoonótica animal-humano. A. Yersin fue alumno de



with the Black Death, Cholera and Yellow Fever, clearly exposed in his book (1873): *l'hygiène internationale: ses applications contre la peste, la fièvre jaune et le choléra asiatique*. Proust succeeded in promoting hygienist public health policies, social distancing measures, quarantines, sanitary cordons in ports and confinement for infectious risks management (Figure 2). These strategies are applied for COVID-19 in a contrasting socio-economic context and that has been devastating for poor and emerging economies. Likewise, it has been desperate alternatives for a dismantled global Health System (Velázquez, 2021; CEPAL and OPS, 2021; Frenk, 2003), unable to prevent and mitigate risks despite today's sophisticated scientific talent and great technological advances.

Consequently, despite the accumulated experiences, **Black Death, Cholera, Yellow Fever**, etc. are still present, in low-prevalence and spatially localized. For example, during 2010-2015, WHO reported 3248 associated cases to **Black Death** with 17.98% mortality. In 2017, outbreaks were reported in Madagascar, where it is considered endemic, Peru and Congo (WHO, 2017). The same institution estimates 3-5 million annual Cholera cases (Harris *et al.*, 2012). This shows that an infectious agent evolves with the human being in a delicate biological-environmental balance and eventually transits from an epidemic condition of disequilibrium, to an endemic condition of low-prevalence with recurrent outbreaks. Therefore, epidemiological surveillance should be a fundamental strategy of a *preventive Health System* but with new paradigms linked to scientific-technological innovations (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a).

**Cholera (1817-1961), Koch, pandemics and antibiotics.** Cholera, another disease caused by a bacterium, *Vibrio cholerae*, also associated with

Robert Koch, descubridor de *Mycobacterium tuberculosis* causante de la tuberculosis y a quien se le atribuyen los famosos postulados de causalidad de amplio uso en la fitopatología.

**Peste Negra, vacuna, higienismo y endemici-**  
**dad.** Los avances microbiológicos permitieron el desarrollo de la primera vacuna contra *Y. pestis* en 1897, i.e., 551 años después del primer brote epidémico. Sin embargo, fueron enfoques higienistas de Adrien Proust, entre otros, los que coadyuvaron a interrumpir las cadenas de *contagio* primaria implicadas con la **Peste Negra, Cólera y Fiebre Amarilla**, claramente expuestos en su libro (1873): *l'hygiène internationale: ses applications contre la peste, la fièvre jaune et le choléra asiatique*. Proust logró promover políticas *higienistas* en salud pública, medidas de distanciamiento social, cuarentenas, cordones sanitarios en puertos y el confinamiento para manejo de riesgos infecciosos (Figura 2). Estrategias que son aplicadas para COVID-19 en un contexto socio-económico muy contrastante y que han resultado devastadoras para economías pobres y emergentes. Así mismo, han sido alternativas desesperadas para un desmantelado *Sistema de Salud* mundial (Velázquez, 2021; CEPAL y OPS, 2021; Frenk, 2003), incapaz de *prevenir* y mitigar riesgos a pesar de un sofisticado talento científico actual y grandes avances tecnológicos.

Consecuentemente, a pesar de experiencias acumuladas, la **Peste Negra, Cólera, Fiebre Amarilla**, etc. aún están presentes, en baja prevalencia y espacialmente localizadas. Por ejemplo, durante 2010-2015, la OMS reportó 3248 casos asociados a **Peste Negra** con mortalidad del 17.98%. En 2017, se notificaron brotes en Madagascar, donde se considera endémico, Perú y Congo (OMS, 2017). La misma institución estima 3-5 millones de casos anuales de **Cólera** (Harris *et al.*, 2012). Esto demuestra que un agente infeccioso evoluciona con

overcrowding and unhealthy cities. Cholera had an important impact in Europe, particularly in London, England (1846-1860) at the time when microbiology was already contributing to etiology and mitigation measures. R. Koch, Nobel prize in medicine (1905) and considered the father of bacteriology, isolated the causative agent for first time (1883) from interdisciplinary studies in India. From 1817 to 1961 seven pandemic processes, associated with different variants of the bacterium, and endemicity in some regions of Africa and Asia, have been recognized (Harris *et al.*, 2012). The 1961 pandemic, where Latin America was involved, progressed in three independent but overlapping waves associated to contrasting variants and SXT resistance factors. In this case, the mutagenesis induction by antibiotics was determinant in the occurrence of cyclic epidemic processes (Harris *et al.*, 2021). Notoriously, the biological mutation, regardless of the microbiological organism, e.g., bacteria or virus, is inherent in diseases and their epidemics; and the *cure* of disease, that profitable resource promoted by pharmaceuticals, in this case sulphamethoxazole/trimethoprim are temporary solution and eventually causal of new variants resistant to available drugs.

**Cholera, curative lesson and mutation.** Medical *cure* is a trend analogous to the chemical control of plant pathogens (and pests in general) in agricultural crops. A toxic paradigm driven by companies, e.g., Bayer and Pfizer, which has own divisions for plants and humans. Pernicious circles at the expense of health. Consequently, the etiological level is no longer sufficient in epidemiological surveillance. The integration of molecular epidemiology is required for an efficient monitoring of races, variants, pathovars, etc. Not for variant detection purposes as prevails with current COVID-19 tests. The purpose should be

el ser humano en un delicado balance biológico-ambiental y eventualmente transita, de condiciones epidémicas de desequilibrio, a una condición endémica de baja prevalencia con brotes recurrentes. En consecuencia, la vigilancia epidemiológica debe ser una estrategia fundamental de un *Sistema de Salud preventivo* pero con nuevos paradigmas vinculados a la innovación científica-tecnológica (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a).

**Cólera (1817-1961), Koch, pandemias y anti-bióticos.** El Cólera es otra enfermedad causada por una bacteria, *Vibrio cholerae*, también asociada con hacinamientos e insalubridad de ciudades. Tuvo fuerte impacto en Europa, particularmente en Londres, Inglaterra (1846-1860) en una etapa donde la microbiología ya estaba aportando a la etiología y a medidas de mitigación. Fue R. Koch, nobel en medicina (1905) y considerado el padre de la bacteriología, quien aisló por primera vez al agente causal (1883) a partir de trabajos interdisciplinarios en la India. De 1817 a 1961 se reconocen siete procesos pandémicos asociados a diferentes variantes y es endémica en algunas regiones de África y Asia (Harris *et al.*, 2012). La pandemia de 1961, donde Latinoamérica estuvo involucrada, progresó en tres olas independientes pero sobrepuestas y asociadas a variantes contrastantes y factores de resistencia SXT. En este caso, la inducción de mutagénesis por antibióticos fue determinante en la ocurrencia de procesos epidémicos cíclicos (Harris *et al.*, 2021). Notoriamente la mutación biológica, independientemente de la entidad microbiológica, p.e., bacteria o virus, es inherente a las enfermedades y sus epidemias; y que la *cura* de la enfermedad, ese recurso rentable promovido por farmacéuticas, en este caso sulphamethoxazole/trimethoprim son una solución temporal y eventualmente causal de nuevas variantes resistentes a los fármacos disponibles.

inferential. Integrate the monitoring into risk models to forecast changes in variants prevalence and new pathogenic haplotypes emergence. COVID-19 has progressed in a succession of variants with differentiated parasitic fitness, at a faster rate than the generation of vaccines and drugs. The adaptive capacity of infection processes and the complex multiplication of SARS-CoV-2 (Li *et al.*, 2021), makes it necessary transcend *curative* solutions of temporal effectiveness by implementing risk and forecasting models for COVID-19, integrating genomics to risk factors.

**Cholera, contagione, epidemiorum, vaccines and immunity.** The main Cholera's outbreaks occurred after the Enlightenment (1700-1800) and during the Industrial Revolution (1760-1840) (Figure 1). There was already an important advance in pathological and epidemiological theory and conceptualization in human diseases. The book '*De contagione et contagiosis morbis et eorum curatione*' written by Girolamo Fracastoro (1546), described the 'degeneration of the air' associated with the spread of black death, leprosy, thymus, scabies, rabies, erysipelas, smallpox, anthrax, trachoma and other health problems of great impact at the time. Although the causality was not correct (Caponi, 2002), Fracastoro is credited with embodying the *transmissibility* idea. Another reference of epidemiological interest was "*Epidemiorum*" by Guillaume de Baillou (1580), who described epidemics of measles, diphtheria and bubonic plague in Europe (Figure 2). There are also other transcendental scientific discoveries in biology and other disciplines, e.g., Leeuwenhoek invented the microscope without which etiological microbiology would have been impossible. His records of bacterial cells and organisms (1670-1683) were references for later more formal studies of R. Koch or L. Pasteur (Figure 1).

**Cólera, lección curativa y mutación.** La *cura* médica es una tendencia análoga al control químico de fitopatógenos (y plagas en general) en cultivos agrícolas. Un paradigma tóxico impulsado por empresas, p.e., Bayer y Pfizer, que poseen divisiones para plantas y humanos. Círculos perniciosos a costa de la salud. En consecuencia, el nivel etiológico ya no es suficiente en la vigilancia epidemiológica. Se requiere la integración de la epidemiología molecular para un eficiente monitoreo de razas, variantes, patovares, etc. No con fines de detección de variantes como parece imperar con actuales pruebas COVID-19. El propósito debe ser inferencial. Integrar el monitoreo a modelos de riesgo de cambios en la prevalencia de variantes y en aparición de nuevos haplotipos patogénicos. COVID-19 ha progresado en sucesión de variantes con aptitud parasítica diferenciada a una velocidad mayor que la generación de vacunas y fármacos. La capacidad adaptativa de procesos de infección y la compleja multiplicación de SARS-CoV-2 (Li *et al.*, 2021), obliga a trascender soluciones *curativas* de efectividad temporal implementando modelos de riesgo y pronóstico para COVID-19, integrando la genómica a factores de riesgo.

**Cólera, contagione, epidemiorum, vacunas e inmunidad.** Los principales brotes de Cólera ocurrieron posterior a la Ilustración (1700-1800) y durante la Revolución Industrial (1760 - 1840) (Figura 1). Ya había un importante avance en teorización y conceptualización patológica y epidemiológica en enfermedades humanas. El libro '*De contagione et contagiosis morbis et eorum curatione*' escrito por Girolamo Fracastoro (1546), describió la 'degeneración del aire' asociado con el *contagio* de la peste negra, lepra, tisis, sarna, rabia, erisipela, viruela, ántrax, tracoma y otros problemas sanitarios de gran impacto en la época. Si bien la causalidad era *miasmática* (Caponi, 2002), se le reconoce a

However, more than 200 years were required for the microbiology emergence based on the etiological *causality* principle (Caponi, 2002). In this context, it can be explained that the development of first **Cholera** vaccine (1885) was obtained 33 years after a major outbreak, contributing to limit mortality to 10 million people (Figure 2). In this period, the knowledge of immunity already existed and other vaccines had been generated against smallpox (1796, Jenner), anthrax and rabies (1881, 1885, Pasteur, considered the immunology's father), and penicillin had been discovered (1897, Duchesne; 1928, Fleming) (Cáceres, 2012). These achievements marked a milestone in development of science showing the importance of scientific knowledge and humanistic essence. Diseases and epidemics seemed to have critical routes for their *prevention*. The millions of deaths would be unrepeatable experiences. However, 100 years later, with more than 250 million cases and 5 million deaths, COVID-19 has shown the opposite.

**Cholera, J. Snow, contagion.** The J. Snow period was decisive for modern medical epidemiology. It emerged as a science with conceptual and methodological population bases applied at the community level, understandable due to the absence of the hospitalarian systems. The organizational and functional hospital conception had its origin with the Crimean War (1853 and 1856), inseparable from the Florence Nightingale contributions (Turnes, 2009). The first London Epidemiological Society was founded in 1850, four years after the Cholera outbreak (Figure 2). John Snow played an active role in understanding the **Cholera** outbreak in London by studying for the first time the location of sick individuals and inferring the spatial dependence between sick individuals and the healthy population. That is, he demonstrated the *contagion*, a fundamental

Francastoro plasmar la idea de *transmisibilidad*. Otra referencia de interés epidemiológico fue '*Epidemiorum*' de Guillaume de Baillou (1580), quien describió epidemias de sarampión, difteria y peste bubónica en Europa (Figura 2). Existían además otros descubrimientos científicos trascendentales en biología y otras disciplinas, p.e., Leeuwenhoek, inventó el microscopio sin el cual la microbiología etiológica hubiera sido imposible. Su registro de células y organismos bacterianos (1670 - 1683) fueron referencias para posteriores estudios más formales de R. Koch o L. Pasteur (Figura 1).

Se requirieron sin embargo, poco más de 200 años para el surgimiento de la microbiología sustentada en el principio etiológico de la *causalidad* (Caponi, 2002). En este contexto, se puede explicar que el desarrollo de la primera vacuna contra **Cólera** (1885) se obtuvo 33 años después del primer brote, reduciendo la mortalidad a 10 millones de personas (Figura 2). En este periodo, ya existía el conocimiento de inmunidad y se habían generado otras vacunas contra la viruela (1796, Jenner), án-trax y rabia (1881, 1885, Pasteur, considerado el padre de la inmunología), y se había descubierto la penicilina (1897, Duchesne; 1928, Fleming) (Cáceres, 2012). Estos logros marcaron un hito en el desarrollo de la ciencia mostrando el valor del conocimiento científico y su esencia humanística. Las enfermedades y sus epidemias parecían tener rutas críticas para la *prevención*. Las millones de muertes serían experiencias irrepetibles. Sin embargo, 100 años después, con más de 250 millones de casos y 5 millones de muertes, COVID-19 ha mostrado lo contrario.

**Cólera, J. Snow, contagio.** El período de J. Snow también fue determinante para la epidemiología médica moderna. Emergió como ciencia con bases conceptuales y metodológicas poblacionales aplicadas nivel comunitario, comprensible por la



principle of epidemiology. He also showed the importance of population data, concretized in a community living together and sharing space and resources, to infer the solution without knowing the etiology of Cholera, which was elucidated 37 years later.

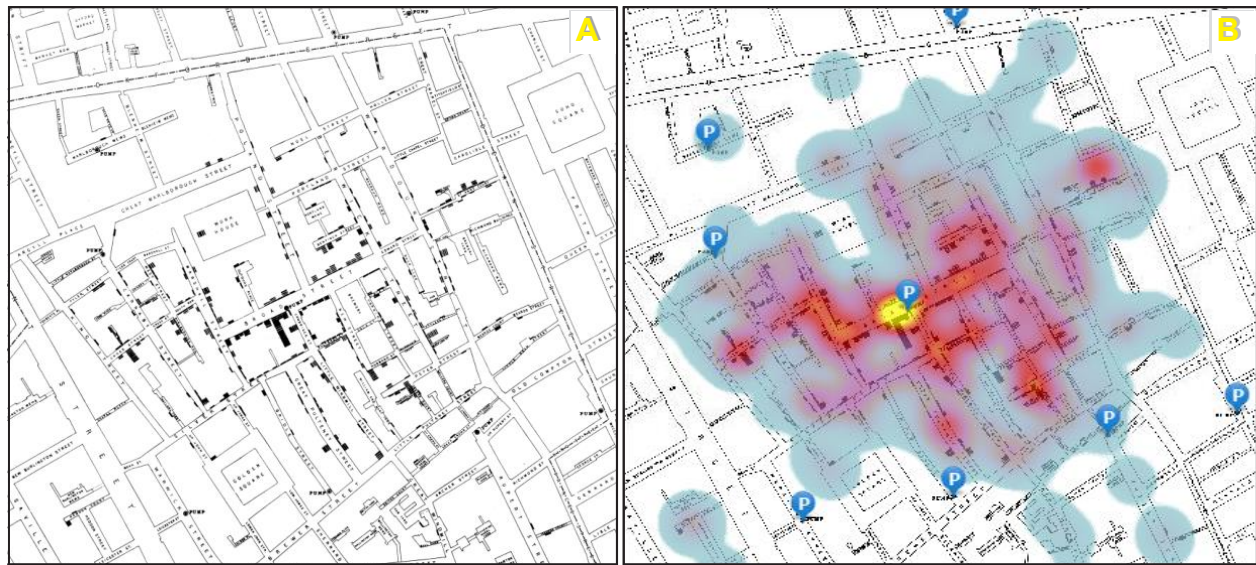
The ‘field’ and ‘community’ data is practically forgotten today. Clinical and hospital registration (or entry points at ports and airports, in Plant Health) is not sufficient. Identifying the infectious agent/pest in ‘pathway’ is a predominantly etiological approach disconnected from the principle *contagion*. The absence of spatio-temporal structured, convenient and integrated data in real-time to big databases for decision-making is the main limitation of current epidemiology in human, animal and plant health areas. Consequently, COVID-19 was no exception. The registration of positive cases has made possible to estimate SARS-CoV-2 lethality and mortality, and to describe the temporal epidemic dynamics in demographic populations, but it does not make possible the understanding and intervention of the *contagion* mechanisms that operate at community clusters, i.e., labor, family, social environments (Mora-Aguilera *et al.*, 2021b).

**Cholera, map, water.** In 1854, on a paper map with traces of London streets, J. Snow located and counted the sick individuals number in the city. He included other spatial elements to explain the associativity of diseased cases. This allowed J. Snow to link the ‘water’ of supply sites with *contagion*: ‘*As soon as I became acquainted with the situation and extent of this irruption of cholera, I suspected some contamination of the water of the much-frequented street-pump in Broad Street*’. This rationalization, outside the reductionist paradigm of the sick-individual, made possible to analyze and conclude that the water distribution system was associated with Cholera cases dispersion in the city. Snow’s original Cholera map (Figure 3)

ausencia de sistemas hospitalarios, los cuales en su concepción funcional y organizacional tuvieron origen con la guerra de Crimea (1853 y 1856), indisoluble a los aportes de Florence Nightingale (Turnes, 2009). Se fundó la primera Sociedad Epidemiológica de Londres en 1850, cuatro años después del brote de Cólera (Figura 2). John Snow, tuvo un rol activo en la comprensión del brote de **Cólera** en Londres, estudiando por primera vez la localización de individuos enfermos e infiriendo la dependencia espacial entre individuos enfermos y la población sana. Es decir, descubrió el *contagio*, principio fundamental de la epidemiología. Mostró también la importancia del dato poblacional, concretizado en una comunidad que convive y comparte espacio y recursos, para inferir la solución sin conocer la etiología del **Cólera**, la cual se dilucidó 37 años después.

El dato de ‘campo’ y ‘comunitario’, hoy está prácticamente olvidado. El registro clínico y hospitalario (o de puntos de ingreso en puertos y aeropuertos, en la Sanidad Vegetal) no es suficiente. Identificar el agente infeccioso/plaga en la ‘vía’ es un enfoque predominantemente etiológico desconectado del principio de *contagio*. La ausencia del dato estructurado en espacio-tiempo, oportuno, integrado en tiempo real a grandes bases de datos para toma de decisiones es una de las grandes limitaciones de la epidemiología actual en ámbitos de salud humana, animal y vegetal. En consecuencia, COVID-19 no fue la excepción. El registro de casos positivos ha permitido estimar la letalidad y mortalidad por SARS-CoV-2 y describir la dinámica epidémica temporal en poblaciones demográficas, pero no permite comprender e intervenir mecanismos de *contagio* los cuales operaran a nivel comunitario en ‘clusters’ laborales, familiares, sociales, etc. (Mora-Aguilera *et al.*, 2021b).

**Cólera, un mapa, el agua.** En 1854, en un mapa de papel con trazos de calles de Londres, J. Snow



**Figure 3.** A. Urban original map of cholera cases in London from J. Snow. B. Heat map developed using ARGIS enhancing that analytical interpretation. Red color indicates intense contagious activity. In yellow the main focus location. Source: Authors with historical data. ArcGis. <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=75237a7d4b7547c1b3addf9ffcd380fa>.

**Figura 3.** A. Mapa urbano original de casos de cólera en Londres de J. Snow. B. Mapa de calor desarrollado usando ARGIS mejorando esa interpretación analítica. El color rojo indica una actividad contagiosa más intensa. En amarillo la ubicación del foco principal. Fuente: Autores con datos históricos. ArcGis: <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=75237a7d4b7547c1b3addf9ffcd380fa>.

shows conceptually and manually the abstraction to represent in a space the distribution and linkage of an epidemic event, becoming the precursor of dispersion pattern spatial analysis associated with *contagion*.

Nowadays, computational resources and specialized spatial software, e.g., Golden Surfer® (1985), ArcGis® (1999), QGIS® (2002) or Google Maps (2005), allow application in epidemiology to study *contagion* mechanisms. Various geostatistical methods and bi- or three-dimensional projections make possible to determine spatial dependencies or aggregation patterns using tools to add, join and superimpose layers of information with a single ‘click’. These developments suggest that spatial analysis is a simplistic process, but obviate the scientific conception of the problem in an

ubicó y contó el número individuos enfermos en la ciudad. Incluyó otros elementos espaciales para explicar la asociatividad de casos enfermos. Esto permitió a J. Snow vincular el ‘agua’ de sitios de aprovisionamiento con el *contagio*: ‘As soon as I became acquainted with the situation and extent of this irruption of cholera, I suspected some contamination of the water of the much-frequented street-pump in Broad Street’. Esta racionalización, fuera del paradigma reduccionista del individuo enfermo, permitió analizar y concluir que el sistema de distribución de agua estaba asociado a la dispersión de casos de cólera en la ciudad. El mapa de cólera original de Snow (Figura 3) muestra conceptual y manualmente la abstracción para representar en un espacio dado la distribución y vinculación de un evento epidémico, convirtiéndose en el precursor

epidemiological phenomenon context (Escobar-Gutiérrez *et al.*, 2020; Ibarra-Zapata *et al.*, 2019; López-Avalos *et al.*, 2017). However, the precedent generated by J. Snow's seminal idea, today so simple and logical, changed the paradigm for decision-making in the *contagion* spatial dimension, the first front of an epidemic process, and implied considering other environmental factors in addition to disease (Velázquez, 2021; CEPAL and OPS, 2021; Frenk, 2003).

**Current cholera, zoonosis.** Cholera and other historical epidemics continue to be studied, highlighting the deficient health models. In the last decade, research on *Vibrio cholerae* includes spatio-temporal models (Mari *et al.*, 2012), climatic conditions (Escobar *et al.*, 2015), and environmental reservoirs using remote sensing (Recault *et al.*, 2019), among others. The scenario for *Health Systems* is a more adverse one given the recent emergence of zoonotic origin epidemics, a factor previously limited in the human health history where sanitation and hygienism had a fundamental epidemic mitigation role (Figure 1). Globalization, overexploitation of natural resources and anthropogenic environmental impact are some causes of these infectious biological bridges between animals and humans mediated mainly by highly effective viral agents with their structural simplicity and their sophisticated mimetic function to that of humans (García-Ruiz, 2021). Thus, at close this document, a coronavirus of the genus Deltacoronavirus (Porcine deltacoronavirus, PDCoV) was reported for the first time infecting humans in Haiti, a highly marginal region with contact between humans and backyard pigs, which represents another potential zoonotic risk. Previous human-adapted coronaviruses were restricted to genus alpha-coronavirus (HCoV-NL63) and beta-coronavirus (MERS-CoV; SARS-CoV 2003; SARS-CoV-2) (Lednický *et al.*, 2021).

del análisis espacial de patrones de dispersión asociados al *contagio*.

En la actualidad recursos computacionales y software espaciales especializados como Golden Surfer® (1985), ArcGis® (1999), QGIS® (2002) o Google Maps (2005), permiten su aplicación en la epidemiología para estudiar mecanismos de *contagio*. Diversos métodos geoestadísticos y proyecciones bi o tridimensionales permiten determinar dependencias espaciales o patrones de agregación mediante uso de herramientas para agregar, unir y superponer capas de información con un solo 'click'. Estos desarrollos sugieren que el análisis espacial es un proceso simplista, pero obvian la concepción científica del problema en el contexto de un fenómeno epidemiológico (Escobar-Gutiérrez *et al.*, 2020; Ibarra-Zapata *et al.*, 2019; López-Avalos *et al.*, 2017). Sin embargo, el precedente generado por la idea seminal de J. Snow, hoy tan simple y lógica, cambió el paradigma para la toma de decisiones en la dimensión espacial del *contagio*, primer frente de un proceso epidémico, e implicó considerar otros factores del ambiente además de la enfermedad (Velázquez, 2021; CEPAL y OPS, 2021; Frenk, 2003).

**Cólera vigente, zoonosis.** Cólera y otras epidemias históricas continúan siendo motivo de estudio constatando los modelos de salud deficitarios. En la última década, investigaciones sobre *Vibrio cholerae* incluyen modelos espacio-temporales (Mari *et al.*, 2012), condiciones climáticas (Escobar *et al.*, 2015), reservorios ambientales utilizando sensores remotos (Recault *et al.*, 2019), entre otros. El escenario para los *Sistemas de Salud* es una más adverso ante la emergencia reciente de epidemias de origen zoonótico, un factor limitado en la historia de la salud humana donde la salubridad y el higienismo tenía un rol fundamental en mitigación epidémica (Figura 1). La globalización, la sobreexplotación de los recursos naturales y el impacto

#### 4. EPIDEMICS AND PANDEMICS IN PLANTS

##### **Epidemics: Monoculture, dispersion, mobility.**

In the plant kingdom, regional and pandemic epidemic processes have also affected plant populations, both cultivated and native, during human history (Figure 1) (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Ristaino *et al.*, 2021; Carvajal-Yepes *et al.*, 2019; Parnell *et al.*, 2017; Potter and Urquhar, 2017). Logically, the phenomena of mass parasitism have been accentuated with the agriculture evolution towards extensive monoculture systems and with the global dispersal of cultivated plant species from their origin centers. For example, in citrus crops, originating in Asia, the **Citrus tristeza virus**, endemic in the world, has caused more than 50 million plants deaths in America (more than 100 million worldwide) since first outbreak in Argentina and Brazil in 1930's (CIPF, 2016), an epidemic caused by infected orange trees from South Africa (Figure 1) (Rivas-Valencia *et al.*, 2008). Recent pandemics in humans have evidenced the role of human mobility and social proximity in fast continental and transcontinental pathogens dispersal (Davis *et al.*, 2021), while in plant pathogens, with slow dispersal synchronous and discontinuous crops production cycles, the trade in plant products and sub-products has been more important, and since 90's the long-distance dispersal due to extreme climatic variations (Chown *et al.*, 2014; Mora-Aguilera *et al.*, 2014a).

Analogous to human epidemics, the response of national (NPPOs) and regional plant protection organizations (PRMOs), and international organizations such as the International Plant Protection Convention (IPPC), associated with FAO, has not been effective either, they operate predominantly under classical commercial regulatory models (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Santivañez *et al.*, 2013). Population restrictiveness

ambiental antropogénico están entre las causas de estos puentes biológicos infecciosos entre animales y humanos, mediados principalmente por agentes virales sumamente efectivos por la simple estructura y sofisticada función replicativa mimética a la de humanos (García-Ruiz, 2021). Así, al cierre de este documento, se reportó por primera vez un coronavirus del género Deltacoronavirus (Porcine deltacoronavirus, PDCoV) infectando humanos en Haití, una región altamente marginal con fuerte contacto entre humanos y puercos de traspatio, lo cual representa otro riesgo zoonótico potencial. Previos coronavirus adaptados a humanos se restringían a los géneros alfacoronavirus (HCoV-NL63) y betacoronavirus (MERS-CoV; SARS-CoV 2003; SARS-CoV-2) (Lednický *et al.*, 2021).

#### 4. EPIDEMIAS Y PANDEMIAS EN PLANTAS

##### **Epidemias: Monocultivo, dispersión, movilidad.**

En el reino vegetal, los procesos epidémicos regionales y pandémicos también han afectado poblaciones de plantas, tanto cultivadas como nativas, durante la historia de la humanidad (Figura 1) (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Ristaino *et al.*, 2021; Carvajal-Yepes *et al.*, 2019; Parnell *et al.*, 2017; Potter and Urquhar, 2017). Lógicamente, los fenómenos de parasitismo masivo se han acentuado con la evolución de la agricultura hacia sistemas de monocultivos extensivos y con la dispersión mundial de especies de plantas cultivadas a partir de sus centros de origen. Por ejemplo, en cítricos, originarios de Asia, el **Citrus tristeza virus**, endémico en el mundo, ha causado la muerte de más de 50 millones de plantas en América (más de 100 millones a nivel mundial) a partir del primer brote en Argentina y Brasil en 1930's (CIPF, 2016), epidemia originada por naranjos infectados procedentes de Sudáfrica (Figura 1) (Rivas-Valencia *et al.*, 2008). Las recientes pandemias en humanos han evidenciado



and the etiological vision equally afflict both fields of epidemiology application, i.e., if in medical epidemiology the emphasis is on diseased-patient-hospital, in plant epidemiology it is restricted to disease-plant-field. Consequently, the history of crops epidemiology, and by extension the animal, has not been so different from the humans.

Various continental epidemics (i.e., restricted to one continent) and pandemics have impacted cultivated plants, increasingly in response to the need for big food volumes required to sustain urban growth since the industrial boom of XIX century. Similarly, at the early XX century, occurred the first epidemic outbreak in a non-cultivated host: native European *Ulmus* spp. caused by *Ophiostoma ulmi*, possibly by anthropogenic pressure on timber resources for construction purposes (Figure 1). This pandemic-endemic disease, with recurrent outbreaks, is estimated to have eliminated 30 million elms between 1970 and 1990 in UK, with severe economic and environmental consequences by destroying the tree population in some regions (Potter and Urquhar, 2017; Potter *et al.*, 2011).

**Historical pandemics in plants.** In plant epidemics there are also present various infectious agents, including fungi, viruses and bacteria, which have high plant specificity. Although there are no reports of epidemic outbreaks in humans or animals with phytopathogenic origin, some diseases of medical interest have been reported, usually due to the effects of toxins from fungi, e.g., *Aspergillus*, *Fusarium*, *Claviceps* and *Cladosporium*, and in bacteria, the genus *Pseudomonas* stands out, which has pathogenic species in plants and humans (e.g., *P. aeruginosa*). In general, plant pathogens exhibits a biological barriers, which has not been the case between animals and humans. Among the diseases that have exhibited epidemic processes with millions of plants deaths,

el rol de movilidad humana y proximidad social en la rápida dispersión continental y transcontinental de patógenos (Davis *et al.*, 2021), mientras que en fitopatógenos, con lenta dispersión sincrónica y ciclos productivos discontinuos de cultivos, ha sido más importante el comercio de productos y subproductos vegetales, y a partir de los 90's el movimiento aéreo a grandes distancias por efecto de fenómenos climáticos extremos (Chown *et al.*, 2014; Mora-Aguilera *et al.*, 2014a).

Análogo a epidemias en humanos, la respuesta de organismos nacionales (ONPF) y regionales de protección fitosanitaria (ORPF), y de organismos internacionales como la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF), asociada a la FAO, tampoco ha sido efectiva al operar predominantemente bajo modelos regulatorios comerciales clásicos (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Santivañez *et al.*, 2013). La restrictividad poblacional y la visión etiológica aqueja por igual a ambos campos de aplicación de la epidemiología, i.e., si en la epidemiología médica el énfasis está en la población hospitalaria enferma, en la fitosanitaria se restringe a la incidencia del daño parcelario. En consecuencia, la historia de la epidemiología agrícola, y por extensión y por la extensión animal, no ha sido tan diferente a la humana.

Diversas epidemias continentales (i.e., restringidas a un continente) y pandemias han incidido en plantas cultivadas, incrementándose ante la necesidad de grandes volúmenes de alimentos requeridos para sustentar el crecimiento urbano en respuesta al auge industrial del siglo XIX. Análogamente, a principios del siglo XX se registró el primer brote epidémico en bosques nativos europeos de *Ulmus* spp. causado por *Ophiostoma ulmi*, posiblemente por la presión antropogénica sobre los recursos maderables con fines constructivos (Figura 1). Esta enfermedad pandémica-endémica, con recurrentes rebrotes, se estima que eliminó 30 millones de

the following stand out: *Phytophthora infestans* – *Solanum tuberosum* (1845-1849), *Hemileia vastatrix* – *Coffea* spp. (1868-1882, 2009-present), *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* – *Musa* spp. (1876, 1924, 1990-present), *Ophiostoma ulmi* - *Ulmus americana* (1919 - present), *Moniliophthora perniciosa* – *Teobroma cacao* (1987-endémico), **Papaya ringspot virus** – *Carica papaya* (1995), **Citrus tristeza virus** – *Citrus* spp. (1930-1937, 1990-present), **Coconut lethal yellowing phytoplasma** – *Cocos nucifera* (2000), **Candidatus Liberibacter asiaticus** – *Citrus* spp. (2009-present), among others (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Ristaino *et al.*, 2021; Carvajal-Yepes *et al.*, 2019; Potter y Urquhar, 2017; Mora-Aguilera *et al.*, 2014b,c; Potter *et al.*, 2011; Gonsalves *et al.*, 2010; Rivas-Valencia *et al.*, 2008) (Figure 1).

**Drugs and agrochemicals: Cure and the same actors.** Epidemics and pandemics in plants, in addition to the direct effect (e.g., the survival risk of native and cultivated stocks, and use of energy for genetic adaptations), have an important impact on quality and viability of human life, not only by limiting food production and safety, but also by the agroecological, environmental, economic, social and cultural impacts. On the other hand, a plant pathogen ensures survival, endemicity and epidemic potential through a wide range of hosts at the varietal, species, genus, family and order taxonomic levels. This infectious plasticity has generated an important agrochemicals market, emphasizing the *cure* to the detriment of *preventive* principle in a manner analogous to clinical management of diseases in humans.

Understandably, companies such as Bayer, a chemical-pharmaceutical company founded during the Industrial Revolution and with the largest global sales volume, have chemical divisions for plants (Cropscience, 45%), animals (Animal health, 3%) and humans (Pharmaceuticals, 41%

olmos entre 1970 y 1990 tan solo en UK, con severas consecuencias económicas y ambientales al destruir la población arbórea en algunas regiones (Potter y Urquhar, 2017; Potter *et al.*, 2011).

**Pandemias históricas en plantas.** En epidemias de plantas también concurren diversos agentes infecciosos, incluyendo hongos, virus, bacterias, etc., los cuales tienen alta especificidad vegetal. Aunque no existen reportes de brotes epidémicos en humanos o animales con origen fitopatogénico, se han reportado algunas enfermedades de interés médico, generalmente por efectos de toxinas de hongos, p.e., *Aspergillus*, *Fusarium*, *Claviceps* y *Cladosporium*, y en bacterias destaca el género *Pseudomonas* que posee especies patogénicas en plantas y humanos (p.e., *P. aeruginosa*). En general, los fitopatógenos exhiben una barrera biológica, lo cual no ha sido el caso entre animales y humanos. Entre las enfermedades que han exhibido procesos epidémicos con muerte de millones de plantas destacan: *Phytophthora infestans* – *Solanum tuberosum* (1845-1849), *Hemileia vastatrix* – *Coffea* spp. (1868-1882, 2009 al presente), *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* – *Musa* spp. (1876, 1924, 1990 al presente), *Ophiostoma ulmi* - *Ulmus americana* (1919 al presente), *Moniliophthora perniciosa* – *Teobroma cacao* (1987-endémico), **Papaya ringspot virus** – *Carica papaya* (1995), **Citrus tristeza virus** – *Citrus* spp. (1930-1937, 1990 al presente), **Coconut lethal yellowing phytoplasma** – *Cocos nucifera* (2000), **Candidatus Liberibacter asiaticus** – *Citrus* spp. (2009 al presente), entre otras (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Ristaino *et al.*, 2021; Carvajal-Yepes *et al.*, 2019; Potter y Urquhar, 2017; Mora-Aguilera *et al.*, 2014b,c; Potter *et al.*, 2011; Gonsalves *et al.*, 2010; Rivas-Valencia *et al.*, 2008) (Figura 1).

**Fármacos y agroquímicos: Cura y mismos actores.** Las epidemias y pandemias en plantas, además

and Consumer Health, 12%). In sales percentage, out of 41.4 billion euros in 2020, chemicals marketed for ‘*pest control and crop protection*’ exceed ‘*prescription drugs*’ for humans (45% vs. 41%) (Díaz, 2021). This is the challenge, changing the *curative* paradigm to disease *prevention*. That is, the epidemics *prevention*. It implies changing the current *curative* approach to risk management and mitigation. The curative approach is profitable but not sustainable.

**Late Blight (1845-1850), varietal diversity, de Bary.** In plant health history, the first epidemic challenge, addressed with a scientific approach was the **Late Blight** (‘*potato murrain*’ original name in Europe), a disease of potato (*Solanum tuberosum*), and a plant native to Andean regions of South America and carried to Europe in the XVI century by Spanish. Its epidemic status between 1845 and 1850 included GB, France, Holland and Belgium (Figure 4) (Dyer, 1874). But it had the highest impact in Ireland with a famine (known as ‘*The Potato Famine*’) resulting in 1.1 million people killed and 1.5 million migrants in Europe and US (van Esse *et al.*, 2019) (Figure 1, 2, 4 and 5). This could be the first case of the plant diseases potential impact on human *food security* and the risk of accidentally spreading a pathogen associated with a specific plant genotype selected of native genetic variability. Peru and Bolivia, recognized as main origin centers of potato, have the greatest diversity of the 130 known wild species (CIP, 2021); and the region, with Mexico as a reference (Galindo and Gallegly, 1960) were for many years the only one with the sexual phase presence of the fungus, and consequently also of greatest variability. However, there are no epidemic records in this pathosystem in America in XVI and XVII centuries (Figure 1 and 5). Previously, *Peronospora* had been the fungal genus associated with the disease by English

del efecto directo (p.e., riesgo en la sobrevivencia de acervos nativos y cultivados, y uso de energía para adaptaciones genéticas), tienen fuerte impacto en la calidad y viabilidad de la vida humana, no solo por limitar la producción e inocuidad de alimentos, sino también por los impactos agroecológicos, ambientales, económicos, sociales y culturales. Por otra parte, un patógeno de plantas asegura su pervivencia, endemividad y potencial epidémico a través de un rango amplio de hospederos a nivel varietal, especie, género, familia y orden taxonómico. Esta plasticidad infecciosa ha generado un importante mercado de agroquímicos con énfasis en el principio *curativo* en demérito del *preventivo* análogo al manejo clínico de enfermedades en humanos.

Comprensiblemente, empresas como Bayer, empresa químico-farmacéutica fundada durante la Revolución Industrial y con mayor volumen de ventas mundiales, poseen divisiones de productos químicos para plantas (Cropscience, 45%), animales (Animal health, 3%) y humanos (Pharmaceuticals, 41% y Consumer Health, 12%). En términos porcentuales de ventas, de 41 mil 400 millones de euros en 2020, los químicos comercializados para ‘*control plagas y protección de cultivos*’ superan a los ‘*medicamentos con receta*’ para humanos (45% vs. 41%) (Díaz, 2021). Este es el gran reto. Cambiar el paradigma de *curar* por el de *prevenir* la enfermedad. Es decir, la *prevención* de epidemias. Implica modificar el enfoque actual de gestión y mitigación de riesgos. El enfoque curativo es rentable pero no sustentable.

**Tizón tardío (1845-1850), diversidad varietal, de Bary.** En la historia fitosanitaria, el primer desafío epidémico abordado con un enfoque científico fue el **Tizón tardío** (‘*potato murrain*’ nombre original en Europa), enfermedad de la papa (*Solanum tuberosum*), planta originaria de regiones andinas

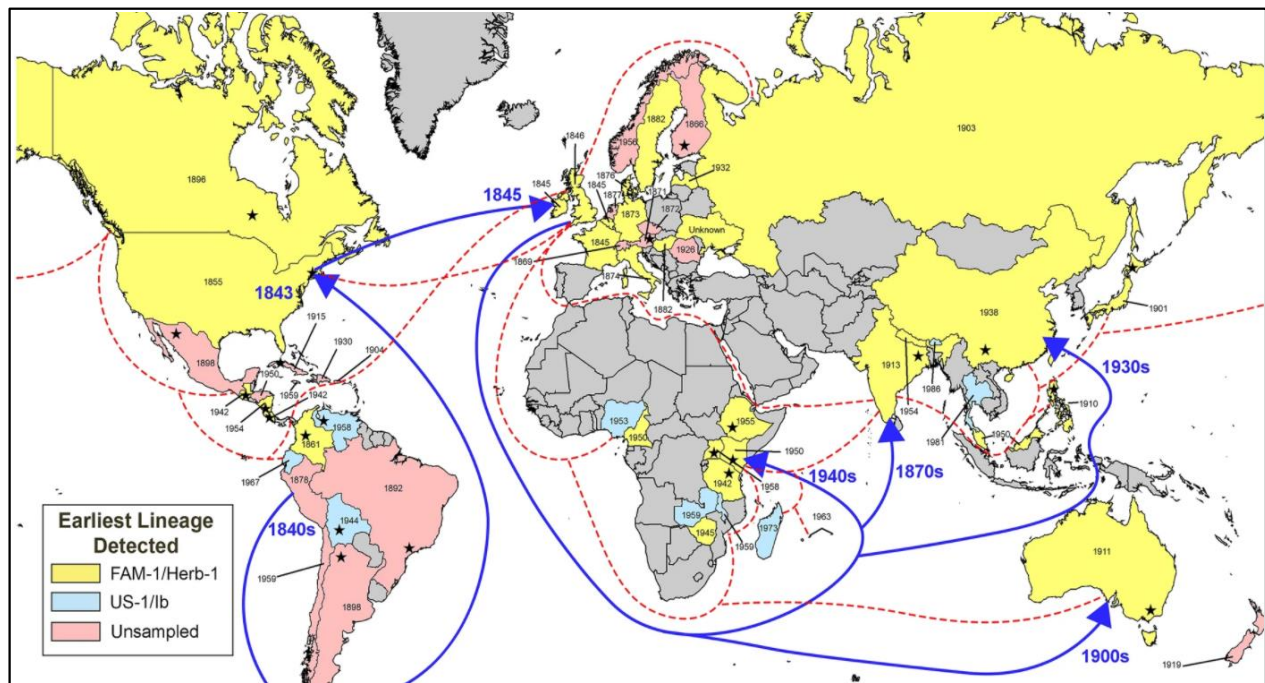


Figure 4. Worldwide dispersal of genotypic clade FAM-1 *Phytophthora infestans* (in yellow) causing the epidemic in potato (*S. tuberosum*) in 1840's, responsible for the famine in Ireland with more than 1.1 million deaths; and the genotypic clade US-1 of later appearance (in blue). Dotted lines indicate estimated British sea routes for 1930. Blue lines suggest the possible routes and years of FAM-1 dispersion to Africa and Asia. The year in each country indicates the record of the collection in the herbarium and star indicates place with report of the disease. Source: Saville and Ristaino, 2021.

Figura 4. Dispersión mundial de clado genotípico FAM-1 *Phytophthora infestans* (en amarillo) causante de la epidemia en papa (*S. tuberosum*) en 1840's, responsable de la hambruna de Irlanda con más de 1.1 millones de muertos; y el clado genotípico US-1 de aparición posterior (en azul). Líneas punteadas indican rutas marítimas británicas estimadas para 1930. Líneas azules sugieren las posibles rutas y años de dispersión de FAM-1 a África y Asia. El año en cada país indica el registro de la colecta en herbario y la estrella indica lugar con reporte de la enfermedad. Fuente: Saville y Ristaino, 2021.

scientists such as Miles Joseph Berkeley (Berkeley, 1946), but Anton de Bary studied it in greater depth in the context of the public competition “Grand Prix des Sciences Physiques, proposé pour 1857” (Figure 5) organized by the *Académie des Sciences* (Matta, 2010). Anton de Bary, among other findings, observed that mycelial growth was associated with potato **Late Blight**, determined the life cycle and identified as *Phytophthora infestans*, currently considered a pseudofungi belonging to the class Oomycetes (Turner, 2005).

de Sudamérica y llevada Europa en el siglo XVI por españoles. Su condición epidémica entre 1845 y 1850 incluyó GB, Francia, Holanda y Bélgica (Figura 4) (Dyer, 1874). Pero tuvo mayor impacto en Irlanda con una hambruna (conocida como ‘*The Potato Famine*’) que resultó en 1.1 millones de personas muertas y 1.5 millones de migrantes en Europa y EUA (van Esse *et al.*, 2019) (Figure 1, 2, 4 y 5). Este podría ser el primer caso del impacto potencial de enfermedades de plantas en la *seguridad alimentaria* humana y del riesgo de dispersar





Figure 5. A. Irish families affected by the famine in 1845 – 1849. B. Promotion of *Grand Prix Des Science Physiques* to study structure formation mode, physiological role, germination and spore penetration of parasitic fungi. C. Foliar symptoms of potato blight. D. *Phytophthora infestans* spore structure. Source: A. [http://www.historylearningsite.co.uk/ireland\\_great\\_famine\\_of\\_1845.htm](http://www.historylearningsite.co.uk/ireland_great_famine_of_1845.htm). B. Académie des Sciences. 1856. 'Grand Prix des Sciences Physiques, proposé pour 1857.' *Comptes rendus* 42: 161–163. C and D. Romero, 2004.

Figure 5. A. Familias irlandesas afectadas por la hambruna entre 1845 - 1849. B. Notificación del del *Grand Prix Des Science Physiques* para estudiar el modo de formación de la estructura, el papel fisiológico, la germinación y la penetración de esporas de los hongos parásitos. C. Síntomas foliares del tizón de la papa. D. Estructura de esporas de *Phytophthora infestans*. Source: A. [http://www.historylearningsite.co.uk/ireland\\_great\\_famine\\_of\\_1845.htm](http://www.historylearningsite.co.uk/ireland_great_famine_of_1845.htm). B. Académie des Sciences. 1856. 'Grand Prix des Sciences Physiques, proposé pour 1857.' *Comptes rendus* 42: 161–163. C and D. Romero, 2004.

**Blight, Millardet, variability and resistance.** The solution proposed by de Bary was consistent with the hygienism applied in the containment of epidemics in humans in the mid-nineteenth century, e.g., by J. Snow in the *Cholera* management (1854); de Bary suggested the elimination of inoculum sources, a practice referred to in plant health as *sanitization*, consisting of destroying affected tubers. However,

accidentalmente un patógeno asociado con un genotipo vegetal específico, seleccionado de una variabilidad genética nativa. Perú y Bolivia, reconocidos como principales centros de origen de la papa, poseen la mayor diversidad de las 130 especies silvestres conocidas (CIP, 2021); y la región, con México como referente (Galindo y Gallegly, 1960) fue por muchos años la única con presencia de la fase

the infectious aggressiveness of the pathogen led to the development of *cure/protection* principle with the exhaustive use of *Bordeaux mixture*, developed in 1885 (copper sulfate, hydrated lime, water) (Millardet, 1885), considered the precursor of fungicides first generation with contact action. Currently, more than 150 years after the identification of this microorganism, the disease is endemic with regional epidemic outbreaks caused by gene migration from the organism, varieties resistance loss and development of fungicides resistance requiring the application of third and fourth generation products, mainly of systemic action (Mandipropamid and Azoxystrobin) (Lal *et al.*, 2018; Romero *et al.*, 2012); even so, global losses are estimated at US\$ 6.7 billion annually (Lal *et al.*, 2018; Haas *et al.*, 2009).

As with SARS-CoV-2, the genomic technology applied in *P. infestans* has shown that the characterization of epidemics at the population level, under assumption of species homogeneity, is insufficient for the mechanistic understanding of parasitism and that it is necessary to determine subepidemic processes at the variants or genotypes levels (Davis *et al.*, 2021; 2011). That is, to study the population genomic structure. For example, in *P. infestans* it has been possible to identify that a genotypic lineage, FAM-1, was responsible for pandemic process that began in 1840's in Europe, becoming established in 144 years in six continents with 73% prevalence estimated with herbarium samples collected between 1845 and 1990 (Figure 4) (Saville and Ristaino, 2021). However, the microorganism is highly variable. Whole genome sequencing of *P. infestans* has revealed the complexity and high evolutionary and host adaptive capacity (Haas *et al.*, 2009). This explains the intrinsic problem with irrational application of *curative/protective* principle resulting in pathogen resistance to fungicides due to mutagenic

sexual del hongo, en consecuencia también de su mayor variabilidad. No obstante, no existen registros epidémicos en este patosistema en América en los siglos XVI y XVII (Figura 1 y 5). Previamente, *Peronospora* había sido el género fungoso asociado con la enfermedad por científicos ingleses como Miles Joseph Berkeley (Berkeley, 1946), pero fue Anton de Bary quien la estudió con mayor profundidad en el contexto del concurso público '*Grand Prix des Sciences Physiques, proposé pour 1857*' (Figura 5) convocado por la *Académie des Sciences* (Matta, 2010). Anton de Bary, entre otros hallazgos, observó que el crecimiento micelial estaba asociado al **Tizón tardío de la papa**, determinó su ciclo de vida y lo identificó como *Phytophthora infestans*, actualmente es considerado un pseudo-hongo perteneciente a la clase oomicetes (Turner, 2005).

**Tizón, Millardet, variabilidad y resistencia.** La solución propuesta por de Bary estuvo acorde con el inicio del *higienismo* en la contención de epidemias en humanos a mitad del siglo XIX, p.e., de J. Snow en el manejo del **Cólera** (1854); de Bary sugirió la eliminación de fuentes de inóculo, práctica referida en la fitosanidad como *sanitización*, consistente en destruir tubérculos afectados. Sin embargo, la agresividad infecciosa del patógeno condujo al desarrollo del principio de *curación/protección* con el exhaustivo uso del *caldo bordelés*, desarrollado en 1885 (sulfato de cobre, cal hidratada, agua) (Millardet, 1885), considerado el precursor de la primera generación de fungicidas con acción de contacto. En la actualidad, a más de 150 años de la identificación de este microorganismo, la enfermedad es endémica con brotes epidémicos regionales ocasionados por migración génica del organismo, pérdida de resistencia varietal y de resistencia a fungicidas requiriéndose aplicar productos de tercera y cuarta generación, principalmente de acción sistémica

pressure. For example, *metalaxyl* loss of biological effectiveness has been reported over 3 and 12 years (Lal *et al.*, 2018), despite the fungicides alternation in programs of 16-24 applications per potato production cycle (Romero *et al.*, 2012).

#### **Drug resistance, analogous to plant pathogens.**

The mutagenic capacity of *P. infestans* to fungicides is not exclusive to plant pathogens. According with WHO, developing antimicrobial drug resistance in humans (i.e., antibiotics, antivirals, antifungals and antiparasitics) is also a health threat to humanity (Solano, 2021). This organization warns that in 2050, if measures are not taken to curb antimicrobial resistance, deaths could reach 10 million at the intra-hospital level due to the ineffectiveness of *curative* drugs. However, this institution is omissive in holding the population responsible, implicitly with 2021 campaign ‘*Spread the word, stop antimicrobial resistance*’, for the improper use of drugs. The negligence of this agency and health institutions, for abandoning *prevention* as a public health strategy in favor of predominant *curative* approach, convenient for the pharmaceutical industry and private hospitals, is ignored. Clearly, microbial parasitic fitness adapted to plants, animals and humans allows organisms to evolve in the face of pressure that agrochemicals or drugs impose on them. Epistemologically, epidemiology emerges as a discipline that allows the introduction of systemic and holistic rationality in the sustainable solution of health problems in broad biological meaning. Epidemic of past and present indicate that we have not understood this.

**Blight, Pasteur, science and causality.** Unlike the **Black Death**, chronologically *P. infestans* had been preceded of great scientific discoveries by Hooke, Leeuwenhoek, Koch, Pasteur and other microbiologists. The *theory of spontaneous*

(Mandipropamid y Azoxystrobin) (Lal *et al.*, 2018; Romero *et al.*, 2012); aun así se estiman pérdidas mundiales de US\$ 6.7 billones anuales (Lal *et al.*, 2018; Haas *et al.*, 2009).

Al igual que SARS-CoV-2, la tecnología genómica aplicada en *P. infestans* ha demostrado que la caracterización de epidemias a nivel de población, bajo la asunción de homogeneidad de la especie, es insuficiente para la comprensión mecánica del parasitismo y que es necesario determinar los procesos subepidémicos a nivel de variantes o genotipos (Davis *et al.*, 2021; 2011). Es decir, estudiar la estructura genómica poblacional. Por ejemplo, en *P. infestans* se ha podido identificar que un linaje genotípico, el FAM-1, fue responsable del proceso pandémico iniciado en 1840’s en Europa lográndose establecer en 144 años en seis continentes con una prevalencia del 73% estimada con muestras de herbarios colectadas entre 1845 y 1990 (Figura 4) (Saville y Ristaino, 2021). No obstante, el microorganismo es altamente variable. La secuenciación total del genoma de *P. infestans* ha revelado su complejidad y alta capacidad evolutiva y adaptativa al huésped (Haas *et al.*, 2009). Esto explica el problema intrínseco con la aplicación irracional del principio *curativo/protectivo* que resulta en resistencia del patógeno a fungicidas debido a la presión mutagénica. Por ejemplo, se ha reportado la pérdida de efectividad biológica del *metalaxyl* en un periodo de 3 y 12 años (Lal *et al.*, 2018), a pesar de la alternancia de fungicidas en programas de 16-24 aplicaciones por ciclo productivo de papa (Romero *et al.*, 2012).

#### **Resistencia a fármacos, análogo en fitopatógenos.**

La capacidad mutagénica de *P. infestans* a fungicidas no es privativa a patógenos de plantas. El desarrollo de resistencia a fármacos antimicrobianos en humanos (i.e., antibióticos, antivíricos, antifúngicos y antiparasitarios) es también una amenaza

*generation* was being severely questioned and finally discarded in 1862 with the famous experiment of boiling water in a *swan-neck flask* by Pasteur (Institut Pasteur, 2021). These biological advances, including Darwin's evolutionary (1859, 1871) and Mendel's genetic (1864) breakthroughs, among others, allowed the foundation of *Nature* (1869) and *Science* (1880) journals. This was the context of sciences 'maturity' that facilitated the elucidation of fungal parasitism mechanisms in potato plants, although de Bary performed some pathogenicity tests, his work was more descriptive, of this and other types of fungi such as those causing *rusts* and *bunts*. The pathogenicity test merit was for B. Prevost in 1807, even before R. Koch, publishing his results in '*Mémoire sur la cause immédiate de la carie où charbon des blés, et de plusieurs autres maladies des plantes, et sur les préservatifs de la carie*'. Nevertheless, de Bary is accepted by the American school as the precursor of phytopathology. His achievements were recognized in *Nature* journal: '*Prof. de Bary has worked out the scientific questions that occur as to the origin of the disease. It is owing to a fungus (Peronospora infestans)...*' (Dyer, 1874). In congruence with the foundational stage of microbiology where epidemics in humans drove development, the potato fungal epidemic and the severe famine in Ireland also promoted the phytopathology consolidation with the etiological principle of *causality* as central paradigm (Yuen, 2021).

**COVID-19 Curve: The etiological paradigm vicious.** As in human medicine, the etiological paradigm has strengthened the principle of *protection* (plants) and *cure* (humans) with the reductionist vision of causal identity as sufficient evidence to find the *cure* for diseases. The etiological paradigm has also distorted the epidemiological approach by emphasizing the *epidemic curve* study, constructed

de salud para la humanidad de acuerdo a la OMS (Solano, 2021). Este organismo alerta que en 2050, si no se toman medidas para frenar la resistencia antimicrobiana, los decesos podrían alcanzar 10 millones tan solo a nivel intrahospitalario por ineficacia de los fármacos *curativos*. Sin embargo, esta institución es omisa al responsabilizar a la población implícitamente con su campaña 2021 '*Corre la voz, frena la resistencia a los antimicrobianos*', por el uso indebido de medicamentos. Se soslaya la negligencia de este organismo, y de las instituciones de salud, por abandonar la *prevención* como estrategia de salud pública en beneficio del enfoque *curativo* predominante y conveniente para la industria farmacéutica y hospitales privados. Claramente, la aptitud parasítica microbiana adaptada a plantas, animales y humanos permite a los organismos evolucionar ante la presión que los agroquímicos o fármacos le impone. Epistemológicamente, la epidemiología emerge como una disciplina que permite introducir la racionalidad sistémica y holística en la solución sustentable de problemas de la salud en su amplia acepción biológica. Epidemias del pasado y presente indican que no lo hemos entendido.

**Tizón, Pasteur, ciencia y causalidad.** A diferencia de la **Peste Negra**, cronológicamente *P. infestans* había sido precedida de grandes descubrimientos científicos por Hooke, Leeuwenhoek, Koch, Pasteur y otros microbiólogos. La *teoría de la generación espontánea* estaba siendo severamente cuestionada para definitivamente desecharse en 1862 con el famoso experimento de ebullición de agua en un frasco de *cuello de cisne* por Pasteur (Institut Pasteur, 2021). Estos avances biológicos, incluyendo los evolutivos de Darwin (1859, 1871) y genéticos de Mendel (1864), entre otros, permitieron la fundación de las revistas *Nature* (1869) y *Science* (1880). Este fue el contexto de la 'madurez' de las ciencias que facilitaron dilucidar los mecanismos



with progress of diseased subpopulation, when in fact *prevention* and health should be the principles of modern epidemiology (Figure 2). This restricted epidemiology view is clearly exhibited with COVID-19. There are countless web systems, the *Johns Hopkins Coronavirus Resource Center* being one of the most known (<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>), that represent progressions of incidence and mortality over time with at least two conceptual problems (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2020): **a.** the curves refer to demographic populations of vast territories (e.g., country) without a functional relation of spatial contagious dependence, **b.** The diseased subpopulation (i.e., SARS-CoV-2 positive) is a clinical sample from individuals volunteers agree to testing, given the presumption disease, or are performed at hospitals for treatment reasons; thus, the infection rate is not dynamic, is underestimated, and does not apply to *preventive* mitigation model.

The epidemiological indicators have worked for descriptive purposes of epidemic status (e.g., hospital occupancy, number of beds used with ventilators, permissiveness of mobility and commercial activity, percentage value of increase or decrease in positive cases, etc.), but not for mechanistic purposes applicable to risk *prevention*. Moreover, the interest on COVID-19 epidemiological comprehension has decreased for the current mass vaccination expectations. Nevertheless, at the time of writing, Europe is exhibiting the fourth COVID-19 epidemic wave. As November 21, 2021, Germany reported that '*entered a state of national emergency*' with an increase of more than 50,000 infections per day, according to Lothar Wieler, president of the Robert Koch Institute for Health Surveillance, and it was recognized that neither vaccination nor restrictions against unvaccinated persons '*will be enough to stop the new wave of infections*' (Ap *et al.*, 2021b).

de parasitismo del hongo en las plantas de papa, aunque de Bary realizó pruebas de patogenicidad, su trabajo fue más descriptivo, de este y otros tipos de hongos como los causantes de las *royas* y *carbones*. El mérito de pruebas de patogenicidad lo tuvo B. Prevost en 1807, aun antes que R. Koch, publicando sus resultados en '*Mémoire sur la cause immédiate de la carie où charbon des blés, et de plusieurs autres maladies des plantes, et sur les préservatifs de la carie*'. No obstante, de Bary es aceptado por la escuela americana como el precursor de la fitopatología. Sus logros fueron reconocidos en la revista *Nature*: '*Prof. de Bary has worked out the scientific questions that occur as to the origin of the disease. It is owing to a fungus (Peronospora infestans)...*' (Dyer, 1874). En congruencia con la etapa fundacional de la microbiología donde las epidemias en humanos impulsaron su desarrollo, la epidemia fungosa de la papa y hambruna de Irlanda promovió también la consolidación de la fitopatología con el principio etiológico de la *causalidad* como su paradigma central (Yuen, 2021).

**Curva COVID-19: Vicio del paradigma etiológico.** El paradigma etiológico, como en la medicina humana, ha fortalecido el principio de *protección* (plantas) y *curación* (humanos) con la visión reduccionista de la identidad causal como evidencia suficiente para encontrar la *cura* de enfermedades. El paradigma etiológico también ha distorsionado el enfoque epidemiológico al enfatizar el estudio de la *curva epidémica*, construida con la progresión de la subpoblación enferma, cuando en realidad debería ser la *prevención* y la *salud* los principios de la epidemiología moderna (Figura 2). Esta visión restringida de la epidemiología está claramente exhibida con COVID-19. Existe un sinnúmero de sistemas web, siendo el *Johns Hopkins Coronavirus Resource Center* uno de los más conocidos (<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>), que representan

**Cure: Another vice of etiological paradigm.**

The etiological paradigm, and consequently the emphasis on disease, has become so deeply rooted that it has distorted the *Plant and Health Systems*, constituting, at best, reactive models for problems solution, not for *prevention*. Consequently, relegate in the agrochemical and pharmaceutical industry the contribution of *curative* medicine, and the abandonment or technical-scientific outdated of *Surveillance Systems* (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Mora-Aguilera *et al.*, 2021b). Thus, it is not surprising that a recent study concludes that only between 1 to 3 SARS-CoV-2 infections per 100 cases were detected by *Surveillance Systems* in the US and several European countries during the first COVID-19 wave (Davis *et al.*, 2021). Human's pride, encouraged by great scientific and technological revolutions, does not allow us to understand our fragile ubiquity in the biological world. As Erich Fromm stated: '*Man places himself above life*'

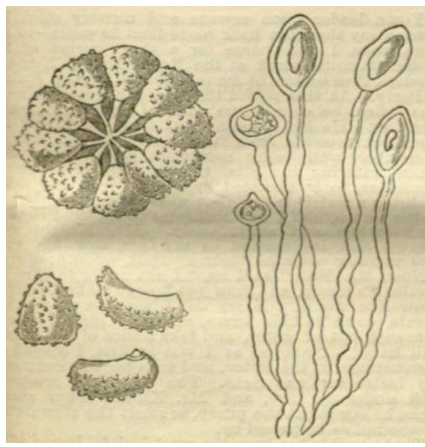
**Coffee rust (1869-1892), races and varieties.**

The epidemic history of **Coffee rust** (Figure 6A-C), originally known as 'Coffee leaf disease', a fungal disease of coffee plants (*Coffea* spp.) caused by *Hemileia vastatrix*, is analogous to **Potato Late Blight** in respect of the associative geographic spread of the pathogen-host, epidemic events alternation with endemicity, and constant emergence of new races. With **Rust**, it is mainly due to mutagenic pressure by resistant varieties, not by the fungicides effect (Alvarado-Alvarado *et al.*, 2005). The *genetic* strategy has been privileged over the *chemical* due to the artificial depreciation of coffee in international markets with consequent reduction of the harvest value to the farmers by intermediary companies. The low profit margin of the crop for the majority of coffee farmers, even with the eventual increases in the international

progresiones de incidencia y mortalidad en el tiempo con al menos dos problemas conceptuales (Mora-Aguilera and Acevedo-Sánchez, 2020): **a.** Las curvas son referidas a poblaciones demográficas de vastos territorios (p.e., país) sin una conexión funcional de dependencia espacial de *contagio*, **b.** La subpoblación enferma (i.e., positiva a SARS-CoV-2) es una muestra clínica proveniente de individuos que voluntariamente acceden a una prueba, ante la presunción de la enfermedad, o que son realizadas por razones de tratamientos hospitalarios; así, la tasa de *contagio* no es dinámica, se subestima, y no es aplicable a un modelo de mitigación *preventivo*.

Los indicadores epidemiológicos han funcionado con fines descriptivos del estatus epidémico (p.e., ocupación hospitalaria, número de camas usadas con ventilador, permisividad de movilidad y actividad comercial, valor porcentual de incremento o decremento de casos positivos, etc.), pero no para fines mecánicos aplicables a la *prevención* de riesgos. Más aun, el interés por la comprensión epidemiológica de COVID-19 ha decrecido ante las expectativas de vacunación masiva. No obstante, al momento de escribir estas líneas, Europa exhibe su cuarta ola epidémica COVID-19. A Noviembre 2021, Alemania reportaba que '*entró en un estado de emergencia nacional*' con un repunte mayor a 50 mil contagios diarios de acuerdo a Lothar Wierler, presidente del instituto de vigilancia sanitaria Robert Koch, y se reconocía que ni la vacunación, ni las restricciones contra personas no vacunadas '*bastarán para frenar la nueva ola de infecciones*' (Ap *et al.*, 2021b).

**Curar: Otro vicio del paradigma etiológico.** El paradigma etiológico, y en consecuencia el énfasis en la enfermedad, ha quedado tan arraigado que ha distorsionado los *Sistemas Fitosanitarios* y de *Salud Pública* constituyéndose, en el mejor de los ca-



D. Morris (1879): 'Results of the 'Leaf-disease Inquiry'...presented to the Legislative Council of Ceylon, embodying the investigation... to find remedies, so far, are:

1. That the coffee-leaf disease is an organised fungoid growth.
2. That in December and the early part of the year it is generally present as an external parasite...cover every part of the bark and leaves.
3. That while an external parasite...it is possible to destroy it.
4. That a mixture of **sulphur** and **lime** dusted by hand into the tree in the proportions of one of sulphur to two of lime has been found by experiment to be the most effective.
5. That the application cost will not exceed at the rate of R 16-50 per acre.
6. That the application of **sulphur** and **lime** in the proportions recommended...is more profitable.. than artificial manures.
7. Planters unite in the **application** of remedies and that they remove at once all sickly trees on their estates and those not likely to be crop producers, and **prevent** by every means in their power the re-infection.
8. To uproot all coffee trees on abandoned estates and old native gardens, and to take steps to **prevent** the disease from finding ...plants not under careful cultivation'.

Figure 6. A. Deforestation and monoculture coffee plantations in Ceylon (Sri Lanka) in the coffee boom 1830-1870, scene of the first epidemic outbreak of coffee leaf rust caused by *Hemileia vastatrix* (1868-1892); B. Kidney-shaped and granulate-verrucose spores illustrated by MJ. Berkeley (1869); C. Integration of control strategies suggested in 1869 by 'practical men of considerable knowledge and experience in coffee cultivation, aided, by careful scientific observation'. Sources: A. <https://fr-fr.facebook.com/pg/Lindoola-Coffee-Estate-225198544202156/posts/>; B. MJ. Berkeley (1869); C. D. Morris (1879).

Figura 6. A. Deforestación y monocultivo de cafetales en Ceylán (Sri Lanka) en el auge cafetalero 1830-1870, escenario del primer brote epidémico de Roya del cafeto causado por *Hemileia vastatrix* (1868-1892); B. Esporas 'kidney-shaped' y 'granulato-verrucose' ilustradas por MJ. Berkeley (1869); C. Integración de estrategias de control sugeridas en 1869 por 'practical men of considerable knowledge and experience in coffee cultivation, aided, by careful scientific observation'. Fuentes: A. <https://fr-fr.facebook.com/pg/Lindoola-Coffee-Estate-225198544202156/posts/>; B. MJ. Berkeley (1869); C. D. Morris (1879).



price of coffee, operates to the detriment of the agrochemicals products acquisition. This is the reason for the proliferation of organic coffee production. It is an obligated alternative to the sustained coffee depreciation. It also explains the absence of a profitable market for agrochemical companies. However, neither it is profitable for 'seed' companies (e.g. Syngenta).

In America continent, the coffee varieties production, similar to many perennial crops, has been predominantly an effort of national (e.g., EMBRAPA, Brazil; ICAFE, Costa Rica), state (UFLA/EPAMING, Brazil), or farmer associations (IHCAFE, Honduras; Anacafe, Guatemala; FNC, Colombia) (EMBRAPA, 2021). Questionably, Mexico lacks these institutionalized efforts since the 80's, due to extinction of INMECAFE. The responsibility assumed by the Government and farmers has allowed free availability of genotypes, even between countries, without patents that put at risk the common germplasm property. This is contrary to many extensive grain and vegetable crops where seed companies impact on the production 'agenda'. This is also contrary what currently prevails in pharmaceutical companies that hold patents for SARS-CoV-2 vaccines in the face of the State's failure to generate them. This was illustrated with BIRMEX in Mexico in a previous section (BIRMEX, 2021). Government and farmers stewardship has allowed the mitigation of recurrent **Coffee Rust** and **Citrus Tristeza virus** epidemic outbreaks due to free availability of varieties in the America. For example, *Costa Rica 95* (Costa Rica), *Lempira* (Honduras) and *Castillo* (Colombia) varieties, among others, were used in Mexico and other countries to reconvert *Typica*, *Bourbon* or *Caturra* coffee plantations, susceptible to *H. vastatrix* during the 2009-2015 epidemic outbreak in Central America (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a).

so, en modelos reactivos para la solución de problemas, no para su *prevención*. En consecuencia, relegan en la industria agroquímica y farmacéutica el aporte de la medicina *curativa*, y el abandono o desactualización técnica-científica de los *Sistemas de Vigilancia* (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Mora-Aguilera *et al.*, 2021b). Así, no es sorprendente que un estudio reciente concluya que únicamente entre 1 y 3 infecciones de SARS-CoV-2 por cada 100 casos fueron detectados por los *Sistemas de Vigilancia* de EUA y varios países europeos durante la primera ola COVID-19 (Davis *et al.*, 2021). La soberbia humana, acrecentada por las grandes revoluciones científicas y tecnológicas actuales, no permite comprender nuestra frágil ubicuidad en el mundo biológico. '*El hombre se coloca a si mismo por encima de la vida*' (Erich Fromm).

#### **Roya del cafeto (1869-1892), razas y variedades.**

La historia epidémica de la **Roya del café** (Figura 6A-C), originalmente conocida como '*Coffee leaf disease*', enfermedad fungosa de plantas de café (*Coffea* spp.) causada por *Hemileia vastatrix*, es análoga al **Tizón tardío de la papa** en términos de dispersión geográfica asociativa del patógeno-huésped, alternancia de eventos epidémicos con endemicidad y aparición constante de nuevas de razas del hongo. En la **Roya** se debe principalmente a la presión mutagénica por variedades resistentes, no por efecto de fungicidas (Alvarado-Alvarado *et al.*, 2005). La estrategia *genética* se ha privilegiado sobre la *química* debido a la artificial depreciación del café en mercados internacionales con la consecuente reducción del valor de compra al productor por empresas intermediarias. El escaso margen de rentabilidad del cultivo para la vasta mayoría de cafetaleros, aun con los eventuales incrementos de precio internacional, opera en detrimento de la adquisición de agroquímicos. Esta es la razón de la proliferación productiva del cafetal orgánico. Una



So, why do **Rust** epidemic cycles continue if there are no business visions that distort plant health models? That is, the cure as a profitable principle in the plants and humans health. With this disease there are two experiences, agronomic and climate change, which are added to previously discussed idea of epidemic intensity in direct function with the pathogen-crop spread to new areas of productive adaptation. Regions of introduction where there is a smaller conglomerate of suppressive factors and biological competition, and a lower genetic diversity of the host. Coffee is presumably native to Kafa, Ethiopia with a history of cultivation since IX century, predominantly the species *C. arabica* (Ferreira *et al.*, 2019). It is a high mountain region between 1,830 and 2,440 masl, 22 °C average temperature, and 510 to 1,525 mm annual precipitation. One-third of this territory and bordering areas are covered by tropical rainforest with three or more altitudinal levels (Ferreira *et al.*, 2019; Zewdie, 2003). ‘*The forest provides shade for the cultivation of coffee and commercially valuable spices that thrive when protected from frost and direct sunlight*’ (Zewdie, 2003). Local cultures achieved to avoid regional dissemination of coffee seed/plants, until Dutch, French and British (XVI and XVIII century), mobilized it to their colonies (Ferreira *et al.*, 2019; McCook, 2006).

**Coffee rust: Biotrophic parasitism.** The specificity and obligate or biotrophic parasitic specialization of *H. vastatrix* to species of the genus *Coffea* (Aime, 2006), which has a 124 species diversity suitable for a variable forest environment (Ferreira *et al.*, 2019; Davies *et al.*, 2011), suggest a close pathogen-host coevolution in the equatorial African (McCook, 2006). Phylogenetic studies with 18S rDNA and 28S rDNA gene has allowed postulating that rusts (Basidiomycetes: Uredinales) diverged 150 to 250 million years ago from ancestors adapted to the

alternativa obligada por la sostenida depreciación del café. También explica la ausencia de un mercado rentable para empresas de agroquímicos. Sin embargo, tampoco lo es para empresas ‘semilleras’ (p.e., Syngenta).

En América, la generación de variedades de café, similar a muchos cultivos perennes, ha sido predominantemente un esfuerzo de instituciones nacionales (p.e., EMBRAPA, Brasil; ICAFE, Costa Rica), estatales (UFLA/EPAMING, Brasil), o de asociaciones de productores (IHCAFE, Honduras; Anacafe, Guatemala; FNC, Colombia) (EMBRAPA, 2021). Cuestionablemente, México carece de estos esfuerzos institucionalizados desde los 80’s, por la extinción del INMECAFE. La responsabilidad asumida por el Estado y productores ha permitido libre disponibilidad de genotipos, incluso entre países, sin patentes que pongan en riesgo la propiedad común del germoplasma. Caso contrario a lo que ocurre en muchos cultivos extensivos de granos y hortalizas donde las empresas impactan en la ‘agenda’ productiva. Contrario también a lo que ahora impera con farmacéuticas que ostentan las patentes de vacunas para SARS-CoV-2 ante la claudicación del Estado para generarlas. Esto se ilustró con BIRMEX en México en una sección previa (BIRMEX, 2021). La rectoría gubernamental y de productores ha permitido paliar brotes epidémicos recurrentes de **Roya del Cafeto** y **Citrus Tristeza virus** debido a la libre disponibilidad variedades en América. Por ejemplo, variedades *Costa Rica 95* (Costa Rica), *Lempira* (Honduras) y *Castillo* (Colombia), entre otras, se usaron en México y otros países para reconvertir cafetales de *Typica*, *Bourbon* o *Caturra*, susceptibles a *H. vastatrix* durante el brote epidémico 2009-2015 en Centroamérica (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a).

Entonces, ¿Por qué continúan ciclos epidémicos de la **Roya** si no hay visiones empresariales que distorsionen los modelos fitosanitarios? Es decir, la

arboreal tropics, among which *H. vastatrix* was identified (Aime, 2006; Wingfield *et al.*, 2004). The ancestry of this fungus and the life cycle in *C. arabica*, with rarely telial phase presence, sexual spore considered to be of winter survival and genetic recombination, suggests adaptation to benign tropical climates of Kenya and Ethiopia, rather than reflecting a primitive physiological condition. The sexual phase, however, possibly does exist in *C. canephora* and *C. eugenioides*, progenitors of *C. arabica* (Carvalho *et al.*, 2011; Aime, 2006). The obligate parasitism coevolution, of supra-stomatic and non-systemic leaf infection, i.e., with interruption of infectious cycle by leaf senescence to the detriment of survival, coupled to wider genetic pool of host, possibly resulted in limited infective aggressiveness and low prevalence in Ethiopia, Kenya and other regions of equatorial Africa, a situation that prevails to present. Thus, absence of a massive epidemic process as it would operate against the fungus survival.

**COVID-19: ‘Biotrophic’ parasitism, variants and lethality.** The biotrophic type of *H. vastatrix* parasitism, with systemic nature and multiple tropism is also exhibited by SARS-CoV-2 (Saito *et al.*, 2021) and the vast majority of plant and animal viruses. This type of highly specific parasitism involves a complex and dynamic pathogen-host coevolutionary process that must be understood to predict and prevent epidemic outbreaks (Robinson *et al.*, 2013). The zoonotic origin of SARS-CoV-2 implies that the virus has only just begun adaptation and coevolution phase with humans. Nevertheless, mass infectious success has allowed high virus genomic variability (O’Toole *et al.*, 2021; Shu and McCauley, 2017), and a complex population structure with clades differentiated by geographic regions, sex, age, symptoms present or absent, and lethality (Lee *et al.*, 2021; Hamed *et al.*, 2021).

*curación* como principio de mercado en la salud de plantas y humanos. Con esta enfermedad hay dos experiencias, la agronómica y el cambio climático, que se adicionan a la idea previamente discutida de intensidad epidémica en función directa con el desplazamiento del patógeno-cultivo a nuevas áreas de adaptación productiva. Regiones de introducción donde impera un menor conglomerado de factores de supresión y competencia biológica, y una menor diversidad genética del huésped. El café es presuntamente originario de Kafa, Etiopia con antecedentes de cultivación desde el siglo IX, predominantemente la especie *C. arabica* (Ferreira *et al.*, 2019). Es una región de alta montaña entre 1.830 y 2.440 msnm, 22 °C de temperatura media, y 510 a 1.525 mm de precipitación anual. Un tercio de este territorio y sus áreas limítrofes están cubiertos por bosque húmedo tropical con tres o más pisos altitudinales (Ferreira *et al.*, 2019; Zewdie, 2003). ‘*El bosque provee sombra para el cultivo del café y especias de valor comercial que prosperan al estar protegidas de las heladas y la luz solar directa*’ (Zewdie, 2003). Las culturas locales lograron evitar la diseminación regional de semilla/plantas de café, hasta que Holandeses, Franceses y Británicos (siglo XVI y XVIII), lograron la movilización a sus colonias (Ferreira *et al.*, 2019; McCook, 2006).

**Roya del cafeto: Parasitismo biotrófico.** La especificidad y especialización *parasítica obligada* o *biotrófica* de *H. vastatrix* a especies del género *Coffea* (Aime, 2006), el cual posee una diversidad de 124 especies aptas para un ambiente forestal variable (Ferreira *et al.*, 2019; Davies *et al.*, 2011), sugieren una coevolución muy estrecha patógeno-huésped en la zona ecuatorial africana (McCook, 2006). Estudios filogenéticos con el gen 18S rDNA y 28S rDNA ha permitido postular que las royas (Basidiomycetes: Uredinales) divergieron hace 150 o 250 millones de años a partir de ancestros adaptados

It can be hypothesized that SARS-CoV-2 lethality and mortality are an adaptive transitional state and that evolution towards moderate variants would be expected, compensating the gradual loss of infectious severity with a high transmissibility rate and/or evasion mechanism to the immune system (Saito *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2021; Vashishtha, 2021). Thus, there is a succession of highly prevalent variants worldwide (many variants have no parasitic fitness and disappear): B.1.1.7 (Alpha), B.1.351 (Beta), P.1 (Gamma), and B.1.617.2 (Delta) (Saito *et al.*, 2021; WHO, 2021c). The latter has been less aggressive-lethal (i.e., lower hospitalization rate) than the earlier virus variants, in absence of chronic virus-predisposing diseases (Álvarez-Maya *et al.*, 2021). However, pathogenicity is apparently higher respect to speed and tropism.

The Delta increased transmissibility has been associated with effective viral recognition with host cells due to the P681R mutation of gene that synthesizes the *S* protein (Saito *et al.*, 2021). The Delta variant also exhibits a shorter incubation and latency period, evading the immune system response (Vashishtha, 2021). Also, transmissibility is determinant because it increases viral multiplication events and therefore the likelihood of genomic variability; keeps the epidemic active; and may reduce the benefit of ‘herd immunity’ induced by vaccination (Liu *et al.*, 2021). All genomic variation carries a risk of vaccine effectiveness loss. The risk is higher considering that these were generated with the original Chinese B1 lineage and predominant in the 2020 epidemic phase (Liu *et al.*, 2021). The WHO recently announced 40% losses of vaccine effectiveness due to the *Delta* variant (Afp y Reuters, 2021).

**COVID-19: Omicron, communication and business.** In this context, the new variant B.1.1.529

al trópico arbóreo, entre los cuales se identificó a *H. vastatrix* (Aime, 2006; Wingfield *et al.*, 2004). La ancestralidad de este hongo y su ciclo biológico en *C. arabica*, con rara presencia de una fase telial, espóra sexual considerada de sobrevivencia invernal y recombinación genética, sugiere su adaptación a climas tropicales benignos como Kenia y Etiopia, más que el reflejo de una condición fisiológica primitiva. La fase sexual, sin embargo, posiblemente existe en *C. canephora* y *C. eugenioides*, progenitores de *C. arabica* (Carvalho *et al.*, 2011; Aime, 2006). La coevolución de un parasitismo obligado, de infección foliar supra-estomático no sistémico, i.e., con ruptura del ciclo infeccioso por senescencia de hojas en detrimento de su sobrevivencia, acoplado a un amplio acervo genético del huésped, posiblemente derivó en limitada agresividad infectiva y baja prevalencia en Etiopia, Kenia y otras regiones de África ecuatorial, situación que prevalece hasta el presente. Es decir, ausencia de un proceso epidémico masivo ya que operaría contra la pervivencia del hongo mismo.

**COVID-19: Parasitismo ‘biotrófico’, variantes y letalidad.** El tipo de parasitismo biotrófico de *H. vastatrix*, pero de naturaleza sistémica y múltiple tropismo también lo exhibe SARS-CoV-2 (Saito *et al.*, 2021) y la inmensa mayoría de los virus de plantas y animales. Este tipo de parasitismo, altamente específico, implica un proceso coevolutivo patógeno-huésped complejo y dinámico que debe ser entendido para predecir y *prevenir* brotes epidémicos (Robinson *et al.*, 2013). El origen zoonótico de SARS-CoV-2 implica que el virus apenas inició su fase de adaptación y coevolución con el humano. No obstante, su éxito infeccioso masivo le ha permitido generar alta variabilidad genómica (O’Toole *et al.*, 2021; Shu and McCauley, 2017), y una estructura poblacional compleja con clados diferenciados por regiones geográficas, género, edad,

(Callaway, 2021), ‘*highly transmissible and of concern*’ called ‘*Omicron*’ by WHO (WHO, 2021d), has triggered alarming global reactions even without sufficient scientific data, but not consistent with the evolutionary logic exposed. It is distressing that predictive models of emergence, establishment and prevalence of new variants in the SARS-CoV-2 population structure are still lacking. So far, models have not been developed despite the great progress in functional and quantitative genomics (<https://www.gisaid.org/hcov19-variants/>). The same researchers who reported the new variant expressed their doubts: ‘*It is also unclear whether the variant is more transmissible than Delta, says Moore, because there are currently low numbers of COVID-19 cases in South Africa*’, it is also necessary ‘*to see what this virus does in terms of competitive success and whether it will increase in prevalence*’ (Callaway, 2021).

The impacts of Omicron’s announcement have been immediate in the global economy with international stock market losses, cancellation of flights from South Africa, speculations about the antigenic effectiveness of current vaccines, etc. (EFE y AFP, 2021). These imply that little has been learned on current pandemic management (or conveniently not wanted to), and that there are no effective risk communication strategies at all decision-making levels. It also stimulates the commercial interests of large companies pressing for their ‘*rescue*’, offering in return ‘*support, stability and evolution to value chains*’ (Español, 2021; Fernández-Vega, 2021). But pharmaceutical companies are the most benefit.

AstraZeneca, Pfizer/BioNTech, Moderna and Novavax immediately expressed their ability to combat the Omicron variant. Creating a new vaccine would be ‘*very fast*’ (Afp y BBC, 2021). The media strategy worked. Immediately the share values of Pfizer and Moderna soared by 6.4% and 27.5%, respectively. On the German stock

síntomas presentes o ausentes y letalidad (Lee *et al.*, 2021; Hamed *et al.*, 2021).

Se puede hipotetizar que la letalidad y mortalidad de SARS-CoV-2 es un estado transicional adaptativo y que se esperaría una evolución hacia variantes moderadas, compensado la gradual pérdida de severidad infecciosa con alta tasa de transmisibilidad y/o evasión al sistema inmunológico (Saito *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2021; Vashishtha, 2021). Así, existe una sucesión de variantes altamente prevalentes a nivel mundial (muchas variantes no tienen aptitud parasítica y desaparecen): B.1.1.7 (Alpha), B.1.351 (Beta), P.1 (Gamma), and B.1.617.2 (Delta) (Saito *et al.*, 2021; WHO, 2021c). Esta última ha sido menos agresiva-letal (i.e., menor tasa de hospitalización) que las primeras variantes del virus, en ausencia de enfermedades crónicas de predisposición al virus (Álvarez-Maya *et al.*, 2021). Sin embargo, su patogenicidad aparentemente es mayor en términos de velocidad y tropismo.

El incremento en transmisibilidad de Delta se ha asociado al efectivo reconocimiento viral con células del huésped debido a la mutación P681R del gen que sintetiza la proteína *S* (Saito *et al.*, 2021). La variante Delta también exhibe un periodo de incubación y latencia más corto permitiéndole evadir al sistema inmunológico (Vashishtha, 2021). El incremento en transmisibilidad también es determinante porque aumentan los eventos de multiplicación viral y por consiguiente la probabilidad de variabilidad genómica; mantiene activa la epidemia; y puede reducir el beneficio de ‘*inmunidad rebaño*’ inducida con la vacunación (Liu *et al.*, 2021). Toda variación genómica implica riesgo en pérdida de efectividad de vacunas. El riesgo es mayor considerando que estas fueron generadas con el linaje B1 original de China y predominante en la fase epidémica 2020 (Liu *et al.*, 2021). La OMS recientemente anunció la pérdida de 40% de efectividad de vacunas debido a la variante Delta (Afp y Reuters, 2021).



exchange, the shares of Pfizer's partner BioNTech increased by 12% (Vivas, 2021). Irresponsibly, society cooptation is exercised with promotion of fear as a resource for obscure political and economic interests. The pandemic as a business opportunity, without a comprehensive structural solution for the *Public Health System* dismantled at global and regional level (CEPAL and OPS, 2021; Frenk, 2003). The WHO recognizes that COVID-19 evidenced needs for a new '*international health architecture... to predict, prevent, detect, assess and respond effectively to pandemics in a highly coordinated manner*' (WHO, 2021e).

**Epidemics and loss of pathogenic aggressiveness.** The viruses' aggressiveness loss by long host-adaptive processes is proved with human adenoviruses (HAdV-), causing common influenza, which could have their ancestor in non-human primate viruses (NHAdV-), with high specificity and not current evidence of interspecific transmissibility-infectivity (Bots and Hoeben, 2020). This is a scenario analogous to **Malaria** but with the protozoa *Plasmodium falciparum* and *P. vivax*, except that these exhibit highly restricted genetic variability (Sharp *et al.*, 2020). The HAdV- adenoviruses are grouped into six species (A-G) with a total diversity of 103 types generated by mutagenic processes and homologous recombination (Robinson *et al.*, 2013). Their specificity and relatively low aggressiveness, even asymptomatic, although with some lethal mutations (Robinson *et al.*, 2013), is the reason for the adenoviruses use, with non-functional or functional replication, as vectors for the generation of vaccines against SARS-CoV-2 (e.g., Johnson & Johnson and AstraZeneca) and for oncolytic purposes (Bots and Hoeben, 2020).

In plants, the viral aggressiveness loss in adaptive response to the host is documented

### **COVID-19: Ómicron, comunicación y negocio.**

En este contexto, la nueva variante B.1.1.529 (Callaway, 2021), '*altamente transmisible y preocupante*' denominada 'Ómicron' por la OMS (WHO, 2021d), ha desencadenado reacciones globales alarmantes aun sin tener suficientes datos científicos y que además no es concordante con la lógica evolutiva expuesta. Es preocupante que se continúa sin modelos predictivos de emergencia, establecimiento y prevalencia de nuevas variantes en la estructura población de SARS-CoV-2. Modelos que hasta el momento no se han desarrollado a pesar del gran avance en genómica funcional y cuantitativa (<https://www.gisaid.org/hcov19-variants/>). Los mismos investigadores que reportaron la nueva variante expresaron sus dudas: '*It is also unclear whether the variant is more transmissible than Delta, says Moore, because there are currently low numbers of COVID-19 cases in South Africa*', también es necesario '*see what this virus does in terms of competitive success and whether it will increase in prevalence*' (Callaway, 2021).

Los impactos del anuncio de Ómicron han sido inmediatos en la economía global con caídas de bolsas internacionales, cancelación de vuelos desde el sur de África, especulaciones sobre la efectividad antigénica de vacunas actuales, etc. (EFE y AFP, 2021). Esto implica que poco se ha aprendido en la gestión de la pandemia actual (o convenientemente no se ha querido aprender), y que no hay estrategias de comunicación de riesgo efectivas a todos los niveles de toma de decisiones. También estimula los intereses comerciales de grandes empresas que presionan para su '*rescate*', ofreciendo a cambio '*apoyo, estabilidad y evolución a las cadenas de valor*' (Español, 2021; Fernández-Vega, 2021). Pero son las farmacéuticas las más beneficiadas.

AstraZeneca, Pfizer/BioNTech, Moderna y Novavax inmediatamente expresaron su capacidad para combatir a la variante Ómicron. Crear

with *Citrus tristeza virus*, which modified the predominance of severe variants with lethal effects (e.g., T36), present in the South American epidemic outbreak in the 1930's, with moderate asymptomatic variants (e.g., T30) during gradual and slow continental pandemic advance. Currently in Mexico, *Citrus tristeza virus* is asymptomatic with severe isolated outbreaks due to mobility of infected plants (Rivas-Valencia *et al.*, 2010; Rivas-Valencia *et al.*, 2008). These moderate viral variants circulate by *acquisition-injection* by at least four species of insect vectors (Hemiptera: Aphididae) (Loeza-Kuk *et al.*, 2008), potentially conferring 'cross-protection' against eventual infection of severe variants, as has been implicated in Spain and Florida (Harper and Cowell, 2016). This natural 'vaccine' in plants was first found in Brazil (Müller and Costa, 1977), which however, in this region requires artificial plants 'pre-immunization' and use of resistant rootstocks to reduce the effect of *Citrus tristeza virus* severe races (Rui Leite, IAPAR. Br. Personal Communication), which remain 'latent' in the virus population structure (Loeza-Kuk *et al.*, 2008).

**COVID-19: Pathogenicity and biology.** The previous sections proved that the pathogenicity and SARS-CoV-2 implications in epidemic processes must be understood in a community population environment for effective *prevention* and risk mitigation (Li *et al.*, 2021). The clinical pathogenicity currently studied with mice, hamsters, and Vero cells (Lee *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2021; Saito *et al.*, 2021) needs to be complemented with community epidemiological digital models to accelerate clinical understanding, natural and induced immune reaction (vaccines), and interrelated with chronic non-infectious diseases. Evolutionary studies of SARS-CoV-2 need to be strengthened for elucidating virulence,

una nueva vacuna sería 'muy rápido' (Afp y BBC, 2021). Funcionó la estrategia mediática. De inmediato el valor accionario de Pfizer y Moderna se dispararon en 6.4% y 27.5%, respectivamente. En la bolsa alemana, las acciones de BioNTech socio de Pfizer aumentaron en un 12% (Vivas, 2021). Irresponsablemente, se ejerce la cooptación de la sociedad con el fomento del miedo como recurso para oscuros intereses políticos y económicos. La pandemia como oportunidad de negocio, sin buscar la solución integral de raíz ante un *Sistema Público de Salud* desarticulado a nivel global y regional (CEPAL y OPS, 2021; Frenk, 2003). La misma OMS reconoce que el COVID-19 evidenció la necesidad de una nueva 'arquitectura sanitaria internacional...para predecir, prevenir, detectar, evaluar y responder eficazmente a las pandemias de forma sumamente coordinada' (WHO, 2021e).

#### **Epidemias y pérdida de agresividad patogénica.**

La pérdida de agresividad de los virus por largos procesos adaptativos al huésped está demostrada con los adenovirus de humanos (HAdV-), causantes de gripe común, los cuales podrían tener su ancestro en virus de primates no-humanos (NHAdV-), con alta especificidad y sin evidencias actuales de transmisibilidad-infectividad interespecífica (Bots y Hoeben, 2020). Este es un escenario análogo a la **Malaria** o **Paludismo** pero con los protozoarios *Plasmodium falciparum* y *P. vivax*, excepto que estos exhiben una variabilidad genética altamente restringida (Sharp *et al.*, 2020). Los adenovirus HAdV- se agrupan en seis especies (A-G) con una diversidad total de 103 tipos generados por procesos mutagénicos y recombinación homóloga (Robinson *et al.*, 2013). Su especificidad y relativa baja agresividad, incluso asintomática, aunque con algunas mutaciones letales (Robinson *et al.*, 2013), es la razón del uso de adenovirus, con replicación no-funcional o funcional, como vectores para la

aggressiveness, transmission, tissue tropism, and disease expression. Additionally, coronavirus phylogeography from animal source(s), identification of variable genomic regions that determine their adaptability to humans and generation of predictive genomic models is urgent given the active migration in the last 20 years of several coronaviruses, notably the PDCoV, HCoV-NL63, MERS-CoV, SARS-Co 2003, and SARS-CoV-2 (Lednicky *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2021; García-Ruiz *et al.*, 2021).

**Rust: Genetic diversity, movement and monoculture.** In *H. vastatrix*, the hypothesis that coevolution over millions of years with 124 coffee species must had a strong multilineage effect (*sensu* Jensen, Borlaug and Gibler) similar to concept of mixing F4-F5 Castillo genotypes, a composite cultivar, employed by FNC Colombia (Alvarado-Alvarado *et al.*, 2005), which resulted in a condition of low fungal-infectious prevalence (McCook, 2006). The selection and mobilization of *C. arabica*, and eventually of the fungus, by European colonizers between XVI and XVIII centuries (McCook, 2006), broken the original stabilizing effect. The cryptic sexuality of the fungus increased the risk, i.e., genetic exchange at the uredospore level in teliospores absence, which has been postulated as a specialization of *H. vastatrix* to *C. arabica* to ensure survival by producing more heterogeneous inoculum (Carvalho *et al.*, 2011). However, it is possible that the fungus had a slow geographical dissemination because it does not infect the seed, presumably used for germplasm mobilization (contrary to the potato tuber by *P. infestans*). It was not until coffee plants were successfully grown in large plantations that it became necessary to transport plants. For example, although coffee had already been introduced at the backyard garden level and

generación de vacunas contra SARS-CoV-2 (p.e., Johnson & Johnson y AstraZeneca) y con fines oncolíticos (Bots y Hoeben, 2020).

En plantas, la pérdida de agresividad viral en respuesta adaptativa al huésped está documentado con el *Citrus tristeza virus*, el cual modificó la predominancia de variantes severas con efectos letales (p.e., T36), presentes en el brote epidémico Sudamericano en los 30's, con variantes moderadas asintomáticas (p.e., T30) durante su gradual y lento avance pandémico continental. Actualmente en México, el *Citrus tristeza virus* es asintomático con brotes aislados severos por movilidad de plantas infectadas (Rivas-Valencia *et al.*, 2010; Rivas-Valencia *et al.*, 2008). Estas variantes virales moderadas circulan por *adquisición-inyección* mediada por al menos cuatro especies de insectos vectores (Hemiptera: Aphididae) (Loeza-Kuk *et al.*, 2008), pudiendo conferir '*protección cruzada*' contra la infección eventual de variantes severas, como se ha implicado en España y Florida (Harper y Cowell, 2016). Esta '*vacuna*' natural en plantas fue encontrada por primera vez en Brasil (Müller y Costa, 1977), la cual sin embargo, en esa región requiere '*pre-inmunización*' artificial de plantas y uso de patrones resistentes para reducir el efecto de razas severas del *Citrus tristeza virus* (Rui Leite, IAPAR. Br. Comunicación Personal), las cuales se mantienen '*latentes*' en la estructura poblacional del virus (Loeza-Kuk *et al.*, 2008).

**COVID-19: Patogenicidad y biología.** La evidencia de la sección previa demuestran que la patogenicidad de SARS-CoV-2 y su implicación en los procesos epidémicos debe ser comprendida en un entorno poblacional comunitario para una efectiva *prevención* y mitigación de riesgos (Li *et al.*, 2021). La patogenicidad clínica actualmente estudiada con ratones, hámsteres y células Vero (Lee *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2021; Saito *et al.*, 2021) requiere

leaves were consumed, between 1640 and 1796 the Dutch reintroduced coffee seedlings from Java, one of their coffee colonies, to Ceylon (Boyle, 2014), and the British continued doing so between 1865 and 1880 (McCook, 2006).

Ceylon as a British colony, now Sri Lanka, was the first region to successfully grow coffee extensively as a monoculture on soils deforested for that purpose (Figure 6A) (Sabaratnam, 2010). This agroforestry shift to monoculture, combined with a gradual increase in cultivated area, favored the spread of fungus, causing the first epidemic outbreak in 1869-1892 (Figure 1). The diverse forest niche of coffee plantations (Zewdie, 2003) was drastically altered by artificial one, phenologically uniform and spatially continuous plant populations, physically exposed, with poor micro-environmental regulation (e.g., leaf radiation, high diurnal variation of relative humidity and temperature), water stress, erosion and soil fertility loss. All this caused by deforestation, estimated in 100 thousand ha (Boyle, 2014; Reddy, 2003). It is not only the movement of crops and pest-pathogens out of the origin center. Another conditioning factor for epidemics clearly emerged, *agronomic and environmental management* as predisposing factors. This is equivalent to the risk factors intrinsic to human populations like overcrowding, malnutrition, physical exhaustion, lack of hygiene, etc., which characterized the communities affected by the **Black Death** and **Cholera** during the European industrial boom. Notoriously, the disease became known as 'Coffee Malaria', endemic in the XVII century suburban London, because of the plant weakening without causing death (McCook, 2006).

**Rust: Epidemic impact.** The fever to cultivate coffee, called '*coffee rush*' began in 1830 and peaked in 1870. Ceylon cultivated 111400 ha and

complementarse con modelos digitales epidemiológicos comunitarios para acelerar la comprensión clínica, reacción inmunológica natural e inducida (vacunas), e interrelacionada con enfermedades crónicas no infecciosas. Es necesario fortalecer estudios evolutivos del SARS-CoV-2 para dilucidar virulencia, agresividad, transmisión, tropismo tisular y expresión de la enfermedad. Adicionalmente, la filogeografía de coronavirus a partir de la fuente(s) animal, la identificación de regiones genómicas variables que determinan su adaptabilidad al humano y generación de modelos genómicos predictivos es urgente ante la activa migración en los últimos 20 años de varios coronavirus, destacándose el PDCoV, HCoV-NL63, MERS-CoV, SARS-Co 2003, y SARS-CoV-2 (Lednicky *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2021; García-Ruiz *et al.*, 2021).

**Roya: Diversidad genética, movimiento y monocultivo.** En *H. vastatrix*, se puede hipotetizar que su coevolución a través de millones de años con 124 especies de café tuvo un fuerte efecto multilínea (*sensu* Jensen, Borlaug y Gibler) similar al concepto de mezcla de genotipos F4-F5 Castillo, cultivar compuesto, empleado por la FNC Colombia (Alvarado-Alvarado *et al.*, 2005), lo que ocasionó una condición de baja prevalencia fungosa-infecciosa (McCook, 2006). La selección y movilización de *C. arabica*, y eventualmente del hongo, por colonizadores europeos entre los siglos XVI y XVIII (McCook, 2006), rompió este efecto estabilizador. El riesgo fue mayor por la sexualidad críptica del hongo, i.e., intercambio genético a nivel de uredosporas en ausencia de teliosporas, la cual se ha postulado como una especialización de *H. vastatrix* a *C. arabica* para asegurar su sobrevivencia produciendo mayor cantidad de inóculo heterogénico (Carvalho *et al.*, 2011). Sin embargo, es posible que el hongo tuviera una diseminación lenta porque no infecta la semilla, presuntivamente empleada para



exported 36 million kg in a year (746120 quintals) (Boyle, 2014). The disease reduced the area to 4600 ha (Reddy, 2003). Between 1869 and 1874 the disease had already been reported in southern India, and Sumatra, Java and Bencoolen in Indonesia, recognizing the epidemic capacity (Morris 1869). Ceylon, along with Brazil and Indonesia boasted the largest coffee production in 1860; but currently is ranked 35th in the world. The plantations loss in 15 years caused a radical change from *coffee* to *tea* consumption in England (Reddy, 2003; Schumann, 1991; Schieber, 1972). In 1824, the British introduced *tea* plants (*Camellia sinensis*) from China, a country that had already domesticated-cultivated and genetically improved the plant for almost 3000 and 1000 years, respectively (Pandey *et al.*, 2021; Meegahakumbura *et al.*, 2018), but it was not until 1867 that it was established as a crop in Ceylon. By 1893 it was exporting one million packets of *tea* and had displaced coffee completely. Unlike cultivated *C. arabica* (Scalabrin *et al.*, 2020), the *tea* plant exhibits high genetic variability in domesticated lineages with stocks of up to 5100 (China and India) and 20000 (Global) accessions, including natural or artificial hybrids, mainly derived from origin centers (Meegahakumbura *et al.*, 2018; Pandey *et al.*, 2021). This may explain the absence of high impact epidemic reports and incipient technological applications in etiology and control (Pandey *et al.*, 2021). Currently, Sri Lanka is the third-largest producer in the world.

**Rust: Marshall, late epidemic intervention.**

During the most intense **Rust** epidemic phase, in 1880 the English *cryptogamic botanist* H. Marshall Ward, a contemporary of Anton de Bary, was sent to Ceylon by the British colonial government to support ongoing research work (Figure 6C) (Vines, 1906; Morris, 1879). Eleven years earlier (November 1869), the *fungologist* MJ. Berkeley

la movilización del germoplasma (contrario al tubérculo de papa por *P. infestans*). Fue hasta que se logró cultivar plantas de cafeto en grandes plantaciones y se requirió transportar plantas. Por ejemplo, aunque ya se había introducido el café a nivel de jardines-traspatio y se consumían hojas, entre 1640 y 1796 los Holandeses reintrodujeron a Ceilán plántulas de café de Java, una de sus colonias cafetaleras (Boyle, 2014), y los Británicos lo continuaron entre 1865 y 1880 (McCook, 2006).

Ceilán ya como colonia británica, actualmente Sri Lanka, fue la primera región que tuvo éxito en el cultivo extensivo del café en condición de monocultivo sobre suelos deforestados para ese propósito (Figura 6A) (Sabaratnam, 2010). Este cambio agroforestal, a uno de monocultivo, combinado con un gradual incremento de la superficie cultivada, favoreció la dispersión y el *contagio* del hongo ocasionando el primer brote epidémico en 1869-1892 (Figura 1). Drásticamente se alteró el nicho forestal diverso del cafetal (Zewdie, 2003), por uno artificial, con poblaciones de plantas fenotípicamente uniformes y espacialmente continuas, físicamente expuestas, con pobre regulación microambiental (p.e., radiación foliar, alta variación diurna de humedad relativa y temperatura), estrés hídrico, erosión y pérdida de fertilidad de suelo. Todo esto causado por la deforestación, la cual se estimó en 100 mil ha (Boyle, 2014; Reddy, 2003). No es solo el movimiento de un cultivo y sus plagas-patógenos fuera del centro de origen. Emergió claramente otro factor condicionante para las epidemias, el *manejo agronómico y ambiental* como factores de predisposición. Esto equivale a factores de riesgo intrínsecos a poblaciones humanas como hacinamiento, desnutrición, agotamiento físico, ausencia de higiene, etc., que caracterizaron a las comunidades que padecieron la **Peste Negra** y **Cólera** durante el auge industrial europeo. Notoriamente, la enfermedad se llegó a conocer como la ‘Malaria

had already reported, from Ceylon plant specimens: ‘*it is not only quite new, but with difficulty referable to any recognized (sic) section of Fungi. Indeed it seems just intermediate between true moulds and Uredos ... We are obliged, therefore, to propose a new genus... Hemileia Berk. and Broome*’ (Figure 6B) (Berkeley, 1869). Although this report was taxonomic and did not involve pathogenicity studies, there was the infectious causation notion implied by de Bary in *P. infestans*, so microbiological causation was accepted. Furthermore, Berkeley suggested ‘*as the Fungus is confined under the surface of the leaves... it may be difficult to apply a remedy; but we should be inclined to try sulphur...*’. This recommendation was not assessed. Understandably, the pathogen did not spread beyond 1.5 ha in July 1869 (Morris 1879). In reality not much was known about parasitic mechanisms and there was not devastating epidemic history in coffee plantations. But more importantly, *prevention* did not exist as a comprehensible and applicable principle for a *spatially* delimited ‘pre-epidemic’ condition in focus condition. There was not notion that once an epidemic is *temporal* defined in a curve and reaches an exponential phase is impossible to stop the progress with *preventive* strategies (Figure 6C).

**Rust: Population, infection and flattening curves.** In **Rust**, as in **Cholera** and **Black Death**, high populations and overcrowding (i.e., monoculture) played a determining role as a *contagion* factor. Thus, as of few infected plants in May 1869, for ‘*1873 all, or nearly all, the estates in the island were attacked*’ and the yield reduction by disease went from a five-year average of 565 (1867-1871) to 364 kg ha<sup>-1</sup> (1872-1876), 36% loss (Morris, 1879; Morris, 1880). Interestingly, similar maximum loss level (31%) was found in 2014 at

del café’, endémica en el Londres suburbano del XVII, por el debilitamiento de la planta sin causar la muerte (McCook, 2006).

**Roya: Impacto epidémico.** La fiebre por cultivar café, llamada ‘*coffee rush*’, inició en 1830 y tuvo su auge en 1870. Ceilán llegó a cultivar 111400 ha y exportar 36 millones de kg en un año (746120 quintales) (Boyle, 2014). La enfermedad redujo la superficie a 4600 ha (Reddy, 2003). Entre 1869 y 1874 la enfermedad ya se había reportado en el sur de India, y Sumatra, Java y Bencoolen en Indonesia, reconociéndose su capacidad epidémica (Morris, 1869). Ceilán, junto con Brasil e Indonesia ostentaron la mayor producción de café en 1860; actualmente está en posición 35 mundial. La pérdida de plantaciones en 15 años provocó un cambio radical del consumo de *café* por *té* en Inglaterra (Reddy, 2003; Schumann, 1991; Schieber, 1972). En 1824, los británicos introdujeron plantas de *té* (*Camellia sinensis*) de China, país que ya había domesticado-cultivado y mejorado genéticamente la planta por casi 3000 y 1000 años, respectivamente (Pandey *et al.*, 2021; Meegahakumbura *et al.*, 2018), pero fue hasta 1867 que se estableció como cultivo en Ceylán. En 1893 ya se exportaba un millón de paquetes de *té* y había desplazado al café totalmente. A diferencia del *C. arabica* cultivado (Scalabrin *et al.*, 2020), la planta de *té* exhibe alta variabilidad genética en linajes domesticados con acervos de hasta 5100 (China e India) y 20000 (Global) accesiones, incluidos híbridos naturales o artificiales, principalmente derivados de los centros de origen (Meegahakumbura *et al.*, 2018; Pandey *et al.*, 2021). Esto puede explicar la ausencia de reportes epidémicos de alto impacto e incipientes aplicaciones tecnológicas en etiología y control (Pandey *et al.*, 2021). En la actualidad, Sri Lanka es el tercer productor mundial.

the highest epidemic intensity phase in Chiapas, México (G. Mora, CP-LANREF. Unpublished). Regional *large-scale* experimental approaches to rust control were promoted by the *Legislative Council of Ceylon*, generating in 1879 a set of recommendations combining *remedies*, plot and regional *prevention* measures (Figure 6C) (Morris, 1879). But it was too late. *Prevention* precedes an epidemic. ‘*Flattening*’ the curve, a recurrent term during the first and second COVID-19 pandemic waves (the term is now omitted), is not found in any historical epidemic process. The exponential *momentum* of an epidemic obeys biological principles that make it impossible to ‘*flatten*’ a curve without total elimination of the diseased population. It would imply an absolute interruption of the *contagion* chain. Coffee growers with diseased or abandoned plants thought of this (Figure 6C). It was never applied. It was still believed that ‘*where careful and intelligent cultivation is pursued they still offer a promising and attractive investment*’ (Morris, 1879).

**Rust: Pathogenic spread and Epidemiological System.** Marshall encountered a late epidemic scenario in 1880. Logically, he was unsuccessful in his mission to control the epidemic. His contribution was the biological mechanism of the disease in accordance with the *plant-pathogenic* approach of his contemporary de Bary. The development of plant and human epidemiology at this stage lacked of a formal scientific conceptual-methodological support. The *Epidemiological System*, i.e., *host, pathogen, climate, and management* (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a), a fundamental rational framework for understanding epidemics, emerged conceptually with E. A. Gäumann, in ‘*Principles of plant infection*’, a book published in 1946. Marshall, as a botanist, studied the fungus pathogenesis histologically, but

**Roya: Marshall, intervención epidémica tardía.** Durante la fase más intensa de la epidemia de **Roya**, en 1880 el ‘*criptogamic botanist*’ inglés H. Marshall Ward, contemporáneo de Anton de Bary, fue enviado a Ceilán por el gobierno colonial Británico para apoyar trabajos de investigación en desarrollo (Figura 6C) (Vines, 1906; Morris, 1879). Once años antes (Noviembre 1869), el ‘*fungologist*’ MJ. Berkeley ya había reportado, a partir de muestras vegetales de Ceilán: ‘*it is not only quite new, but with difficulty referable to any recognized (sic) section of Fungi. Indeed it seems just intermediate between true moulds and Uredos.... We are obligated, therefore, to propose a new genus... Hemileia Berk. and Broome*’ (Figura 6B) (Berkeley, 1869). Aunque este reporte fue taxonómico ya que no implicó estudios de patogenicidad, existía la noción de causalidad infecciosa implicada por de Bary en *P. infestans*, por lo que se aceptó la causa microbiológica. Más aun, Berkeley sugirió ‘*as the Fungus is confined under the surface of the leaves... it may be difficult to apply a remedy; but we should be inclined to try sulphur...*’. Esta recomendación no fue atendida. Era comprensible, el patógeno no tenía una dispersión más allá de 1.5 ha en julio 1869 (Morris 1879). En realidad, poco se sabía de sus mecanismos parasíticos y no se tenía un antecedente devastador epidémico en cafetales. Pero lo más importante, la *prevención* no existía como principio comprensible y aplicable para una condición ‘pre-epidémica’ *especialmente* delimitada en un foco(s). No se tenía la noción que cuando una epidemia esta *temporalmente* definida en una curva y alcanza su fase exponencial es imposible detener su velocidad con estrategias *preventivas* (Figura 6C).

**Roya: Población, contagio y aplanar curvas.** En la **Roya**, como en **Cólera** y **Peste Negra**, altas poblaciones y el hacinamiento (monocultivo) tuvo su rol determinante como un factor de *contagio*. Así,

proposed novel strategies to study the *disease cycle* through *in vivo* inoculations, and to infer *infection* from spore trapping in affected coffee plantations (Ayres, 2005). The non-experimental deduction of ‘*degeneration of the air*’ as an explanation for the ‘*contagiosis*’ of **Black Death** and other diseases proposed 254 years earlier by Girolamo Fracastoro (1546) was evidenced for first time with a fungus. Marshall inferred the epidemic as a product of inoculum released and dispersed by the wind: ‘*the air must sometimes have turned red on windy days*’. Understanding the *contagion* mechanisms is fundamental to developing mitigation strategies in any epidemic (Coria-Contreras *et al.*, 2015).

**COVID-19. Viral spread and ‘hygienism’.** As in **Rust** and many phytopathogens, with SARS-CoV-2 volumetric air suction traps has been used to detect the virus with molecular techniques (RT-qPCR). In public transportation it was proved the dispersion capacity of viral particles in saliva droplets, justifying wearing mask as a *preventive* measure (Moreno *et al.*, 2021). In the same study, and many others, the particles detection on surfaces justifies hand hygiene. The reluctance of these basic measures, paradoxically greater in developed countries, as well as the rejection of vaccination, is another evidence of deficient or limited risk communication approaches of the *Public Health Systems*, exacerbated in some countries, such as USA and Brazil, by negationist political leaders. The Austrian measures illustrate efforts to revert reluctance. With less than 66% of vaccination, the lowest in Western Europe, immersed in fourth epidemic wave and the new variant Omicron detection, will apply mandatory confinement and fines to people who reject vaccination against SARS-CoV-2 (Europa Press, 2021).

**Rust: Prevention and sanitation in Marshall.** With his mechanistic studies on **Rust**, H. Marshall

de algunas plantas infectadas en mayo 1869, en ‘*1873 all, or nearly all, the estates in the island were attacked*’ y la reducción productiva por la enfermedad pasó de un promedio quinquenal de 565 (1867-1871) a 364 kg ha<sup>-1</sup> (1872-1876), 36% pérdidas (Morris, 1879; Morris, 1880). Interesantemente, similar de nivel de pérdida máxima (31%) se encontró en 2014 en la fase de mayor intensidad epidémica en Chiapas (G. Mora, CP-LANREF. No publicado). Enfoques regionales de experimentación en ‘*large scale*’ para el control de la roya fueron impulsados por el ‘*Legislative Council of Ceylon*’, generándose en 1879 un conjunto de recomendaciones combinando ‘*remedies*’ y medidas de *prevención* parcelaria y regional (Figura 6C) (Morris, 1879). Pero ya era tarde. *Prevenir* precede una epidemia. ‘*Aplanar*’ la curva, un término recurrente durante la primera y segunda ola pandémica COVID-19 (ahora se omite el término), no se encuentra en ningún proceso epidémico histórico. El *momentum* exponencial de una epidemia obedece a principios biológicos que hace imposible ‘*aplanar*’ una curva sin la eliminación total de la población enferma. Implicaría una interrupción absoluta de cadenas de *contagio*. Lo pensaron los cafetaleros con plantas enfermas o abandonadas (Figura 6C). Nunca se aplicó. Aun se creía que ‘*where careful and intelligent cultivation is pursued they still offer a promising and attractive investment*’ (Morris, 1879).

**Roya: Dispersión patogénica y Sistema Epidemiológico.** Marshall encontró un escenario epidémico tardío en 1880. Lógicamente, no tuvo éxito en su misión de controlar la epidemia. Su aporte fue el mecanicismo biológico de la enfermedad acorde con el enfoque *planta-patógeno* de su contemporáneo de Bary. En esta etapa la epidemiología, vegetal o humana, aun no tenía un cuerpo conceptual-metodológico científico. El *Sistema Epidemiológico*, i.e., *huésped, patógeno, clima*, y



concluded that *prevention* was the only viable mitigation strategy: ‘... *Not the killing of the parasite in the infected leaves...but preventing its development by covering preventively the surface of the leaves with various substances capable or making spores lose their viability or, at least, impeding their germination*’. For the same ‘preventive’ aim he suggested ‘sanitization’, by removing and incinerating damaged tissue, and diseased plants (not really necessary since the pathogen is not systemic), and invigorating the plant with organic nutrition, a practice already done in Ceylon because of soil fertility loss caused by deforestation (Figure 6A). However, effective *prevention* precedes an epidemic. His mitigation strategies, 11 years after the onset of epidemic, were not effective. Consequently, Ward had pressure from coffee growers and politicians. He defended himself by claiming that *causality* was his purpose (Ayres 2005). Wrong then and now. Etiological approaches do not mitigate an epidemic. But that was a time when scientists were visible to society and perceived as saviors. Snow, Proust, Pasteur, Koch, Jenner, de Bary, proved it. Nowadays, under the SARS-CoV-2 threat, for politicians and media perspective, ‘heroes’ are the pharmaceuticals.

Etiology without the mechanism is limited for disease control. Marshall understood this. He established that *H. vastatrix* germination was his vulnerable phase for controlling infection and suggested applying foliar chemicals prior to germ tube emission. Once the infection process was initiated, he determined that control was ineffective. Sulfur and lime were his only options. The *Bordeaux mixture* was not yet invented (Ayres, 2005; Schumann, 1991). Another important conceptual contribution of Marshall was that ‘*the history of all great planting enterprises teaches us that he who undertakes to cultivate any plant continuously in open culture over large areas*

*manejo* (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a), marco racional fundamental para comprender epidemias, surgió conceptualmente con E. A. Gäumann, en ‘*Principles of plant infection*’, libro publicado en 1946. Marshall como botánico, estudió histológicamente la patogénesis del hongo, pero propuso estrategias novedosas para estudiar el *ciclo de enfermedad* mediante inoculaciones *in vivo*, e inferir el *contagio* a partir del trapeo de esporas en cafetales afectados (Ayres, 2005). La deducción no experimental de la ‘*degeneración del aire*’ como explicación de la ‘*contagiosis*’ de la **Peste Negra** y otras enfermedades propuesta 254 años antes por Girolamo Fracastoro (1546), se estaba demostrando por primera vez con un hongo. La epidemia como producto de inóculo liberado y dispersando por el viento: ‘*the air must sometimes have turned red on windy days*’. Comprender los mecanismos de *contagio* es fundamental para desarrollar estrategias de mitigación en toda epidemia (Coria-Contreras *et al.*, 2015).

#### COVID-19. Dispersión viral e ‘higienismo’.

Como en **Roya** y muchos fitopatógenos, con SARS-CoV-2 se usaron trampas volumétricas de succión de aire en sistemas de transporte público detectándose al virus con técnicas moleculares (RT-qPCR). Esto demuestra la capacidad de dispersión de partículas virales en gotículas de saliva justificando el empleo cubre bocas como medida *preventiva* (Moreno *et al.*, 2021b). En el mismo estudio, y en otros, la detección de partículas en superficies justifica la higiene de manos. La reticencia de estas medidas básicas, paradójicamente mayor en países desarrollados, al igual que el rechazo a la vacunación, es otra evidencia de la deficiente o nula comunicación de riesgos de los *Sistemas Públicos de Salud*, exacerbados en algunos países, como EUA y Brasil, por dirigentes políticos negacionistas. En este contexto, las medidas Austriacas muestran el esfuerzo para revertir la resistencia pública. Con menos

*must run the risk of epidemics*' (Zadoks and Koster, 1976). Thus, *extensive monoculture* was recognized as an epidemic predisposing factor for first time. In 1970, the classic epidemic of 'southern corn leaf blight' (*Bipolaris maydis*, syn. *Helminthosporium maydis*) in USA added another fundamental element: *Genetic uniformity* as the basis of crop vulnerability (Zadoks and Koster, 1976; Tatum, 1971). Extensive and genetically uniform population, which in essence represents the optimization of *contagion*, has become entrenched as an epidemiological dogma.

**Rust: Genetic uniformity, Green Revolution, Surveillance.** The uniform population is actually an anthropogenic attribute. The 'southern corn blight' epidemic, for example, dramatically highlighted the risk inherent in emphasis on monogenic or vertical genetic resistance, *sensu* Vanderplank, as the *curative* principle. It also represented the pre-eminently geneticist model failure of so-called *Green Revolution* as the unique and unequivocal model of modern agriculture (Cecon, 2008). Additionally, it evidenced the omission of 'seed' companies by emphasizing the genetic approach, reducing costs and time, and underestimating the mechanistic understanding of infectious processes and the generation of new fungus physiological races (Tatum, 1971). This is a strong analogy on current technological trend of pharmaceutical companies, and their competition to control the immunological market against SARS-CoV-2. That is, a partial but profitable solution.

The '*preventing*' purpose, but correctly applied in the outbreak condition, 'pre-epidemic' of **Coffee Rust**, based on the fungus infectious biology, was investigated for the coffee growing conditions in Mexico. The *preventive* principle underpinned the generation of automatic computerized algorithms to determine *regional early warnings*. The objective

del 66% de vacunación, la más baja de Europa occidental, inmersa en la cuarta ola epidémica y la detección de la nueva variante Omicrón, aplicará confinamiento obligatorio y multas a personas que rechacen la vacunación contra SARS-CoV-2 (Europa Press, 2021).

**Roya: Prevención y sanitización en Marshall.** Marshall, con sus estudios mecanísticos en la **Roya**, concluyó que la *prevención* era la única estrategia viable de mitigación: '*...Not the killing of the parasite in the leaves infected...but preventing its development by covering preventively the surface of the leaves with various substances capable or making spores lose their viability or, at least, impeding their germination*'. Con el mismo fin '*preventivo*' sugirió la '*sanitización*', mediante eliminación e incineración de tejido dañado y plantas enfermas (en realidad no necesario ya que el patógeno no es sistémico), y vigorizar la planta con nutrición orgánica, una práctica ya realizada en Ceylán por la pérdida de fertilidad de suelos causada por la deforestación (Figura 6A). Sin embargo, la *prevención* efectiva precede una epidemia. Sus propuestas a 11 años del inicio epidémico no eran efectivas. En consecuencia, tuvo la presión de cafetaleros y políticos. Ward se defendía aduciendo la *causalidad* como su propósito (Ayres 2005). Error antes y ahora. Una epidemia no se mitiga con enfoques etiológicos. Pero era la época en que los científicos se habían visibilizado ante la sociedad y esta los percibía como sus salvadores. Snow, Proust, Pasteur, Koch, Jenner, de Bary, así lo probaban. Actualmente, ante COVID-19, en la óptica política y mediática, los 'héroes' son las farmacéuticas.

La causa sin su mecanismo es limitado para el control. Marshall lo comprendió. Estableció que la germinación de *H. vastatrix* era su fase vulnerable para controlar la infección y sugirió aplicar sustancias químicas foliares previo a la emisión del tubo

was to timely detect local foci and ‘interrupt chains of *contagion*’ to *prevent* occurrence of temporal regional epidemics with high disease intensity. This *preventive* model, operated by sanitary authorities of the federal government, was implemented to mitigate the epidemic outbreak in Mexican coffee production areas that originally started in Central America in 2009 (Avelino *et al.*, 2015). A systemic-holistic *Epidemiological System* was the rational framework for establishing the *prevention* model applied to a National Epidemiological Surveillance Program (PVEF-Cafeto). This system was successfully used to control the epidemic outbreak of coffee **Rust** in 2013-2016 (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a).

**Coffee rust: Four epidemic events.** The global spread of *H. vastatrix* (McCook, 2006), has occurred in three stages: **1.** 1870-1920 in the Indian Ocean; **2.** 1950-1970 West Africa; and **3.** 1970-1990 America. Recently, a fourth epidemic process occurred in America with significant impact in Central America, 2009-present (Figure 1). The aggressively colonialist activity had a fundamental implication in the first stage due to merchant transport, military displacements, and the collapse of Ceylon coffee plantation, by coffee investors migration (the British *East India Company* was consolidated in this period as a facilitator of investments and trade), and the return of Hindu Tamil harvesters, which could have mobilized plants. It is documented that British botanical expeditions actively contributed to the movement of coffee plants and other vegetables (McCook, 2006; Reddy 2003; Morris, 1879). In addition to the anthropogenic role, the involvement of monsoon winds from Ethiopia has been hypothesized on the pathogen displacement; however, the spore is not aerodynamic and Ethiopian forest barriers would limit the wind effect as proven for the Soconusco, Chiapas region (JJ. Coria. CP-LANREF, 2014).

germinativo. Una vez iniciado el proceso de infección determinó que el control era ineficaz. El azufre y la cal fueron sus únicas opciones. El ‘*caldo bordelés*’ todavía no se inventaba (Ayres, 2005; Schumann, 1991). Otro importante aporte conceptual de Marshall fue que ‘*the history of all great planting enterprises teaches us that he who undertakes to cultivate any plant continuously in open culture over large areas must run the risk of epidemics*’ (Zadoks y Koster, 1976). Así, se reconoció por primera vez el *monocultivo extensivo* como factor de predisposición epidémica. En 1970, la clásica epidemia del ‘tizón sureño del maíz’ (*Bipolaris maydis*, sin. *Helminthosporium maydis*) en EUA, adicionó otro elemento fundamental. La *uniformidad genética* como base de la vulnerabilidad de los cultivos (Zadoks y Koster, 1976; Tatum, 1971). La población extensiva y genéticamente uniforme, que en esencia representa la optimización del *contagio*, se ha arraigado como un dogma epidemiológico.

**Roya: Uniformidad genética, Revolución Verde, vigilancia.** La población uniforme es en realidad un atributo antropogénico. Por ejemplo, la epidemia del ‘tizón sureño del maíz’, evidenció dramáticamente el riesgo inherente al énfasis en la resistencia genética monogénica o vertical, *sensu* Vanderplank, como principio *curativo*. También representó el fracaso del modelo preeminentemente genetista de la llamada *Revolución Verde* como modelo único e inequívoco de la agricultura moderna (Cecon, 2008). Adicionalmente, demostró la omisión de empresas ‘semilleras’ al enfatizar el enfoque genético, reduciendo costos y tiempo, y subestimando la comprensión mecanística de procesos infecciosos y la generación de nuevas razas del hongo (Tatum, 1971). Analogía contundente en la tendencia tecnológica actual de farmacéuticas en su carrera por acaparar el mercado de inmunológicos contra SARS-CoV-2. Soluciones parciales pero rentables.

Unpublished data). The second and third dispersal stages may have been mainly due to the movement of varieties or germplasm for new commercial coffee varieties, establishment or varietal reconversion of plantations, activities that continue to the present (CIFC, 2021).

**Rust: Climate in the fourth epidemic and zoonoses.** The current **Rust** epidemic outbreak in America, although with possible involvement of active movement of harvesting crews between countries, is mainly attributable to the displacement of the thermal threshold required for *H. vastatrix* infection, and other pathogens, accumulating a greater favorable hours number (NHF) for spores germination and infection (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Mora-Aguilera *et al.*, 2014a). This is due to sustained global temperature increase since the Industrial Revolution, which is estimated at 2.9 - 3.4 °C by 2050 in absence of corrective actions. Evidence on *Hemileia - Coffea* indicates that climate change may have fundamental implications on emergence and re-emergence of contemporary epidemics in humans, animals and plants.

Infective processes are more sensitive to climate variations at the micro-environmental level, which explain several regional epidemic events. This justifies the routinely inclusion of climate variables measurement and automatic NHF calculation for biological risk monitoring in coffee growing regions and other crops (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). In addition, climatic disturbances will also have a strong impact on cultivated plants. Recent research has proved the risk of native coffee plant diversity reduction. It is projected that 50% of the 124 species could disappear by 2088 (Davis *et al.*, 2019; Moat *et al.*, 2019; Rodríguez, 2019). The highest damage would be for *C. arabica*, the most cultivated species for cup quality, due to restricted genetic variation in native and cultivated plants (Scalabrin *et al.*, 2020). This would limit adaptive

El propósito ‘*preventing*’, pero correctamente aplicado en condición de foco, ‘pre-epidémico’ de **Roya del Cafeto**, fundamentado en la biología infectiva del hongo, fue investigado para las condiciones cafetaleras de México. El principio *preventivo* fundamentó la generación de algoritmos computarizados automáticos para determinar *alertas tempranas regionales*. El objetivo fue detectar oportunamente focos locales de infección e ‘interrumpir cadenas *contagio*’ para *prevenir* la ocurrencia de epidemias temporales regionales de alta intensidad. Este modelo *preventivo*, operado por el gobierno federal (ONPF), se implementó para mitigar el brote epidémico en áreas mexicanas de producción de café iniciado en Centroamérica en 2009 (Avelino *et al.*, 2015). Un *Sistema Epidemiológico* sistémico-holístico fue el marco racional para establecer el modelo de *prevención* aplicado a un Programa Nacional de Vigilancia Epidemiológica (PVEF-Cafeto). Con este sistema se logró el control del brote epidémico de la **Roya** entre 2013-2019 (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a).

**Roya del cafeto: Cuatro eventos epidémicos.** La dispersión global de *H. vastatrix* (McCook, 2006), ha ocurrido en tres etapas: **1.** 1870-1920 en la cueca de Océano Índico; **2.** 1950-1970 Oeste de África; y **3.** 1970-1990 América. Recientemente, un cuarto proceso epidémico se presentó en América con mayor impacto en Centroamérica, 2009-presente (Figura 1). La actividad agresivamente colonialista tuvo una implicación fundamental en la primera etapa por transporte mercante y desplazamiento militar, y ante el colapso de la cafeticultora de Ceilán, por migración de inversionistas cafetaleros (la británica *East India Company* se consolidó en este periodo como facilitador de inversiones y comercio), y retorno de cosechadores hindúes Tamiés, los cuales podrían haber movilizado plantas. Está documentado que expediciones botánicas británicas contribuyeron activamente al movimiento de



plasticity and implicitly resilience to increased pathogen (and pest) inoculum density, as apparently occurred with *H. vastatrix*. In a wider vision of anthropogenic effect on climate, deforestation (historically linked to coffee cultivation in several countries) (Figure 6A), urban pressure on rural areas, and unsustainable agricultural practices could be implicated in zoonotic diseases recurrent occurrence in humans by affecting the natural animal's niches (Rulli *et al.*, 2021; Lawler *et al.*, 2021).

#### **Rust: Epidemic impact and 'Health Systems'.**

Local and transboundary migration, food security problems and increased diseases in coffee-growing communities as a consequence of coffee production losses, estimated at 10-55%, were **Rust** epidemic outbreak effects in Central America (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Lynch, 2019; Ruiz-de-Oña *et al.*, 2019; Cerda *et al.*, 2017). Colombia and Brazil, countries with better infrastructure and production technology, including programs to generate resistant varieties against *H. vastatrix*, nematodes, drought, frost, etc. as the **preventive** model basis were the least affected. This would be expected from a functional 'Health System', with cutting-edge research lines to support medium and long-term productive planning, including adaptive projections of imminent climate change (Alvarado-Alvarado *et al.*, 2005; Embrapa, 2021). On the other hand, a dysfunctional 'Health System' had the predictable consequences for the rest of coffee-growing countries. The same global lesson for the current SARS-CoV-2 health crisis with a generalized and individualized **curative** model in detriment of community **prevention** and the absence of modern and effective *Surveillance Systems*.

#### **Pathogen mutation and COVID-19 vaccination.**

The **Coffee rust** epidemic continues in Central

plantas de café y otros vegetales (McCook, 2006; Reddy 2003; Morris, 1879). En adición al rol antropogénico, se ha hipotetizado la implicación de vientos monzónicos desde Etiopía; sin embargo, la espora no es aerodinámica y las barreras forestales etíopes limitarían el efecto del viento como se comprobó para la vertiente del Soconusco, Chiapas (JJ. Coria. CP-LANREF, 2014. Datos no publicados). La segunda y tercera etapa dispersiva pudo deberse principalmente al movimiento de variedades o germoplasmas para generación de variedades comerciales de café, establecimiento o reconversión varietal de plantaciones, actividades que continúan hasta el presente (CIFC, 2021).

#### **Roya: Clima en la cuarta epidemia y zoonosis.**

El actual brote epidémico de **Roya** en América, aunque con posible implicación del movimiento activo de cuadrillas de cosechadores entre países, es atribuible principalmente al desplazamiento del umbral térmico requerido para la infección de *H. vastatrix*, y de otros patógenos, acumulando un mayor número de horas favorables (NHF) para la germinación e infección de esporas (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Mora-Aguilera *et al.*, 2014a). Esto se debe al sostenido incremento de temperatura global a partir de la Revolución Industrial, la cual se estima en 2.9 - 3.4 °C para 2050 en ausencias de acciones correctivas. Las evidencias con *Hemileia - Coffea* indican que el cambio climático podrá tener un efecto fundamental en la emergencia y reemergencia de epidemias contemporáneas en humanos, animales y plantas.

A nivel microambiental, los procesos infecciosos son más sensibles a variaciones de clima lo que explica diversos eventos epidémicos a nivel regional. Esto justifica la inclusión rutinaria de medición de variables de clima y el cálculo automático NHF para monitoreo de riesgos biológicos en regiones cafetaleras y otros cultivos (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). Adicionalmente, alteraciones climáticas

America. Lempira (2017) and Costa Rica (2018) varieties, previously resistant to *H. vastatrix*, lost their resistance due to high population pressure of the fungus resulting in new races (World Coffee Research, 2021; 2017). This is equivalent to the gradual effectiveness loss of current SARS-CoV-2 vaccines upon successive epidemic waves that increase the likelihood of successful prevalent mutations (Afp y Reuters, 2021).

The genetic variability of an infectious agent is related to short infection cycles, high infection frequency, infection rate, and incidence in the host population structure. But it is also determined by the mutagenic pressure of control measures; in the case of **Coffee rust**, the genetic pressure of resistant varieties, and in potato **Late Blight**, fungicides. SARS-CoV-2 behaves like any other biological agent, enhanced by a human immune system that has not yet co-evolved with the pathogen for a long time. Surprisingly, SARS-CoV-2 has evidenced mutagenic capacity in a short time, possibly due to the global infectious synchrony in a population highly heterogeneous in risk factors and triggers, including ethnic status (Álvarez-Maya *et al.*, 2021).

In the current scenario, the genomic revolution has been determinant in rapidly identifying the SARS-CoV-2 variants emergence (<https://www.gisaid.org/>). The ‘*of concern*’ variants of epidemic impact have emerged predominantly from countries with high epidemic intensity, spreading rapidly to more than 100 countries: GB (Alpha-2020), South Africa (Beta-2020), Brazil (Gamma-2020), and India (Delta-2020). Other variants of epidemic ‘*interest*’ have a local status in Peru (Lambda-2020) or Colombia (Mu-2021), or are of concern for their high genetic variation, such as Omicron reported in South Africa on 26 November (2021) and already present in 34 countries (<https://www.gisaid.org/>). These variants affect diagnostic protocols, clinical treatments, and the vaccines effectiveness (WHO, 2021c).

también tendrán fuerte impacto en plantas cultivadas. Investigaciones recientes han demostrado el riesgo reductivo de la diversidad nativa del café. Se proyecta que 50% de las 124 especies podrían desaparecer para 2088 (Davis *et al.*, 2019; Moat *et al.*, 2019; Rodríguez, 2019). El mayor daño sería para *C. arabica*, la especie más cultivada por calidad en taza, debido a su restringida variación genética en plantas nativas y cultivadas (Scalabrin *et al.*, 2020). Esto limitaría su plasticidad adaptativa e implícitamente su resiliencia a un incremento de densidad de inóculo en patógenos (y plagas), como aparentemente ocurrió con *H. vastatrix*. En una visión más amplia del efecto antropogénico sobre el clima, la deforestación (históricamente vinculada al cultivo de café en varios países) (Figura 6A), presión urbana sobre áreas rurales, y prácticas agrícolas no sustentables podrían estar implicados en la recurrente ocurrencia de enfermedades zoonóticas en humanos al afectar los nichos ecosistémicos de animales (Rulli *et al.*, 2021; Lawler *et al.*, 2021).

**Roya: Impacto epidémico y ‘Sistemas de Salud’.** Migración local y trasfronteriza, problemas de seguridad alimentaria e incremento de enfermedades en comunidades cafetaleras como consecuencia de pérdida productiva de café, estimadas entre 10 - 55%, fueron los efectos del brote epidémico de **Roya** en Centroamérica. (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Lynch, 2019; Ruiz-de-Oña *et al.*, 2019; Cerda *et al.*, 2017). Colombia y Brasil, países con una mejor infraestructura y tecnología productiva, incluyendo programas para generar variedades resistentes contra *H. vastatrix*, nematodos, sequías, heladas, etc. como base de un modelo **preventivo** fueron los menos afectados. Esto se esperaría de un ‘*Sistema de Salud*’ funcional, con líneas de investigación de vanguardia para sustentar la planeación productiva de mediano y largo plazo, incluyendo proyecciones adaptativas ante el inminente cambio climático (Alvarado-Alvarado *et al.*, 2005; Embrapa,

While genetic variability is intrinsic to the adaptive biological capacity of the virus, limiting mutagenic capacity is possible by restricting mass infectious processes through the widespread application of SARS-CoV-2 vaccines. This has not occurred. It has been repeatedly argued that inequitable distribution of vaccines may prolong the pandemic and increase the new variants risks. South Africa, the source of 2/5 of epidemic concern variants, has 25% of population vaccinated, compared to 5% in continental Africa (UN, 2021). A contrast with developed countries that on average have 65% of population with at least one dose against all the rest that exhibits 7% (Afp, 2021e). Anthropogenic actions can not only operate against nature, conditioning the humans, plants, and animals epidemics, but also against itself.

## 5. THE EPIDEMICS AND PANDEMICS IN HISTORY

**Epidemios, population and surveillance in Hippocrates.** The concept of epidemic (*epidemios* = *epi* + *demos*), etymologically understood as *that which is over a population*, is first attributed to Homer in the *Odyssey* (600 B.C) in reference to a *person who is in his country*. Thus not in a disease context (Martin and Martin-Granel, 2006). It was Hippocrates in his book '*Of the epidemics*' (Hippocrates, 400 B.C), who refers to clinical syndromes in different localities in Greece with respect to a *population (people)*. For example: '*In Thasus...the whole season being wet, cold, and northerly, people (ed. demos) were, for the most part, healthy during winter; but early in the spring very many, indeed, the greater part, were valetudinary. At first ophthalmies set in, with rheums, pains, unconcocted discharges, small concretions...*'. Note that Hippocrates establishes the associativity of the *healthy* and *sick* condition (*rheums, pain, etc.*) with *space (Thasus)*, *time*

(2021). En contraparte, un '*Sistema de Salud*' disfuncional tuvo las consecuencias previsibles para el resto de países cafetaleros. Misma lección global ante la actual crisis sanitaria por SARS-CoV-2 con un generalizado modelo *curativo* individualizado en detrimento de la *prevención* comunitaria y con ausencia de *Sistemas de Vigilancia* modernos y efectivos.

**Mutación de patógenos y vacunación COVID-19.** La epidemia de **Roya del cafeto**, continúa en Centroamérica. La variedad Lempira (2017) y Costa Rica (2018), previamente resistentes a *H. vastatrix*, perdieron su resistencia debido a la alta presión poblacional del hongo derivando en la emergencia de nuevas razas (World Coffee Research, 2021; 2017). Esto es equivalente a la pérdida gradual de efectividad de las vacunas actuales contra SARS-CoV-2 ante 'olas epidémicas' que aumentan la probabilidad de mutaciones exitosas prevalentes (Afp y Reuters, 2021).

La variabilidad genética de un agente infeccioso está en directa proporción de ciclos cortos de infección, alta frecuencia de infección, tasa de *contagio*, e incidencia en la estructura poblacional del huésped. Pero también, está determinada por la presión mutagénica de medidas de control; en el caso de la **Roya del cafeto**, la presión génica de variedades resistentes, y en el **Tizón tardío** de la papa, fungidas. SARS-CoV-2 se comporta como cualquier agente biológico incentivado por el sistema inmunológico del humano que no ha 'coevolucionado' con el patógeno por largo tiempo. Sorprendentemente, en poco tiempo ha evidenciado su capacidad mutagénica, posiblemente por la sincronía global infecciosa en una población altamente heterogénea en factores de riesgo y desencadenantes, incluyendo condición étnica (Álvarez-Maya *et al.*, 2021).

En el escenario actual, la revolución genómica ha sido fundamental para identificar con rapidez la

(during winter, early spring) and **population** (people), fundamental rational frameworks of any epidemic process (Hippocrates, 400 B.C).

More interestingly, the *prevention* and *cure* (*protection*) principles underlie Hippocrates's early descriptions of epidemiology. *Surveillance* of the *healthy* condition (*healthy during winter*) is the basis of *prevention*, as *sick* or clinical (*early in spring... were valetudinary*) is of *cure*. This is the structural flaw of current epidemiology focused on damage/disease curve (Figure 7), and intrinsically in the adoption of *curative* principle as a mitigation strategy. The analytical limitation of COVID-19 epidemic curves and the absence of *preventive* surveillance have been documented during the development of this paper. Epidemiology is not the record of epidemic data. Records only describe its temporal progress, which is valuable, but does not allow the development of mechanistic ideas (Zadoks, 1976).

Hippocrates employed **epidemios** as an adjective to refer to an established (*preveiled*) or *'circulating'* disease condition in the population in connection with the environment: *'In this state of things, during winter, paraplegia set in, and attacked many, and some died speedily; and otherwise the disease prevailed much in an epidemical (Greek ed. 'epidemios') form'* (Hippocrates, 400 B.C). The differentiation of a sporadic epidemic process, i.e., diseases that visit the population (**epidemeion** = **epidemic**), from established one, diseases that reside (**endemion** = **endemic**), implies that Hippocrates maintained constant health surveillance in the population. For this community health view, some consider Hippocrates as epidemiology's father; others identify him as the first epidemiologist. Undoubtedly, he was the founder of medicine under the presumption of a physical and rational causality, an ethical practice *'Hippocratic Oath'* and his humanistic vision, today so questioned by

emergencia de variantes de SARS-CoV-2 (<https://www.gisaid.org/>). Las variantes *'preocupantes'* de impacto epidémico han emergido predominantemente de países con alta intensidad epidémica dispersándose rápidamente a más de 100 países: GB (Alfa-2020), Sudáfrica (Beta-2020), Brasil (Gamma-2020) e India (Delta-2020). Otras variantes de *'interés'* epidémico, tienen una condición local en Perú (Lambda-2020) o Colombia (Mu-2021), o preocupan por su alta variación genética, como Ómicron reportada en Sudáfrica el 26 de noviembre (2021) y presente en 34 países (<https://www.gisaid.org/>). Estas variantes afectan los protocolos de diagnóstico, tratamientos clínicos y la efectividad de vacunas (WHO, 2021c).

Si bien la variabilidad genética es intrínseca a la capacidad biológica adaptativa del virus, limitar su capacidad mutagénica es posible restringiendo los procesos infecciosos masivos mediante la aplicación generalizada de inmunizantes contra SARS-CoV-2. No ha ocurrido. Se ha planteado reiteradamente que la distribución inequitativa de vacunas puede prolongar la pandemia y aumentar los riesgos de nuevas variantes. Sudáfrica, origen de 2/5 variantes de interés epidémico, tiene 25% de población vacunada, mientras que a nivel de África continental es del 5% (ONU, 2021). Un contraste con países desarrollados que en promedio tienen 65% de la población con al menos una dosis, contra el resto del mundo menos desarrollado que exhibe el 7% (Afp, 2021e). Las acciones antropogénicas no solo pueden operar contra la naturaleza, condicionando las epidémicas de humanos, plantas, y animales, sino también contra sí mismo.

## 5. LOS EPIDEMIA Y PANDEMIA EN LA HISTORIA

**Epidemios, población y vigilancia en Hipócrates.** El concepto de epidemia (**epidemios** = *epi* + *demos*), etimológicamente entendida como *lo*



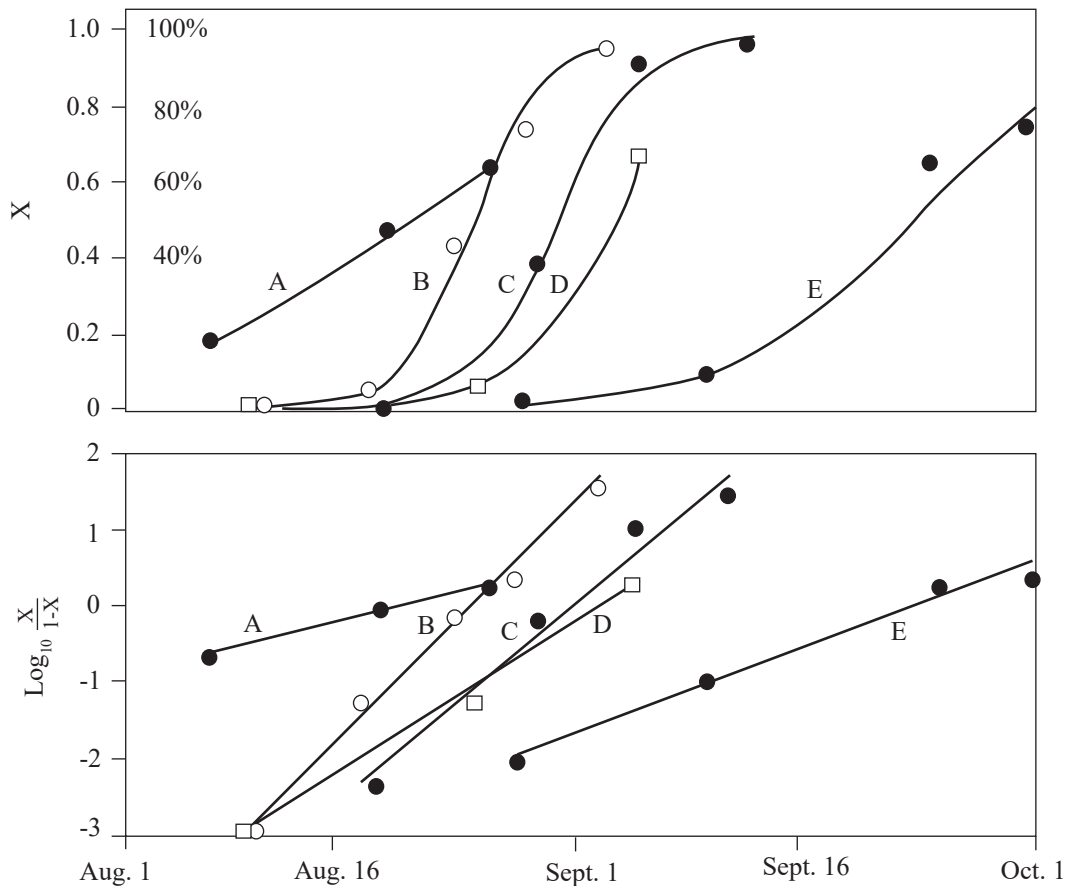


Figure 7. Progress of blight on potatoes caused by *Phytophthora infestans*. Top half shows the increase of  $x$  and bottom half the increase of  $\log_{10} [x/(1-x)]$ . Source: Vanderplank, 1963.

Figure 7. Progreso del tizón en la papa causado por *Phytophthora infestans*. La mitad superior muestra el aumento de  $x$ , y la mitad inferior el aumento de  $\log_{10} [x/(1-x)]$ . Fuente: Vanderplank, 1963.

mercantile emphasis of health: ‘*wherever the art of Medicine is loved, there is also a love of Humanity*’ (Hippocrates 460-370 B.C.).

The original concept *epidemios* has evolved in semiotic terms for more than 2500 years, configuring complementary conceptual terms in accordance with the epidemiology scientific development. From adjective *epidemios* the noun ‘*epidemic*’ was generated, and in the second half of XIX century the terms *epidemiology*, *epidemiological* and *epidemiologist* emerged from French *épidémiologie*

*que está sobre una población*, se atribuye por primera vez a Homero en la *Odisea* (600 a.C.) para referirse a *persona que está en su país*, no en un contexto de enfermedad (Martin y Martin-Granel, 2006). Fue Hipócrates en su libro ‘*Of the epidemics*’ (Hippocrates, 400 a.C) quien hace referencia a síndromes clínicos en diferentes localidades de Grecia respecto a una *población (people)*. Por ejemplo: ‘*In Thasus...the whole season being wet, cold, and northerly, people (ed. demos) were, for the most part, healthy during winter; but early*

(1855), *épidémiologique* (1878), *épidémiologiste* (1896) (Martin and Martin-Grauel, 2006).

**Pandemios, Pandemick and dimensionality.** The term *pandemios* also had origin in ancient Greece, outside the medical connotation, to refer 'the public' 'that which concerns all people' (<https://bit.ly/3moj9Nj>). However, it was not until the XVII century that term '*pandemick*' was associated with a 'vernacular' disease in humans (Morens *et al.*, 2021). The context suggests the regional occurrence of a disease. The scalability of an epidemic process to pandemic was actually possible until urban development, commercial trade and tourist mobility, reached high population interaction favorable to *contagion*. This scenario reached with the Industrial Revolution boom and **Black Death, Spanish Flu** and seven recurrent epidemic outbreaks of **Cholera** (1817 to 1961). Given the laxity in the concept application, historical recognized pandemic varies. For example, **Cholera** outbreak of 1831-1832 is recognized as the first pandemic but geographical spread only included Europe and Asia (Morens *et al.*, 2021; Piret y Boivin, 2019). Other authors, with a more global criterion, consider the **Spanish Flu**. This disease impacted in the span of one year (1918-1919) in most continents in accordance with the increased human mobility and First World War troop movements. With the geographic, and massive effect on population criterion, 19 disease pandemics have been reported in history (Figure 1) (Piret and Boivin, 2019).

Pandemic characterization in plant diseases has also had an imprecise connotation, but coincides in global spread (Figure 1). However, there is not any case of global plant pandemic associated with a synchronous infective process (Figure 1). Comparatively, plant epidemics exhibit slow geographic dispersal from initial outbreak or focus and may even be restricted to one region due to

*in the spring very many, indeed, the greater part, were valetudinary. At first ophthalmies set in, with rheums, pains, unconcocted discharges, small concretions...*'. Notar que Hipócrates establece la asociatividad de la condición *sana* (*healthy*) y *enferma* (*rheums, pain, etc.*) con el *espacio* (*Thasus*), *tiempo* (*during winter, early spring*) y *población* (*people*), marcos racionales fundamentales de todo proceso epidémico (Hippocrates, 400 a.C).

Más interesante aun, los principios de *prevención* y *curación* (*protección*) subyacen en las descripciones primigenias de la epidemiología en Hipócrates. La *vigilancia* de la condición *sana* (*healty during winter*) es la base de la *prevención*, como la *enferma* o clínica (*early in spring...were valetudinary*) es de la *curación*. Esta es la falla estructural de la epidemiología actual enfocada en la curva del daño/enfermedad (Figura 7), e intrínsecamente en la adopción del principio *curativo* como estrategia de mitigación. La limitación analítica de curvas epidémicas COVID-19 y la ausencia de una *vigilancia preventiva* se han documentado durante el desarrollo de este documento. La epidemiología no es el registro de la epidemia. Los registros solo describen su progreso temporal, valioso, pero no permite el desarrollo mecanístico de ideas (Zadoks, 1976).

Hipócrates empleó *epidemios* como un adjetivo para referirse a una condición de enfermedad establecida ('*preveiled*') o que 'circula' en la población en conexión con el ambiente: '*In this state of things, during winter, paraplegia set in, and attacked many, and some died speedily; and otherwise the disease prevailed much in an epidemical (ed. 'epidemios' en griego) form*' (Hippocrates, 400 a.C). La diferenciación de un proceso epidémico esporádico, i.e., enfermedades que visitan a la población (*epidemeion = epidemia*), de uno establecido, enfermedades que residen (*endemion = endemia*), implica que Hipócrates mantenía constante

host population topology factors: **1.** Population discontinuity in time determined by annual crops, or by seasonality of phenology events, abruptly interrupting *infection-contagion* processes; **2.** Spatial population discontinuity due to specificity of edaphoclimatic conditions required for a crop, diversity of cultivated species, and/or varietal genetic heterogeneity in a region; **3.** The population is intrinsically *fixed* or *immobile* and depends on the environment or anthropogenic factors for the inoculum mobility. **4.** There are regulatory and trade restrictions that *prevent* the transboundary movement of plants, products and/or subproducts by requiring a *certificate* or '*phytosanitary passport*' recognized by World Trade Organization (WTO) and regional trade agreements. This is analogous to COVID-19 *health* or *vaccination passport*, already required by some countries, but not accepted, and considered by the WHO as discriminatory. Indeed, this system, although effective in restricting the mobility of pathogens (and pests), in certain cases, has been used for protectionist purposes in agriculture (Sputnik *et al.*, 2021).

**Pandemic, conceptual precision.** The concept of *pandemic*, previously presented, can be defined as an '*epidemic process of synchronous occurrence, in the life time of the host and at an intercontinental or continental space, with respect to a functional relation of contagion from an identifiable primary source of the infectious agent, resulting in multiple sub-epidemic processes whose structures are determined by the Epidemiological System specific to a regional community cluster*'. This definition has been restricted to pathogens but can be extended to other biotic agents (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). In plants, a synchronous *contagion* process at the continental level is more expected. For example, **CLas-Citrus spp.**, has progressed gradually in America from 2009 to the present since the detection

vigilancia de la salud en la población. Por esta visión comunitaria de la salud, algunos consideran a Hipócrates como el padre de la epidemiología; otros lo identifican como el primer epidemiólogo. Sin duda, fue el fundador de la medicina bajo la presunción de una causalidad física y racional, una práctica ética '*Juramento de Hipócrates*' y su visión humanística, hoy tan cuestionada por el énfasis mercantil de la salud: '*wherever the art of Medicine is loved, there is also a love of Humanity*' (Hipócrates 460-370 a.C.).

El concepto original *epidemios* ha evolucionado en términos semióticos por más de 2500 años configurando términos conceptuales complementarios acordes con el desarrollo científico de la epidemiología. A partir del adjetivo *epidemios* se generó el sustantivo '*epidemia*' y en la segunda mitad del siglo XIX emergieron los términos *epidemiología*, *epidemiológica(o)* y *epidemióloga(o)* a partir del francés *épidémiologie* (1855), *épidémiologique* (1878), *épidémiologiste* (1896) (Martin y Martin-Granel, 2006).

**Pandemios, Pandemick y dimensionalidad.** El término *pandemios* también tuvo su origen en la Grecia antigua, fuera de la connotación médica, para referirse a '*lo público*' '*lo que concierne a todas la gente*' (<https://bit.ly/3moj9Nj>). Sin embargo, fue hasta el siglo XVII que se asoció el término '*pandemick*' con una enfermedad '*vernácula*' en humanos (Morens *et al.*, 2021). El contexto sugiere la ocurrencia regional de una enfermedad. La dimensionalidad del proceso epidémico como característica pandémica en realidad fue posible hasta que el desarrollo urbano, movilidad comercial y turística alcanzaron un nivel de interacción poblacional favorable al *contagio*. Este contexto se tuvo a partir del auge de la Revolución Industrial y la **Peste Negra**, **Gripe Española** y siete brotes epidémicos recurrentes de **Cólera** (1817 a 1961).

in Brazil (Figure 1). Thus synchrony operates over a time period of  $n$ -productive cycles of the host. In humans, as has been evidenced with SARS-CoV-2, this process has been multi-continental, but can also involve one or more continents as occurred with several historical epidemics, e.g., **Cholera** or **Black Death**, and recently with Influenza A H1N1 (WHO, 2021f).

As the ‘directing and coordinating authority for global health action’ of the UN, the WHO is empowered to determine a pandemic status from a ‘*disease outbreak*’ or health emergency. However, its guidelines have been ambiguous or limited for specific cases (Morens *et al.*, 2021). Thus, the WHO defines ‘*Pandemic: increased and sustained transmission in general population*’, in the context of a multistage strategy to direct actions of *Public Health Systems* with respect to influenza (WHO, 2005). In another definition, the same organization establishes that a pandemic is ‘*The worldwide spread of a new disease*’. In contrast, the International Association of Epidemiology defines it as ‘*An epidemic occurring worldwide, or over a very wide area, crossing international boundaries and usually affecting a large number of people*’ (IEA, 2021; Porta, 2014).

The *pandemic* definition must differentiate the strict epidemiological criterion from one inherent to justify the development and management of global public health policies as corresponds to the WHO. Thus, epidemiologically, the WHO definition that ‘*a pandemic agent must be infectious, must be new, must spread easily, and must cause serious illness*’ is not valid (Morens *et al.*, 2021). In any country, for quantitative purposes required to an *Epidemiological Surveillance System*, the potential scalability of an epidemic constitutes one of  $n$ -risk factors, and the official declaration of an outbreak, emergency or pandemic should not impact the structure and conception of a risk model (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; 2021b).

Ante la laxitud en la aplicación del concepto (Morens *et al.*, 2021; Piret y Boivin, 2019), los reportes pandémicos son variables. Por ejemplo, el brote de **Cólera** de 1831-1832, es reconocida como la primera pandemia pero su dispersión geográfica incluyó Europa y Asia (Morens *et al.*, 2021). Otros autores, con un criterio más global, consideran a la **Gripe Española**. Esta enfermedad impactó en un año (1918-1919) en la mayoría de los continentes en concordancia con la mayor movilidad humana y el movimiento de tropas de la Primera Guerra Mundial. Con el criterio geográfico y de efecto poblacionalmente masivo se han reportado 19 pandemias de enfermedades en la historia (Figura 1) (Piret y Boivin, 2019).

La caracterización pandémica en enfermedades en plantas también ha tenido una connotación imprecisa, pero coincide en la implicación global de la dispersión (Figura 1). Sin embargo, no existe ninguna pandemia vegetal de carácter mundial asociado a un proceso sincrónico infectivo (Figura 1). Comparativamente, las epidemias en plantas exhiben lenta dispersión geográfica a partir del brote o foco inicial, pudiendo incluso restringirse a una región debido a la topología poblacional del huésped: **1.** Discontinuidad poblacional en tiempo determinado por anualidad de cultivos, o por estacionalidad de eventos fenotípicos, interrumpiendo abruptamente procesos de *infección-contagio*; **2.** Discontinuidad poblacional espacial debido a la especificidad de condiciones edafo-climáticas requeridas para un cultivo, diversidad de especies cultivadas, y/o heterogeneidad genética varietal en una región; **3.** La población es intrínsecamente *fija* o *inmóvil* y dependen del ambiente o de factores antropogénicos para la movilidad del inóculo. **4.** Existen restricciones normativas y comerciales que evitan el libre movimiento trasfronterizo de plantas, productos y/o subproductos requiriéndose un *certificado* o ‘*pasaporte fitosanitario*’ reconocido por la Organización Mundial de Comercio (WTO



**The chain of infection: Gäumann and Smith.**

The background of *plant epidemiology*, oriented to the classical infectious plant pathology approach, can be found with E. Gäumann (1946) in his book ‘*Pflanzliche Infektionslehre: Lehrbuch der allgemeinen Pflanzenpathologie für Biologen, Landwirte, Forster und Pflanzenzüchter*’ (*Theory of plant infection: textbook on general plant pathology for biologists, farmers, foresters and plant breeders*) (Figure 2). In Chapter 2, Gäumann integrated principles of plant infection related to environmental factors, incubation periods, infection threshold, colonization mechanisms, parasitic capacity, host susceptibility, basic principles of plant disease control (*protection*) and *exclusion* of potential pathogens. ‘*Every epidemic develops according to its own rules, changes its character, expands and becomes malignant, decreases and becomes milder: it has an appearance of its own, its morphology, its own **genius epidemicus***’ (Gäumann, 1946). Its variable *genius epidemicus*, applies to the same pathosystem and is equivalent to Vanderplank’s (1963) ‘*memory factor*’, and the *epidemic momentum* used in this paper to refer an epidemic that enters a dynamic phase of progression, determined by an inoculum load (pest load) and infection rate, such that it exceeds a control or mitigation threshold. That is, an ‘*escaping*’ epidemic.

Gäumann in the same book (1946) stated that: ‘*Infection is considered as a fundamental biological problem of the **threefold interaction** of the constitution of **host plants**, the invasive potentiality of **parasites**, and the conditioning factors of the **environment***’. This assertion gave rise to the classic concept of the *epidemiological triangle* also used in medical epidemiology. The main conceptual evolution includes the anthropogenic **management** in agriculture, and the conception as an open *Epidemiological System*

(siglas en inglés) y tratados comerciales regionales. Este es análogo al *pasaporte de salud* o *vacunación COVID-19*, ya requerido por algunos países, pero no aceptado por la OMS al considerarlo discriminatorio. En efecto, este sistema, aunque efectivo para restringir la movilidad de patógenos (y plagas), en ciertos casos se ha empleado con fines proteccionistas en la agricultura (Sputnik *et al.*, 2021).

**Pandemia, precisión conceptual.** La concepción de *pandemia*, previamente expuesta, se puede precisar como un ‘*proceso epidémico de ocurrencia sincrónica en el tiempo de vida del huésped y en un espacio intercontinental o continental respecto a relaciones funcionales de contagio, a partir de una fuente primaria del agente infeccioso, resultando en múltiples procesos subepidémicos cuyas estructuras están determinadas por el Sistema Epidemiológico específico al clúster comunitario regional*’. Esta definición se ha restringido a patógenos pero puede extenderse a otros agentes bióticos (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). En plantas, es más probable un proceso de *contagio* sincrónico a nivel continental. Por ejemplo, **CLas-Citrus spp.** ha progresado en América gradualmente de 2009 al presente a partir de su detección en Brasil (Figura 1). Así la sincronía opera en un periodo de tiempo de *n*-ciclos productivos. En humanos, como se ha demostrado con SARS-CoV-2, este proceso ha sido multicontinental, pero también puede involucrar uno o más continentes como ocurrió con varias epidemias históricas, p.e., **Cólera** o **Peste Negra**, y recientemente con la Influenza A H1N1 (WHO, 2021f).

La OMS, como ‘autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria mundial’ de la ONU, es la facultada para determinar una condición pandémica a partir de un brote de enfermedad, ‘*disease outbreak*’, o emergencia de sanitaria, ‘*health emergency*’. Sin embargo, sus directrices han sido ambiguas o circunscritas a casos específicos (Morens *et al.*,

with the **healthy plant** as the integrating focus (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). The importance as a rational epidemiological framework is discussed in several contexts in this paper.

Gäumann is also credited with the introduction of a concept known as Gäumann's **chain of infection** (1946). However, in medicine, T. Smith is credited with the same concept (Langmuir, 1961), previously presented in his book *Parasitism and Disease* (1934), in which he discussed it in the context of the parasite life cycle: '*We may divide the **life of parasites** into four critical stages or periods: 1. Their entrance into or invasion of the host; 2. Their multiplication within the body of the host; 3. Their discharge, emigration or excretion outwards; and 4. Their active or passive transfer or transmission to another host*'. Currently this concept is more widely used in medical epidemiology recognizing five or six events remarking the infectious agent and/or host in order to intervene or control an epidemic outbreak with *preventive* or *curative* strategies (CDC, 2006).

In plant epidemiology, the application of *chain of infection* has been replaced by three distinctive biological events involving both the population and environment: *dispersal*, *pathogenesis* and *survival*. These events complement epidemiological criteria for the correct sequential application in time, and in the selection of *preventive* and *curative (protection)* procedures for effective epidemic intervention (Figure 8).

The ability to conduct infection assays, without the constraints of human population intervention, has allowed for greater biological and mechanistic precision in understanding plant epidemics. However, at the global level, this does not justify the limited epidemic studies with metadata to understand the SARS-CoV-2 infectious dynamics at the community level, with a more solid rational framework than the *chain of infection*, in order to

2021). Así, la OMS define '*Pandemic: increased and sustained transmission in general population*', en el contexto de una estrategia polietápica para direccionar acciones de *Sistemas Públicos de Salud* respecto a la **Influenza** (WHO, 2005). En otra definición, el mismo organismo establece, *pandemia* es '*The worldwide spread of a new disease*'. En contraste, la Asociación Internacional de Epidemiología la enuncia como '*An epidemic occurring worldwide, or over a very wide area, crossing international boundaries and usually affecting a large number of people*' (IEA, 2021; Porta, 2014).

La definición de *pandemia* debe diferenciar el estricto criterio epidemiológico de uno inherente a justificar el desarrollo y gestión de políticas en salud pública global como corresponde a la OMS. Así, epidemiológicamente, no es válida la acepción de la OMS respecto a que '*a pandemic agent must be infectious, must be new, must spread easily, and must cause serious illness*' (Morens *et al.*, 2021). Para fines cuantitativos de un *Sistema de Vigilancia Epidemiológica* de un país, la escalabilidad potencial de una epidemia constituye uno de *n*-factores de riesgo y la declaración oficial de un brote, emergencia o *pandemia* no debe impactar en la estructura y concepción de un modelo de riesgo (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; 2021b).

**La cadena de infección: Gäumann y Smith.** Los antecedentes de la *epidemiología vegetal*, orientada al enfoque infeccioso clásico de fitopatológico, se pueden encontrar con E. Gäumann (1946) en su libro '*Pflanzliche Infektionslehre: Lehrbuch der allgemeinen Pflanzenpathologie für Biologen, Landwirte, Forster und Pflanzenzüchter*' (*Teoría de la infección vegetal: libro de texto sobre patología vegetal general para biólogos, agricultores, silvicultores y fitomejoradores*) (Figura 2). En el Capítulo 2, Gäumann integró principios de infección vegetal relacionados con factores ambientales, períodos de

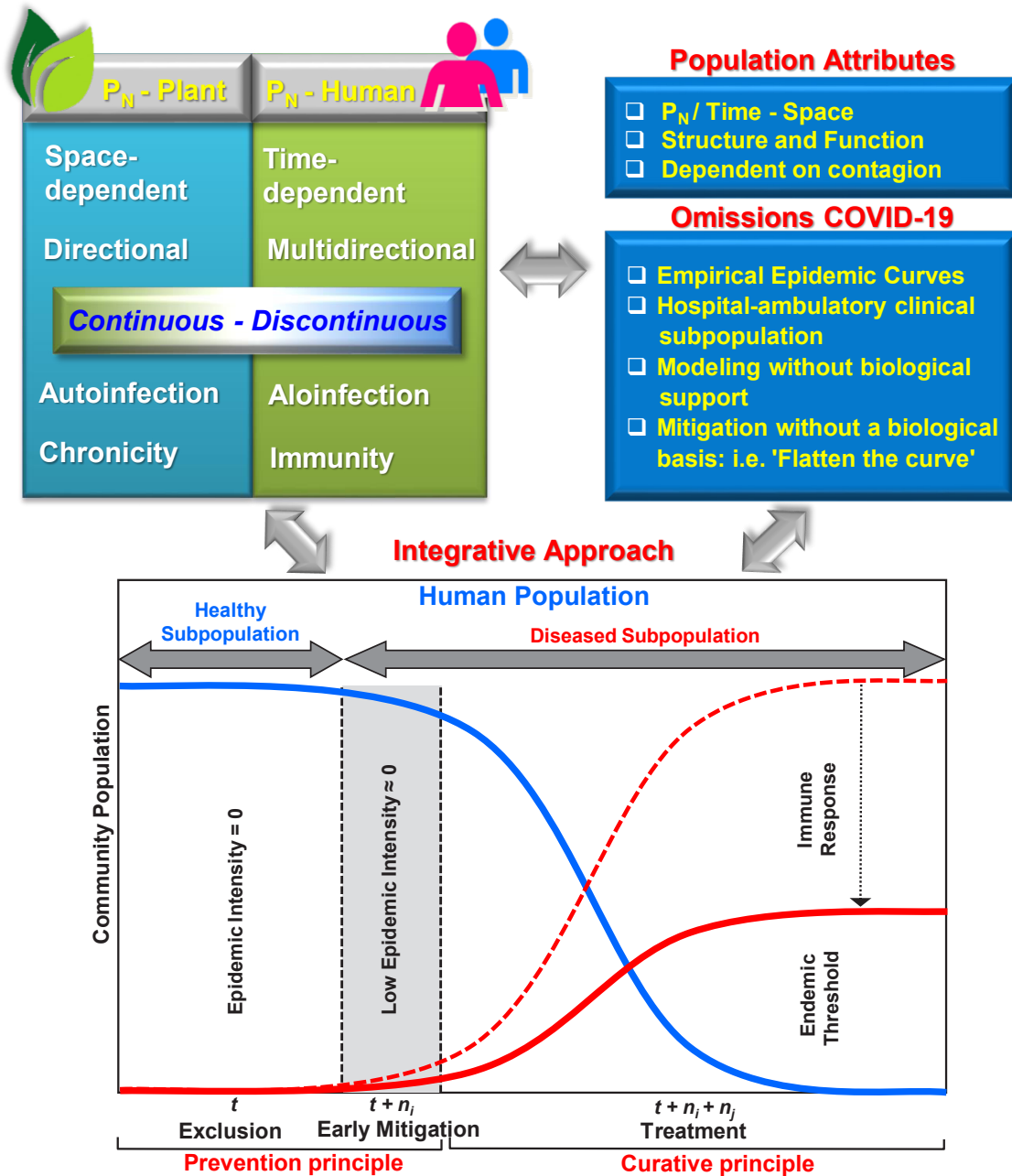


Figure 8. Comparison of main population attributes ( $P_N$ ) in plants and humans that determine the *contagion* process (upper left box). Population characteristics intrinsic to an epidemic process independent of human, animal or plant nature (right box). Generic criteria adopted for COVID-19 pandemic that lack the systemic rational framework provided by *Epidemiological System*. The Figure below shows the sequential applicative conceptualization of *prevention* and *cure* principles for SARS-CoV-2 epidemic intervention. A putative threshold of viral endemicity is included as a function of a naturally activated and/or vaccine-induced human immune system.

Figura 8. Comparación de los principales atributos poblacionales ( $P_N$ ) en plantas y humanos que determinan el proceso de contagio (recuadro superior izquierdo). Características poblacionales intrínsecas a un proceso epidémico independiente de la naturaleza humana, animal o vegetal (recuadro derecho). Criterios genéricos adoptados ante la pandemia COVID-19 que adolecen del marco racional sistémico que aporta el *Sistema Epidemiológico*. La Figura inferior muestra la conceptualización aplicativa secuencial de los principios de *prevención* y *cura* para la intervención de la epidemia SARS-CoV-2. Se incluye un putativo umbral de endemicidad viral en función de un sistema inmunológico humano activado en forma natural y/o inducida mediante vacunación.

design mitigation strategies. In reality, the absence of *Surveillance Systems*, and the integration and automatic processing of big data in real-time, impede the systemic understanding of the current health emergency (Mora Aguilera *et al.*, 2021a; 2021b). The hospital vision and the daily tests monitoring as indicators of epidemic status prevail, denoting the structural neglect of *Health Systems* and absence of effective WHO guidelines under a *preventive* approach.

**Prevention and Cure: Whetzel and Proust.**

Herbert H. Whetzel introduced the terms *inoculation*, *incubation* and *infection* as events inherent to pathogenesis and their application in disease control in plant pathology. In that context, he proposed in 1926 *eradication*, *exclusion*, *protection*, and *immunization* as control categories, the latter in reference to varietal resistance (Newhall, 1980). These are now recognized as *control principles*. *Exclusion* had already been adopted as the basis of quarantine regulatory systems, e.g. in USA in 1912; and in Croatia, in 1377, ‘*quarantine*’ for 40 days in isolation centers for travelers and ship’s crew was introduced as a measure of **Black Death exclusion** (Tognotti, 2013). A. Proust, the hygienist, was an active promoter of an international health organization for Europe exclusion of diseases ‘imported’ by sea, such as **Cholera, Black Death and Yellow fever** (Howard-Jones, 1975). *Eradication*, in plant health, was first proposed in 1913 at the *International Institute of Agriculture*, predecessor of the FAO/UN, as a possible strategy but with doubts of its applicability (Nature, 1913). In human health, with a global and scientific approach, it has been promoted by the WHO, with **Smallpox** being the only human disease eradicated. It was achieved in 1977 through extensive vaccination campaigns (Roser *et al.*, 2014).

incubación, umbrales de infección, mecanismos de colonización, capacidad parasítica, susceptibilidad del hospedero, principios básicos del control (*protección*) de enfermedades de plantas y exclusión de un patógeno potencial. ‘*Every epidemic develops according to its own rules, changes its character, expands and becomes malignant, decreases and becomes milder: it has an appearance of its own, its morphology, its own **genius epidemicus***’ (Gäumann, 1946). Su *genius epidemicus*, variable, aplica a un mismo patosistema y es equivalente al ‘*memory factor*’ de Vanderplank (1963) y al *momentum de epidemia* usado en este documento para referirnos a una epidemia que entra a una fase de progresión dinámica determinada por una carga de inóculo (plaga) y velocidad de infección tal que supera un umbral de control o mitigación. Una epidemia en *fuga*.

Gäumann en el mismo libro (1946) planteó que: ‘*Infection is considered as a fundamental biological problem of the **threefold interaction** of the constitution of **host plants**, the invasive potentiality of **parasites**, and the conditioning factors of the **environment***’. Este aserto dio origen al clásico concepto de *triángulo epidemiológico* también empleado en la epidemiología médica. Su principal evolución conceptual incluye al **manejo** antropogénico en la agricultura, y la concepción como un *Sistema Epidemiológico* abierto con la **planta sana** como eje integrador (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). Su importancia como marco racional epidemiológico se discute en varios contextos en este documento.

A Gäumann también se le atribuye la introducción de un concepto conocido como **cadena de infección** de Gäumann (1946). Sin embargo, en medicina se le reconoce a T. Smith mismo concepto (Langmuir, 1961), expuesto previamente en su libro *Parasitism and Disease* (1934), en el cual lo expuso en el contexto del ciclo de vida de un



With an applied vision in epidemiological surveillance (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a), these principles have been categorized into *preventive* (*exclusion* and *eradication*) and *protective* (*cure* in medicine), in which *resistance* is included, and their sequentiality has been established according to epidemic intensity and pathogen population thresholds. Figure 8 proposes the principles application for the SARS-CoV-2 epidemic and an endemicity threshold based on an immune system activated naturally and/or induced by vaccination.

**Epidemic: Conceptual evolution.** The *epidemics* definition, in plants and humans, and by extension to animals, has also evolved in history, analogous to *population* and *contagion*, its defining and determining principles. A selection of early references and definitions, based on the ‘*A historical survey of botanical epidemiology*’ review by Zadoks and Koster (1976), are included complemented with other references:

- ‘*Epidemia fuiffe in pueris diximus: unum notavimus infolentia fymptomata... (hemos tenido una epidemia entre los niños: una centrada en síntomas del folículo)*’ (Ballonii, 1571).
- *Has anyone until now observed contagious epidemics in plants?* HL. Duhamel de Monceau (1728).
- ‘*Epidemics among man and animals appear suddenly and unexpectedly, spread destruction over whole regions for a while and then slowly disappear and so do plant epidemics*’ JG. Kühn (1858).
- ‘*Epidemics* (ed. in **medicine**) resemble each other in the extent of their range... *Epidemics... derive their name from attacking large numbers at once*’. S. Smith (1866).
- ‘*Epidemics* (ed. in **medicine**) are those peculiar affections which, springing up suddenly in some

parásito: ‘*We may divide the life of parasites into four critical stages or periods: 1. Their entrance into or invasion of the host; 2. Their multiplication within the body of the host; 3. Their discharge, emigration or excretion outwards; and 4. Their active or passive transfer or transmission to another host*’. Actualmente este concepto es más empleado en la epidemiología médica reconociendo cinco o seis eventos diferenciando al agente infeccioso y/o huésped con el fin de intervenir o controlar un brote epidémico con estrategias *preventivas* o *curativas* (CDC, 2006).

En epidemiología vegetal, la aplicación de la *cadena de infección* se ha sustituido por tres eventos biológicos distintivos que involucran tanto a la población como al ambiente: *dispersión*, *patogénesis* y *sobrevivencia*. Estos eventos complementan criterios epidemiológicos para la correcta aplicación secuencial en tiempo, y en la selección de procedimientos *preventivos* y *curativos* (*protección*) para la efectiva intervención epidémica (Figura 8).

La posibilidad de realizar ensayos de infección, sin las restricciones que implican intervenir poblaciones humanas, ha permitido una mayor precisión biológica y mecánica en la comprensión de epidemias en plantas. Sin embargo, a nivel mundial, esto no justifica los limitados estudios epidémicos con metadatos para comprender la dinámica infecciosa de SARS-CoV-2 a nivel comunitario, con un marco racional más robusto que la *cadena de infección*, para diseñar estrategias de mitigación poblacionales. En realidad, la ausencia de *Sistemas de Vigilancia*, y la integración y procesamiento automático de grandes volúmenes de datos digitales (big data) en tiempo real, impiden la comprensión sistémica de la emergencia sanitaria actual (Mora Aguilera *et al.*, 2021a; 2021b). Prevalece la visión hospitalaria y el monitoreo de pruebas diarias como indicadores de estatus epidémico denotando el abandono estructural de los *Sistemas de Salud* y la ausencia de directrices efectivas de la OMS bajo un enfoque preventivo.

*particular spot, spread over a certain portion of the habitable globe, and then disappear altogether*'. **J. Parkin (1873)**.

- '*The same behaviour in the world of disease among humans leads to epidemics, among animals to epizootics, and among plants to epiphytotics, generally conditions of exacerbation of some disease species...*'. **F. Unger (1833)**.
- '*By an epidemic (ed. in plants) we therefore understand the frequent incidence, the local concentration of an infectious disease within a limited period of time*'. **E. Gäumann (1946)**.
- '*Epidemic is...any increase or decrease within the range  $0 < y \leq I$* '. **J. Kranz (1974)**. Note:  $I=100\%$  incidence / severity.
- '*Epidemic refers to an increase, often sudden, in the number of cases of a disease above what is normally expected in that population in that area*'. **(CDC, 2006)**.
- '*Epidemic is a process of contagion, colonization or occurrence of abiotic non-infectious events determined by a specific Epidemiological System that results in the loss of population health determined structural and functionally in time and space*'. **G. Mora and G. Acevedo (2021)**.

### **Population and infection in epidemiology.**

The *population* must be correctly defined in epidemiological studies. In an *epistemological* approach, biological *structure* and *function* should be established concerning interaction with the environment; and *analytically*, the **variables** and **factors** that will represent the *population* should be defined as '*metadata*' in an epidemiological matrix, which includes other variables associated with the **Epidemiological System**. The relevance of this, to the specific health problem, will guarantee the population adequate parameterization in descriptive and quantitative analyses (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). For example, *age*, *sex*, and

**Prevención y Cura: Whetzel y Proust.** Herbert H. Whetzel introdujo en la fitopatología los términos *inoculación*, *incubación* e *infección* como eventos inherentes a la patogénesis y su aplicación en el control. En ese contexto, propuso en 1926 la *erradicación*, *exclusión*, *protección*, e *inmunización* como categorías de control, el último en referencia a la resistencia varietal (Newhall, 1980). Estos se reconocen actualmente como principios de control. La *exclusión* ya se había adoptado como base de sistemas regulatorios cuarentenarios, p.e. en EUA en 1912; y en Croacia, en 1377, se instauró la '*quarentena*' por 40 días en centros de aislamiento a viajeros y tripulación de barcos como medida de *exclusión* de la **Peste Negra** (Tognotti, 2013). A. Proust, el higienista, fue activo promotor de un organismo internacional de salud para la *exclusión* de Europa de enfermedades 'importadas' por vía marítima, como **Cólera**, **Peste Negra** y **Fiebre Amarilla** (Howard-Jones, 1975). La *erradicación*, en sanidad vegetal, se propuso por primera vez en 1913 al seno del *International Institute of Agriculture*, antecedente de la FAO/ONU, como posible estrategia pero con dudas de aplicabilidad (Nature, 1913). En salud humana, con un enfoque global y científico, ha sido impulsada por la OMS, siendo la **Viruela** la única enfermedad de humanos erradicada. Se logró en 1977 mediante extensivas campañas de vacunación (Roser *et al.*, 2014).

Con una visión aplicativa en vigilancia epidemiológica (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a), estos principios se han categorizado en *preventivo* (*exclusión* y *erradicación*) y *protectivo* (*cura* en medicina), en el cual se incluye la *resistencia*, y se ha establecido su secuencialidad en función de intensidad epidémica y de umbrales poblacionales del patógeno. En la Figura 8 se propone su conceptualización aplicativa para la epidemia SARS-CoV-2 y un umbral de endemidad en función de un sistema inmunológico activado en forma natural y/o inducido mediante vacunación.

*ethnicity* constituted structural factors and *immune response* constituted the population function in a recent comparative study of vaccine effectiveness in Omicron. It was concluded that this variant represents a 5.4-fold increased reinfection risk compared to Delta (Reuters *et al.*, 2021).

Although **infection** is the plant epidemiology defining principle for ‘*unknown reasons*’ (Zadoks and Koster, 1976), the epidemics of non-infectious chronic processes e.g., diabetes, hypertension, etc., are recognized in medical epidemiology. Nowadays, the need for a holistic epidemiological approach has been promoted in plant health, with emphasis on health and plant as the integrating axis of phytosanitary processes. Thus, some *Epidemiological Surveillance Systems* operate multi-pest *prevention*, in the wider meaning, are sustainable and optimize operational, scientific and public policy planning strategies in an integral way (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). The scientific formalization of this discipline began in 1874 with the German journal focused on medical epidemiology ‘*Allgemeine Zeitschrift für Epidemiologie*’ (General Journal for Epidemiology). While in plant epidemiology it began in 1913 with the French publication ‘*Annales du service des épiphyties*’ (Yearbook of the epiphytes service) (Zadoks and Koster, 1976).

## 6. THE CURVE AND THE MAP: THE SAME EPIDEMIC

The development of *plant epidemiology* as a scientific discipline can be attributed to Vanderplank with his seminal book “*Plant Diseases: Epidemics and Control*” (1963) (Figure 2). In contrast to the **spatial** approach to the **Cholera** analysis used by J. Snow (1854) in human epidemiology, Vanderplank approaches epidemiology from the **temporal** dimension, mainly to apply biological models (e.g., logistic) to disease progress curves to determine an

**Epidemia: Su evolución conceptual.** La definición de **epidemia**, en plantas y humanos, y por extensión a animales, en tanto que la **población** y el **contagio** son los principios que la definen y determinan, también ha evolucionado en la historia. Se incluye una selección conceptual a partir de la revisión ‘*A historical survey of botanical epidemiology*’ por Zadoks y Koster (1976), complementada con otras referencias:

- ‘*Epidemia fuiiffe in pueris diximus: unum notavimus infolentia fymptomata... (hemos tenido una epidemia entre los niños: una centrada en síntomas del folículo)*’. (Ballonii, 1571).
- *Has anyone until now observed contagious epidemics in plants?* HL. Duhamel de Monceau (1728).
- ‘*Epidemics among man and animals appear suddenly and unexpectedly, spread destruction over whole regions for a while and then slowly disappear and so do plant epidemics*’ JG. Kühn (1858).
- ‘*The same behaviour in the world of disease among humans leads to epidemics, among animals to epizootics, and among plants to epi-phytotics, generally conditions of exacerbation of some disease species...*’. F. Unger (1833).
- ‘*Epidemics (ed. in medicine) resemble each other in the extent of their range... Epidemics... derive their name from attacking large numbers at once*’. S. Smith (1866).
- ‘*Epidemics (ed. in medicine) are those peculiar affections which, springing up suddenly in some particular spot, spread over a certain portion of the habitable globe, and then disappear altogether*’. J. Parkin (1873).
- ‘*By an epidemic (ed. in plants) we therefore understand the frequent incidence, the local concentration of an infectious disease within a limited period of time*’. E. Gäumann (1946).

‘apparent’ infection rate. Vanderplank conceives the infection rate as the  $x$ -intensity of disease speed or increase epidemic per unit  $t$ -time (currently,  $y$  is the disease intensity). His chapter “How to trace the progress of an epidemic” was a fundamental idea (Figure 7), which today also seems as simple and logical as Snow’s Cholera map (Figure 3), but allows to understand the graphical abstraction of a curve to quantify changes in disease intensity over  $n$ -intervals of time and, from there, to establish strategies for disease control and forecasting. Also, for the first time the understanding of ‘disease in populations’ is subordinated to the development of control or mitigation strategies. Vanderplank developed quantitative epidemiology in order to assess the resistance of his potato germplasm (*S. tuberosum*) to *Phytophthora infestans* by comparing epidemic rates (Vanderplank. 1963). The approach applied to disease management was also shared by J.C. Zadoks and J. Kranz, foundational epidemiologists of this discipline with their holistic and multivariate contributions, abandoning the epidemic rate curve as the only parameter for mechanistic interpretation of an epidemic. Today, the multivariate approach is little-understood and adopted in the systemic analysis of epidemics in all fields. SARS-CoV-2 is no exception. The intervention of the chain of infection or contagion is the closest similitude to such approach of understanding the structure and mechanics of a temporal epidemic for effective application of preventive and curative principle (Figure 8).

We cannot omit that the ‘epidemic curve’ has been the central focus SARS-CoV-2 epidemic, mainly during the first-two waves. Formal epidemiologists, physicists, mathematicians, political scientists, etc., argued (and still do) about modeling curves for ‘case’ forecasting and ‘curve flattening’. The problem was not (and still is not) the curve, but

- ‘Epidemic is...any increase or decrease within the range  $0 < y \leq 1$ ’. J.Kranz (1974). Note:  $1=100\%$  incidence / severity.
- ‘Epidemic refers to an increase, often sudden, in the number of cases of a disease above what is normally expected in that population in that area’ (CDC, 2006).
- ‘Epidemia es un proceso de contagio, colonización u ocurrencia de eventos abióticos no infecciosos determinados por un Sistema Epidemiológico específico que resulta en la pérdida de salud de una población definida estructural y funcionalmente en tiempo y espacio’. G. Mora y G. Acevedo (2021).

**Población e infección en epidemiología.** La *población*, debe correctamente definirse en estudios epidemiológicos. Desde un enfoque *epistemológico* se debe establecer su *estructura* y *función* biológica respecto a la interacción con el ambiente; y *analíticamente*, deben definirse las **variables** y **factores** que representarán a la *población* como ‘metadatos’ en una matriz epidemiológica, la cual que incluye otras variables asociadas al **Sistema Epidemiológico**. La pertinencia de éste, al problema específico de salud, garantizará la adecuada parametrización de la población en análisis descriptivos y cuantitativos (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). Por ejemplo, *edad*, *sexo* y *etnia* constituyeron factores estructurales y la *respuesta inmunológica* la función poblacional en un estudio comparativo reciente de efectividad de vacunas en Ómicron. Se concluyó que esta variante representa un riesgo 5.4 veces mayor de reinfección en comparación con Delta (Reuters *et al.*, 2021).

La **infección**, si bien es el principio que define a la *epidemiología vegetal* por ‘unknown reasons’ (Zadoks y Koster, 1976), en la *epidemiología médica* se reconocen epidemias de procesos crónicos no infecciosos como diabetes, hipertensión, etc. En



the absence of the *curve* analysis in the context of functional *populations*, i.e., epidemiology applied to the context of *community* clusters where functional *contagion* relationships are established. Consequently, *space* must be integrated into the modeling. Space and time define an epidemic integrally. Their individualization fragments the *contagion* mechanism comprehension. Moreover, the *curve* is a late process under the *prevention* principle. It is the *foci(ci)* and *Yo* parameter, *sensu* J. Kranz, that should be emphasized (Figure 8). The *foci-space* in a *map* that J. Snow understood perfectly in 1854 to mitigate the **Cholera** outbreak in London.

Descriptive *curve* and ‘case’ *forecasting* are not the mechanistic solution to the SARS-CoV-2 pandemic. The *human community* in its complex environmental, social, occupational, and mental and physical health interrelationships, associated with the SARS-CoV-2 *population structure*, in the correct spatio-temporal dimension, is the correct strategy based on historical epidemic experiences (Figure 8). That is a holistic and multivariate vision. The limitations and errors of SIR, SIER and other models that restrictively predicted dates of ‘increases’ and ‘*curve flattening*’ are then understood. This mathematical ‘fever’ of 2020 has now subsided. Even with mass vaccination and social restrictions, the pandemic and multiple waves have surprised with ‘*momentum*’, ‘*genius epidemicus*’, or ‘*memory factor*’ that eludes simplistic solutions and goes beyond a *curve*. Currently, there is not known model has been effective with an acceptable error margin. Not only in reference to statistical error, but also conceptual and intrinsic to the rational framework that emanates from the *Epidemiological System*. Vanderplank placed on the stage of plant epidemiology the temporal analysis possibility through the concept of ‘*rate-r*’ (Figura 7). He never succeeded or tried

la actualidad, se ha impulsado en la fitosanidad la necesidad de un enfoque epidemiológico holístico con énfasis en la salud y en la planta como eje integrador de los procesos sanitarios. Así, algunos *Sistemas de Vigilancia Epidemiológica* operan la *prevención* multiplaga, en la amplia acepción, son sustentables y optimizan en forma integral estrategias operativas, científicas y de planeación de política pública (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). La formalización científica de esta disciplina inició en 1874 con la revista alemana enfocada a la epidemiología médica ‘*Allgemeine Zeitschrift für Epidemiologie*’ (*General Journal for Epidemiology*). Mientras que en epidemiología vegetal inició en 1913 con la publicación francesa ‘*Annales du service des épi-phyties*’ (*Anuario del servicio de epifitias*) (Zadoks y Koster, 1976).

## 6. LA CURVA Y EL MAPA: UNA MISMA EPIDÉMICA

La maduración de la *epidemiología vegetal* como disciplina científica se puede atribuir a Vanderplank a partir de su libro ‘*Plant Diseases: Epidemics and Control*’ (1963) (Figura 2). En contraste al enfoque *espacial* para el análisis del **Cólera** utilizado por J. Snow (1854) en epidemiología humana, Vanderplank aborda la epidemiología desde la dimensión *temporal*, principalmente para aplicar modelos (p.e., logístico) a curvas del progreso de la enfermedad para determinar una tasa de infección ‘aparente’. Vanderplank concibe la *tasa de infección* como la velocidad o aumento epidémico de *x*-intensidad de enfermedad por unidad de *t*-tiempo (actualmente, *y* es la intensidad de enfermedad). Su capítulo “*How to trace the progress of an epidemic*” fue una idea seminal (Figura 7), que hoy también parece simple y lógica como el propio mapa de **Cólera** de Snow (Figura 3), pero permite entender la abstracción gráfica de una curva para cuantificar los cambios en la intensidad de la enfermedad en

to ‘flatten curves’. They were always ‘curves’ with different ‘*apparent infection rate*’, depending on the genetics of a potato variety, because they are inherent to pathogenesis of *n-processes*, just like an infectious process in humans, which intertwine over time, and whose *symptomatological* visual expression (i.e., clinical symptoms) only estimates, hence the term ‘*apparent*’, the actual infection rate. Therefore, the *asymptomatic* subpopulation is not represented in the ‘*curve*’.

**Epidemiology: Conceptual evolution.** Just as the reductionist approach of the phytopathological (and medical) paradigm focused on the *etiology* and from there to look for the *cure*, in epidemiology it has been the *curve*, the *rate* of the curve, the *model* in pursuit the rate. That is, the dissociation of population structure and function, both in plant and human health. But also omitting that the objective of epidemiology is NOT the *study of disease in populations* (Vanderplank, 1963), but study of the *healthy population* as the main focus of *Epidemiological System* that allows the articulation of *prevention* and *protection* as risk management and mitigation principles of epidemics and pandemics (Figure 8) (Mora-Aguilera *et al.*, 2021b). In this context, **epidemiology** is postulated as the multifactorial, multidimensional and dynamic study of relationships intrinsic to the *Epidemiological System* to elucidate rational strategies for epidemic *prevention* and health risk mitigation. The *Epidemiological System* emerges as the new object of study. This concept evolved from the classic *epidemiological triangle* or *epidemiological triad* associated with an infectious process in humans, animals and plants. The organization as an open *system*, with *n-etiological* factors and *n-determinants* of health, among other attributes, overcomes the restrictiveness of the *triad* (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). This *epidemiology* vision considers biotic and abiotic factors as deterministic

*n-intervalos* de tiempo y, a partir de ahí, establecer estrategias para el control y pronóstico de enfermedades. También por primera vez se subordina la comprensión de ‘*disease in populations*’ al desarrollo de estrategias de control o mitigación. Vanderplank desarrolló la epidemiología cuantitativa con el fin evaluar la resistencia de su germoplasma de papa (*S. tuberosum*) a *Phytophthora infestans* mediante la comparación de *tasas epidémicas* (Vanderplank, 1963). El enfoque aplicado al manejo de enfermedades también fue compartido JC. Zadoks y J. Kranz, epidemiólogos fundacionales de esta disciplina con sus aportes holísticos y multivariados, abandonando la *tasa epidémica* de la curva como el único parámetro de interpretación mecanística de una epidemia. Un enfoque hoy poco comprendido y adoptado en el análisis sistémico de epidemias en todos los campos. SARS-CoV-2 en la salud humana no es la excepción. La intervención de la *cadena de infección* o *contagio* es el símil más próximo al enfoque de entender la *estructura y mecánica* de una epidemia temporal para la efectiva aplicación del principio *preventivo* y *curativo* (Figura 8).

No podemos omitir que la ‘*curva epidémica*’ ha sido el objetivo central principalmente durante las primeras dos ‘olas’ epidémicas de SARS-CoV-2. Epidemiólogos formales, físicos, matemáticos, politólogos, etc., disertaron (y aún lo hacen) sobre el modelaje de curvas para pronóstico de ‘casos’ y de ‘*aplanamiento de la curva*’. El problema no era (y sigue sin serlo) la *curva*, sino la ausencia de un análisis de *curvas* en el contexto de **poblaciones** funcionales, es decir, de la epidemiología aplicada al contexto de clústeres *comunitarios* donde se establecen relaciones funcionales de *contagio*. En consecuencia, el *espacio* debe integrarse al modelaje. Espacio y tiempo definen integralmente una epidemia. Su individualización obnubila el mecanismo del *contagio*. Más aun, la *curva* es un proceso tardío bajo el principio de *prevención*. Es el *foco(s)*, el parámetro *Yo*, *sensu* J. Kranz, el que

or probabilistic causality. Consequently, non-infectious processes are included in plants, such as insect-pests, or cardiovascular and metabolic imbalances in humans.

The holistic and integral approach to epidemiology ensures a rational framework for theoretical epidemiology and applied epidemiology in *Health Systems* (human, animal or plant). It allows the classical models integration based on infectious processes, e.g., Gompertz in plants, or SIR in humans, with multivariate probabilistic models suitable for estimating risks independently of the infectious or non-infectious cause. Likewise, the emerging disciplinary, epidemiology fragmented trend, i.e., *molecular epidemiology*, *nutritional epidemiology*, *cardiovascular epidemiology*, *diabetes epidemiology*, etc., is avoided (Frérot *et al.*, 2018). Epistemologically, epidemiology is indivisible, holistic, systemic. The *Epidemiological System*, as a rational framework, adapts to the problem, forces to define the relevant *factors* and *variables* and establish the operative spatio-temporal dimensionality in the problem investigation, and the applicability in the solution. Thus, *Epidemiological System* determines epidemiology as a science.

In medical epidemiology, the '*chain of infection*', not the epidemiological *triad*, i.e., pathogen, host and environment (CDC, 2006), is most often referred to as a *rational framework* for understanding an epidemic process and determining strategies '*to break the chain of infection*'. However, the global application of this strategy in COVID-19 has shown limitation in isolating the infection from social, environmental and demographic determinants. These aspects are remedied by *Epidemiological System* and are congruent with a study by M. Parascandola on the contemporary conception of medical *epidemiology* and the need for new analytical and methodological frameworks (Parascandola,

debe enfatizarse (Figura 8). El *foco-espacio* en un *mapa* que J. Snow entendió perfectamente en 1854 para mitigar el brote de Cólera en Londres.

La *curva* descriptiva y el *pronóstico* de 'casos' no son la solución mecanística para la pandemia SARS-CoV-2. La *comunidad humana* en su compleja interrelación ambiental, social, laboral, y de salud mental y física, asociado a la *estructura poblacional* de SARS-CoV-2, i.e., una visión holística y multivariada, en la correcta contextualización espacio-tiempo, es la estrategia correcta basada en las experiencias históricas epidémicas (Figura 8). Se comprenden entonces las limitaciones y errores de modelos SIR, SIER y otros que de forma restrictiva predecían fechas de 'incrementos' y '*aplanaamiento de la curva*'. Esta 'fiebre' matemática del 2020, actualmente ha decrecido. La pandemia y sus múltiples 'olas', aun con vacunación masiva y restricciones sociales, ha sorprendido con su '*momentum*', '*genius epidemicus*' o '*memory factor*' que elude soluciones simplistas y que van más allá de una *curva*. A la fecha, no se conoce un modelo que haya sido eficaz con margen de error aceptable. No solo en referencia al error estadístico, sino también conceptual e intrínseco al marco racional que emana del *Sistema Epidemiológico*. Vanderplank colocó en el escenario de la epidemiología vegetal la posibilidad del análisis temporal a través del concepto de '*tasa-r*' (Figura 7). Nunca logró o intentó '*aplanar curvas*'. Siempre fueron '*curvas*' con diferente '*tasa de infección aparente*', según la genética de una variedad de papa, porque son inherentes a *n*-procesos de patogénesis, igual que un proceso infeccioso en humanos, que se imbrican con el tiempo, y cuya expresión *sintomatológica* (i.e., clínica) solo estima, de ahí el término '*aparente*', la *tasa* real de infección. La subpoblación *asintomática* no está representada en la '*curva*'.

**Epidemiología: Su evolución conceptual.** Al igual que la visión reduccionista del paradigma

2011). More recently, M. Frérot *et al.* reviewed the conceptual *epidemiology* evolution from 1978 to 2017, identifying *population*, *health*, and *disease* as the most common terms, whereas *infectious disease* and *massive phenomenon* were absent as structural elements in the 102 definitions (Frérot *et al.*, 2018). These comprehensive analyses show that *epidemiology* is moving toward recognizing the *population* and *health* preponderance in a comprehensive *preventive* and *curative* strategy. However, it will take time to recognize *disease* as an *effect*, not as an epidemiological purpose. For comparative purposes, selected definitions from the referred works and other complementary are included:

- ‘*Epidemiology is the science of disease in populations*’. **Vanderplank (1963)**.
- ‘*Epidemiology is a method of reasoning about disease that deals with biological inferences derived from observations of disease phenomena in population groups*’. **D. Lilienfeld (1978)**.
- ‘*Epidemiology is the quantitative analysis of the circumstances under which disease processes, including trauma, occur in population groups, the factors affecting their incidence, distribution, and host responses, and the use of this knowledge in prevention and control*’. **A. S. Evans (1979)**.
- ‘*Epidemiology is the study of the distribution and determinants of health related states or events (including disease), and the application of this study to the control of diseases and other health problems*’. **OMS**
- ‘*Epidemiology is the science of populations of pathogens in populations of hosts, and the disease resulting therefrom under the influence of environment and human interference*’ **J. Kranz (1973)**.
- ‘*Epidemiology is the multifactorial, multidimensional and dynamic study of*

fitopatológico (y médico) enfocado a la *etiología* y a partir de ahí buscar la *cura*, en la epidemiología ha sido la *curva*, la *tasa* de la curva, el *modelo* en pos de la tasa. Una disociación de la estructura y función de poblaciones, tanto en la salud vegetal como en la humana y animal. Pero además omitiendo que el objetivo de la epidemiología NO es el ‘*estudio de la enfermedad en poblaciones*’ (Vanderplank, 1963), sino el estudio de la *población sana* como eje integrador del *Sistema Epidemiológico* que permita articular la *prevención* y *protección* como principios de manejo de riesgo y mitigación de epidemias y pandemias (Figura 8) (Mora-Aguilera *et al.*, 2021b). En este contexto, se postula que la **epidemiología** es el estudio multifactorial, multidimensional y dinámico de relaciones intrínsecas al *Sistema Epidemiológico* para dilucidar estrategias racionales de *prevención* de epidemias y mitigación de riesgos sanitarios. El *Sistema Epidemiológico* emerge como el nuevo objeto de estudio. Este concepto evolucionó del *triángulo epidemiológico* o *triada epidemiológica* clásica asociado a un proceso infeccioso en humanos, animales y plantas. La organización como *sistema* abierto, con *n*-factores etiológicos y *n*-determinantes de la salud, entre otros atributos, superan la restrictividad de la *triada* (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). Esta acepción de *epidemiología* considera factores bióticos y abióticos como causalidad determinística o probabilística. En consecuencia se incluyen procesos no infecciosos en plantas, como insectos-plaga, o desbalances cardiovasculares y metabólicos en humanos.

Bajo el enfoque holístico e integral de la epidemiología se garantiza el marco racional para la epidemiología teórica y la epidemiología aplicada a los *Sistemas de Salud* (humana, animal o vegetal). Permite la integración de modelos clásicos basados en procesos infecciosos, p.e., Gompertz en plantas, o SIR en humanos, con modelos multivariados probabilísticos aptos para estimar riesgos



*relationships intrinsic to the Epidemiological System to elucidate rational strategies for the prevention of epidemics and mitigation of sanitary risks*'. **G. Mora and G. Acevedo (2021)**.

## 7. COVID-19: A VISION OF THE PANDEMIC

The current SARS-CoV-2/COVID-19 pandemic, with active spread in more than 194 countries (<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>; <https://www.gisaid.org/>), has shown strong limitations in the implementation of epidemiological principles applicable to health surveillance for risk prevention and management. The conceptual, methodological and scientific experiences derived from historical epidemics have not been systematically rationalized and a fundamental setback is exhibited with the transition from prevention, successful in the 50-70's, to the current cure, abandoning the philosophical and scientific foundational principle of *Public Health Systems* with community emphasis. The cure emerges as the paradigm that sustains the current patient-disease model that systemically articulates, not only the vision of *Public Health Systems*, but also the entire hospital system and private medical practice, educational curricula and training, scientific development, technology and innovation, and government and organizational public policy in the health sector. It is the etiology and diagnosis preeminence, exacerbated by genomic medicine expectations in the patient-disease treatment. The health cooptation considered as business strategy and the omission of the State to preserve this universal right. Paradoxically, the State is being asked to face the health crisis, with an inoperative and disarticulated health model, without the private sector, and the WHO as a world leader in health management, assuming the cost of adopting the cure as new paradigm. In turn, the State, unloads on population failures

independientemente de la *causa* infecciosa o no infecciosa. Así mismo, se evita la emergente tendencia disciplinaria, fragmentada, de la epidemiología, i.e., *epidemiología molecular, epidemiología nutricional, epidemiología cardiovascular, epidemiología de la diabetes*, etc. (Frérot *et al.*, 2018). La epidemiología epistemológicamente es indivisible, holística, sistémica. Es el *Sistema Epidemiológico*, como marco racional, el que se adapta al problema y obliga a definir los *factores* y *variables* pertinentes, así como a establecer la dimensionalidad espacio-temporal operativa, en la investigación del problema, y aplicativa en su solución. Así, el *Sistema Epidemiológico* determina a la epidemiología como ciencia.

En epidemiología médica, la *cadena de infección* ('*chain of infection*'), no la *triada epidemiológica*, i.e., patógeno, huésped y ambiente, (CDC, 2006), es la más referida como *marco racional* para comprender un proceso epidémico y determinar estrategias de interrupción del contagio ('*to break the chain of infection*'). Sin embargo, la aplicación global de esta estrategia en COVID-19, ha evidenciado su limitación al aislar el contagio de determinantes sociales, ambientales y demográficos. Aspectos que subsana el *Sistema Epidemiológico* y que es congruente con un estudio de M. Parascandola sobre la concepción contemporánea de la *epidemiología* médica y la necesidad de nuevos marcos analíticos y metodológicos (Parascandola, 2011). Más recientemente, M. Frérot y colaboradores revisaron la evolución conceptual de *epidemiología* de 1978 a 2017, identificando a la *población, salud y enfermedad* como los términos más comunes, mientras que *enfermedad infecciosa* y *fenómeno masivo* estuvieron ausentes como elementos estructurales en las 102 definiciones (Frérot *et al.*, 2018). Estos análisis exhaustivos muestran que la *epidemiología* transita hacia reconocer la preponderancia de *población y salud* en una estrategia integral *preventiva y curativa*. Sin embargo, tomará

in the containment of COVID-19, claiming low cooperation in the adoption of palliative, but not effective, measures for epidemic intervention. It is the human population enduring the disease threat, and being affected in the vast social, economic, spiritual, educational and cultural relationships, that bears the highest cost; however, that ‘cost’ is not entirely quantifiable in a global consumption economy that only assigns a value to commodities. The systematic deterioration of *Health Systems* and their discriminatory effects has been widely documented (CEPAL and OPS, 2021; Velázquez, 2021; Frenk, 2003). The consequence is illustrated by successive COVID-19 epidemic waves, regardless of the population immunized percentage, and changes in prevalence of new viral variants, the most recent being Omicron, reported for the first time on the African continent with 5% vaccination. While this is being written, the Netherlands and several European countries resumed for the umpteenth time new severe confinements, in the face of massive infection by Omicron, making up the fifth epidemic wave. In this context, health as a business is ignominious (Vivas, 2021). Speculating in the stock market with inexistence solutions for Omicron should be penalized as much as society is criminalized for apparent negligence to prevent COVID-19 (Europa Press, 2021).

The historical epidemics analysis, and COVID-19 pandemic/epidemic management, allows us to identify conceptual and methodological limitations that restrict the mechanistic understanding and scope of epidemic intervention strategies (Figure 8):

1. **Population ( $P_N$ )** defines an epidemic process in that it frames the *contagion* process. In COVID-19 it has been omitted that *population* has a multidimensional *structure* and *function* in *time* and *space* dimensions. The COVID-19 public web-based ‘surveillance’ or traceability

tiempo reconocer la *enfermedad* como *efecto*, no como un fin epidemiológico. Con fines comparativos se incluyen definiciones seleccionadas de los trabajos referidos y otras complementarias:

- ‘*Epidemiology is the science of disease in populations*’. **Vanderplank (1963)**.
- ‘*Epidemiology is a method of reasoning about disease that deals with biological inferences derived from observations of disease phenomena in population groups*’. **D. Lilienfeld (1978)**.
- ‘*Epidemiology is the quantitative analysis of the circumstances under which disease processes, including trauma, occur in population groups, the factors affecting their incidence, distribution, and host responses, and the use of this knowledge in prevention and control*’. **A.S. Evans (1979)**.
- ‘*Epidemiology is the study of the distribution and determinants of health related states or events (including disease), and the application of this study to the control of diseases and other health problems*’. **OMS**
- ‘*Epidemiology is the science of populations of pathogens in populations of hosts, and the disease resulting therefrom under the influence of environment and human interference*’ **J. Kranz (1973)**.
- ‘*Epidemiología es el estudio multifactorial, multidimensional y dinámico de relaciones intrínsecas al Sistema Epidemiológico para dilucidar estrategias racionales de prevención de epidemias y mitigación de riesgos sanitarios*’. **G. Mora y G. Acevedo (2021)**.

## 7. COVID-19: UNA VISIÓN DE LA PANDEMIA

La actual pandemia SARS-CoV-2/COVID-19, con dispersión activa en más de 194 países (<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>; <https://www.gisaid.org/>), ha evidenciado fuertes limitaciones en

systems articulate their indicators base on a *territorial population* that does not represent the actual *contagion* phenomenon. Thus, the curve or map of Mexico epidemic status, or any other country, is only a numerical representation of COVID-19 cases in time or space, but does not allow intervention since infection rates are not structurally and functionally real. The territorial population (i.e., sex, age, ethnicity, comorbidity, occupation labor, etc.) is valuable in spatio-temporal multivariate dynamic risk models. But not applicable for classical epidemiological models. The limitation is that countries, and WHO as the lead agency, lack digital *Surveillance Systems* designed to articulate real-time automated algorithms for *preventive* decision-making and regional community risk management (Figure 9) (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Mora-Aguilera *et al.*, 2021b).

2. **Contagion** operates at the  $P_N$  level by establishing relationships of continuous or discontinuous dependence measurable in space-time. *Contagion*, quantified in its biological, clinical and epidemiological determinants, provides the mechanistic attribute of an epidemic. COVID-19 has shown that primary infection ( $I_{p-t, e1}$ ) is multiple, *quasi-synchronous*, and random in time ( $t$ ) and transboundary space ( $e$ ) The secondary infection ( $I_{s-t+n, e1+n}$ ) can be operationally quantifiable and detectable in a subpopulation- $i$  ( $SP_{N-i}$ ). Therefore, *community contagion-j* (*Cluster<sub>j</sub>*) of the  $SP_{N-i}$  in turn structured in  $n$ -*subclusters<sub>j</sub>* of functional relationships (work, family, social, etc.), where *early detection* should operate for intervention of a community COVID-19 *outbreak* or *focus*, e.g. confinement (Mora-Aguilera *et al.*, 2021b). It is then the epidemic spatial intervention the goal. Not the curve intervention. COVID-19

la implementación de principios epidemiológicos aplicables a la vigilancia sanitaria para la *prevención* y manejo de riesgos. No se ha racionalizado de manera sistemática las experiencias conceptuales, metodológicas y científicas derivadas de epidemias históricas y se exhibe un retroceso fundamental con la transición de la *prevención*, exitosa en los 50-70's, a la *cura* actual, abandonado el principio filosófico y científico fundacional de los *Sistemas Públicos de Salud* con énfasis comunitario. La *cura* emerge como el paradigma que sustenta el actual modelo *paciente-enfermedad* que articula sistémicamente, no solo la visión de los *Sistemas Públicos de Salud*, sino todo el sistema hospitalario y práctica médica privada, estructura y oferta educativa, desarrollo científico, tecnología e innovación de grandes consorcios, y la política pública gubernamental y organizacional. La preeminencia etiológica y del diagnóstico, exacerbado con expectativas de la medicina genómica, en el tratamiento *paciente-enfermedad*. La coaptación de la salud como estrategia de negocio y la omisión del estado para preservarla como un derecho universal. Paradójicamente, se demanda al *Estado* enfrentar la crisis sanitaria con un modelo de salud inoperante y desarticulado sin que el aparato privado, y la OMS como líder mundial en la gestión de salud, asuman el costo de la adopción del nuevo paradigma. A su vez el *Estado*, descarga en la población fallas en la contención de COVID-19, reclamando baja cooperación en la adopción de medidas paliativas, que no efectivas, para la intervención epidémica. Es la población humana, en su pervivencia, y en el vasto tejido de relaciones sociales, económicas, espirituales, educativas y culturales la que conlleva el mayor costo; empero no enteramente cuantificable en una economía global de consumo que solo adjudica un valor a las mercancías. El deterioro sistemático de los *Sistemas de Salud* y sus efectos discriminatorios ha sido ampliamente

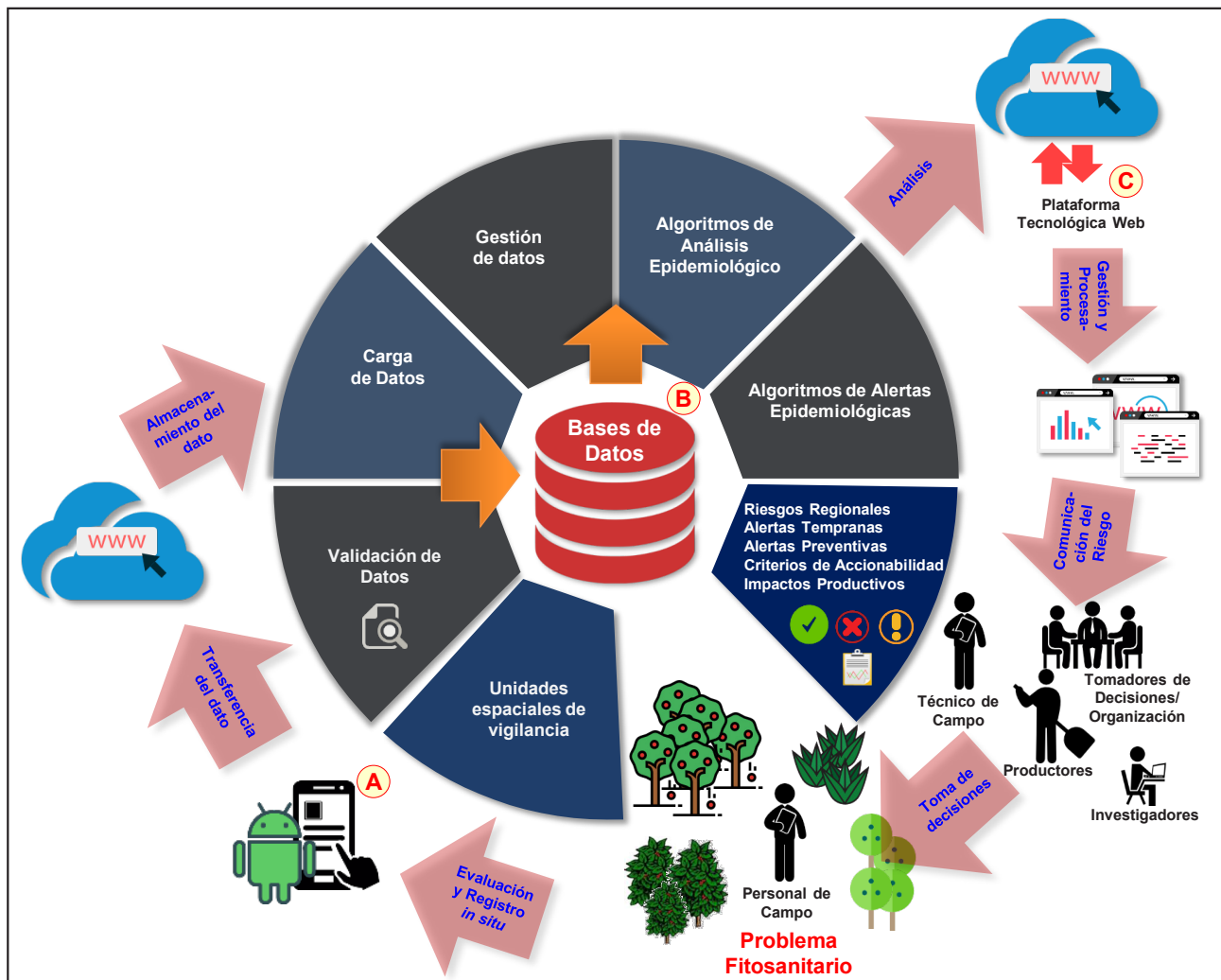


Figure 9. Integrative model of digital technology applicable to the development and processing of data in a web-based *Epidemiological Surveillance System*. Source: Mora-Aguilera *et al.*, 2021a.

Figura 9. Modelo de integración de tecnología digital aplicable a la generación y gestión web de datos de un *Sistema de Vigilancia Epidemiológico*. Fuente: Mora-Aguilera *et al.*, 2021a.

epidemics, represented as cumulative curves of clinical cases per country (Dong *et al.*, 2020), violate population and *contagion* conceptions. Consequently, SIR (Susceptible, Infected or Recovered subpopulation), logistic, Gompertz and other models (Moein *et al.*, 2021, Mwalili *et al.*, 2020; Holmdahl and Buckee, 2020; Alanazi *et al.*, 2020; Cooper *et al.*, 2020) have failed in their predictive ability, and ‘*curve flattening*’ for mitigation purposes, lacks biological and

documentado (CEPAL y OPS, 2021; Velázquez, 2021; Frenk, 2003). La consecuencia lo ilustra con los ciclos epidémicos sucesivos COVID-19, independientemente del porcentaje poblacional inmunizada, y los cambios de prevalencia con nuevas variantes virales, Ómicron la más reciente, reportada por primera vez en el continente africano con 5% de vacunación. Mientras se escribe, los Países Bajos y varios europeos reasumían por enésima vez el confinamiento severo, ante masivo *contagio* por



operational support. Country/state scale curves are descriptive but not inferential. *Population-contagion*, the great infectious epidemics paradigm has been poorly understood and applied in COVID-19.

3. **The Epidemiological System (ES)**. Medical epidemiology restricts its rational framework to the '*epidemic triad*' and more often to the *chain of infection*. Both are restrictive. They are defined by a deterministic infectious process and limited to 3 or 6 events. An *Epidemiological System* open to  $n$ -subsystems, with the healthy population (*not the sick!*) as the main axis and integrator of  $n$ -causal factors and  $n$ -determinants of health, in conjunction with the environment (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a); constitutes an alternative to establish the comprehensive rational framework for holistic-systemic intervention of epidemics occurrence risk (*prevention*) and for mitigation of the effects (*prevention and cure*).
4. The **community** is defined by  $n$ -individuals belonging to a territorial *sub-population*, <sub>$i$</sub>  ( $SP_{N-i}$ ) that exhibit functional relationships in time and space. They  $n$ -individuals are organized in  $n$ -clusters <sub>$j$</sub>  and  $n$ -subclusters <sub>$j$</sub>  defined by spatial dependencies determined by structural and functionally articulated roles and community values of co-responsibility and coexistence. The  $n$ -individuals of  $n$ -subclusters <sub>$j$</sub>  operate as *subjects of health* and as *subjects at risk* of disease and should therefore be active participants in a *preventive* and risk mitigation model. Individuals of this subpopulation, integrated into a digital *Surveillance System*, can communicate their health status in real-time driven by their values and because it suits to their belonging community. Not by an external imposition (Mora-Aguilera *et al.*, 2021b). Current epidemic management

Ómicron configurando la quinta ola epidémica. En este contexto, la salud como negocio es ignominiosa (Vivas, 2021). Especular en la bolsa de valores con soluciones para Ómicron debería penalizarse tanto como se criminaliza a la sociedad su aparente negligencia preventiva a COVID-19 (Europa Press, 2021).

El análisis histórico de epidemias, y de la gestión pandémica/epidémica de COVID-19, permite identificar limitaciones conceptuales y metodológicas que restringen la comprensión mecanística y los alcances de estrategias de intervención epidémica (Figura 8):

1. **La población ( $P_N$ )** define un proceso epidémico en tanto que enmarca el proceso de *contagio*. En COVID-19 se ha omitido que la *población* posee una *estructura y función* multidimensional y que está acotada en *tiempo y espacio*. Los sistemas públicos web de '*vigilancia*' o trazabilidad COVID-19 articulan sus indicadores en una *población territorial* que no representa el fenómeno de *contagio* efectivo. Así, la curva o mapa del estatus epidémico de México es solo una representación numérica de casos COVID-19 en el tiempo o espacio pero no permite su intervención ya que las tasas de *contagio* no son estructural y funcionalmente reales. La población territorial (sexo, edad, etnia, comorbilidad, ocupación, etc.) es valiosa en modelos dinámicos de riesgo multivariados espacio-temporales. No aplica para modelos epidemiológicos clásicos. La limitación es que los países, y la OMS como ente líder, carecen de *Sistemas de Vigilancia* digitales concebidos para articular algoritmos automatizados en tiempo real para toma de decisiones *preventivas* y gestión de riesgos regionales comunitarios (Figura 9) (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a; Mora-Aguilera *et al.*, 2021b).

considers the population as a continuous unit and unconnected of multiple, concrete and quantifiable risk realities. A black-box of confused effects. It confers to the population a passive role on decisions and claim responsible for failures on the adoption of strategies decided without its involvement. Strategies that do not resolve the causation of *Public Health Systems* deterioration currently disarticulated obsolete and *de facto* privileging health as a business strategy and *cure* as a paradigm.

#### 8. EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE IN HUMAN, ANIMAL AND PLANT HEALTH. ONE HEALTH

In a previous work, the need for holistic-systemic *Epidemiological Surveillance Systems* (ESS), required for application of *preventive* models to regional epidemic risk processes in agricultural crops was presented (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). The use of web technology and mobile applications allow the integration of data in structured matrices with rational criteria based on an *Epidemiological System ad hoc* to the plant health problem (Figure 9). The generation of automated relational and functional algorithms, i.e., early warnings, allows analysis and decision-making for *prevention* and *management*, i.e., mitigation of an epidemic. Data is generated in the field by multiple certified users to ensure traceability and quality of epidemiological information. These type 3 ESS differ of pathogen (pest) presence-absence systems (type 1) or quantitative spatial-temporal prevalence systems (type 2), which have strong regulatory support. Types 1 and 2 are those commonly used in *Public Health Systems* integrating information from primary and secondary health care centers. They include the sentinel model proposed by WHO and adopted by Mexico for Influenza A H1N1, and later adapted for SARS-CoV-2. Type 3 ESS have been

2. **El contagio** opera a nivel  $P_N$  estableciendo relaciones de dependencia continua o discontinua medibles en espacio-tiempo. El *contagio*, cuantificado en sus determinantes biológico, clínico y epidemiológico, aporta el atributo mecanístico de una epidemia. COVID-19 ha mostrado que la infección primaria ( $I_{p-tl,el}$ ) es múltiple, *cuasi*-sincrónica y aleatoria en tiempo ( $t$ ) y espacio ( $e$ ) trasfronterizo. Es la infección secundaria ( $I_{s-tl+n,el+n}$ ) la que puede ser operativamente cuantificable y detectable en una subpoblación- $i$  ( $SP_{N-i}$ ). Es por tanto el *contagio comunitario-j* ( $Cluster_j$ ) de la  $SP_{N-i}$  a su vez estructurado en  $n$ -*subclústeres* $_j$  de relaciones funcionales (laborales, familiares, sociales, etc.), donde debe operar la *detección temprana* para la intervención de un *foco* o *brote* COVID-19 comunitario, p.e. confinamiento (Mora-Aguilera *et al.*, 2021b). Es la intervención *espacial* de la epidemia. No la intervención de la *curva*. Las epidemias COVID-19, representadas como curvas acumulativas de casos clínicos por país (Dong *et al.*, 2020), violan las concepciones de población y *contagio*. En consecuencia, los modelos SIR (subpoblación Susceptible, Infectada o Recuperada), Logístico, Gompertz y otros (Moein *et al.*, 2021, Mwalili *et al.*, 2020; Holmdahl and Buckee, 2020; Alanazi *et al.*, 2020; Cooper *et al.*, 2020) han fallado en su capacidad predictiva, y el '*aplanamiento de la curva*' con fines de mitigación, carecen de sustento biológico y operativo. Las curvas de escala de país/estado son descriptivas pero no inferenciales. La *población-contagio*, el gran paradigma de las epidémicas infecciosas ha sido pobremente entendido y aplicado en COVID-19.
3. **El Sistema Epidemiológico** (SE). La epidemiología médica restringe su marco racional a la '*triada epidémica*' y con más frecuencia

developed in Mexico, with different application and consolidation levels, in coffee (*Coffea* spp.), blue agave (*Agave tequilana*) and citrus (*Citrus* spp.) by DGSV (SENASICA) responsible for national Plant Health (Moral-Aguilera *et al.*, 2021a; Mendoza-Ramos *et al.*, 2021; López-Bautista *et al.*, 2020; Coria-Contreras *et al.*, 2019; Flores-Sánchez *et al.*, 2017).

The epidemiological principles of ESS type 3 were applied in development of a real-time digital prototype applied to the *prevention* of SARS-CoV-2 community transmission risks. The fundamental premise is that interruption of *contagion* chains is most effective at the community cluster-subcluster level due to the spatial dependence of risks identified, assessed, and automatically communicated to the immediate social environment. The horizontal integration of community actors in a digital system applied to the early detection of infection, confinement, clinical traceability, and safe reintegration of the individual into his/her family-social-labor cluster-subcluster would guarantee co-responsibility in essential public health decisions under the participatory *prevention* principle. The notion of population as a ‘herd’ or passive entity in the solution of a public health problem is abandoned (Mora-Aguilera *et al.*, 2021b).

This prototype, called SMAT COLPOS, was applied in an academic-research work environment of Postgraduate Collage in Agriculture Science (CP) from September to December 2020, during a critical incidence phase of SARS-CoV-2 positive cases and maximum social-labor restriction in the State of Mexico and CDMX, typified by the Health Ministry with a ‘red traffic light’. The system successfully validated the fundamental premise and the risk management operative model. The second stage of the prototype development is upon the interest of Health Ministry. The management phase

a la *cadena de infección*. Ambos son restrictivos. Los define un proceso determinístico infeccioso y se acota a 3 ó 6 eventos. Un *Sistema Epidemiológico*, abierto a *n*-subsistemas, con la población saludable (¡no la enferma!) como eje central e integrador de *n*-factores causales y *n*-determinantes de salud, en conjunción con el ambiente (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a); constituye una alternativa para establecer el marco racional para la comprensión, e intervención holístico-sistémica del riesgo de ocurrencia una epidemia (*prevención*) y la mitigación de sus efectos (*prevención y cura*).

4. La **comunidad** se define por *n*-individuos pertenecientes a una *subpoblación*<sub>*i*</sub> territorial ( $SP_{N_i}$ ) que exhiben relaciones funcionales en tiempo-espacio. Se organizan en *n-clústeres*<sub>*j*</sub> y *n-subclústeres*<sub>*j*</sub> definidos por dependencias espaciales determinadas por roles articulados estructural y funcionalmente, pero también por valores comunitarios de corresponsabilidad y convivencia. Los *n*-individuos del *n-subclústeres*<sub>*j*</sub> operan como *sujetos de salud* y como *sujetos de riesgo* de enfermedad, por lo que deben ser actores activos en un modelo *preventivo* y de mitigación de riesgos. Los individuos de esta subpoblación, integrada a un *Sistema de Vigilancia* digital, puede comunicar su estado de salud en tiempo real impelido por sus valores y porque así conviene a su *comunidad* de pertenencia. No por una imposición externa (Mora-Aguilera *et al.*, 2021b). La gestión epidémica actual considera a la población como una unidad continua e inconexa de múltiples realidades de riesgos concretos y cuantificables. Una caja Negra de efectos confundidos. Confiere a la población un rol pasivo en las decisiones y lo responsabiliza de fallas en adopción de estrategias decididas fuera de su entorno, pero que no resuelven de raíz el deterioro de los *Sistemas*

has not been easy, understandably in the absence of policies with cross-cutting health visions.

The ‘one health’, a goal for a new ‘health architecture’ that the WHO has recognized as an international need structurally articulated to countries to face COVID-19 pandemic and future epidemics, is easier in political conception than in operationalization (<https://www.who.int/es/news-room/commentaries>). The risk of turning politics into bureaucracy can be as dangerous for public health as the epidemic itself. The ‘one health’ for WHO applies to human and animal health, but the model is incomplete if plant health is not included because it is involved in *food quality* and *safety*, directly associated with human and animal health determinants, and also because it is essential condition in *food security*, linked to malnutrition and famine, which constitute risk factors for human diseases.

## 9. PERSPECTIVES

The SARS-CoV-2 coronavirus, causing COVID-19, zoonotic in nature, and with humans as the sole transmission vehicle, has surpassed all historical pandemic agents in host-adaptive parasitic speed; effective geographic dispersal of the primary inoculum; the complexity of the infective process; tissue, pathogenic, and clinical tropism; and population structure with highly dynamic lineages due to mutagenic capacity (Lee *et al.*, 2021; Hamed *et al.*, 2021; Saito *et al.*, 2021; O’Toole *et al.*, 2021). Worldwide reproduction rates of  $R_t > 1$  are congruent with more transmissible variants, such as Delta and Omicron, as an attribute of sublethal survival. For instance, Mexico has maintained maximum  $R_t$  of 1.15, 1.26 and 1.01 in its three epidemic waves.

However, SARS-CoV-2 had not exhibit the mortality rate and case-fatality of other organisms

*de Salud Pública*, actualmente desarticulados y obsoletos privilegiando *de facto* la salud como negocio y la *cura* como paradigma.

## 8. VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA HUMANA, ANIMAL Y VEGETAL. UNA MISMA SALUD

En un trabajo previo se expuso la necesidad de *Sistemas de Vigilancia Epidemiológica* (SVE), holístico-sistémicos, para la aplicación de modelos *preventivos* con el fin de intervenir riesgos epidémicos regionales en cultivos agrícolas (Mora-Aguilera *et al.*, 2021a). El empleo de tecnología web y aplicaciones móviles permite la integración de datos en matrices estructuradas con criterios racionales fundamentados en un *Sistema Epidemiológico ad hoc* al problema fitosanitario (Figura 9). La generación de algoritmos automatizados racionales y funcionales, i.e., alertas tempranas permiten el análisis y toma de decisiones para la *prevención* y *manejo*, i.e., mitigación de una epidemia. El dato se genera en campo por múltiples usuarios certificados para garantizar la trazabilidad y calidad de la información epidemiológica. Estos SVE tipo 3, difieren de los sistemas presencia-ausencia de un patógeno (plaga) (tipo 1), o de sistemas cuantitativos de prevalencia espacial-temporal (tipo 2), los cuales tienen un fuerte soporte normativo. Los tipos 1 y 2 son los que se emplean comúnmente en los *Sistemas Públicos de Salud* integrando información de centros primarios y secundarios de atención de salud. Incluyen el modelo centinela propuesto por la OMS y adoptado por México para Influenza A H1N1, y posteriormente adaptado para SARS-CoV-2. Los SVE tipo 3 se han desarrollado en México, con distinto nivel de aplicación y consolidación, en café (*Coffea* spp.), agave azul (*Agave tequilana*) y cítricos (*Citrus* spp.) por la DGSV (SENASICA) responsable de la sanidad vegetal nacional (Moral-Aguilera *et al.*, 2021a;



despite the risk factors multiplicity inherent in current human populations. These include chronic non-infectious diseases and occupational, social and urban environments prone to *contagion* due to high mobility and social proximity (WHO, 2021a; Davis *et al.*, 2021; Alvarez-Maya *et al.*, 2021). Moreover, case-fatality has decreased from 11.1 - 15.2%, the maximum range at epicenters of first 2020 pandemic cycle, to 2.5% global average actual (Ritchie *et al.*, 2020; <https://ourworldindata.org/mortality-risk-covid#citation>). In contrast, other recent epidemic/pandemic processes have exhibited higher levels, in absolute values, such as those associated to **Ebola** 40%, **MERS** 34%, **Influenza A H1N1** 10%, and **SARS-2002** 10%. There are not historical case-fatality estimates due to the incipient hospital system, with clinical traceability and epidemiological methodologies limited; however, it is possible to infer, based on estimated mortalities, that case-fatality was also higher in **Black Death**, **Spanish Flu** and **Smallpox** with 60%, 50% and 30% mortality of European population, respectively.

The seasonal influenza, predominantly caused by the Influenza A H1N1 virus (<https://www.paho.org/es/temas/influenza-otros-virus-respiratorios>), decreased from 2009 (10% maximum) to 0.1-0.2% annually in endemic condition (Ritchie *et al.*, 2020; Roser *et al.*, 2014; Wong *et al.*, 2013). The endemic transition of SARS-CoV-2 is also highly probable due to its epidemic and pathogenic characteristics, with decreasing case-fatality as a natural adaptive process to the host. The later, not exclusively due to the vaccination process as has been implied. The restricted pathogenic aggressivity of Omicron, the most recent variant, but with the highest transmissibility in Africa, with less than 6% of the population vaccinated, shows the expected biological tendency of an obligated parasite as previously discussed in this work. (<https://elpais>.

Mendoza-Ramos *et al.*, 2021; López-Bautista *et al.*, 2020; Coria-Contreras *et al.*, 2019; Flores-Sánchez *et al.*, 2017).

Los principios epidemiológicos de SVE tipo 3 fueron aplicados en el desarrollo de un prototipo digital tiempo-real aplicado a la *prevención* de riesgos de *contagio* comunitario de SARS-CoV-2. La premisa fundamental es que la interrupción de cadenas de *contagio* es más efectiva a nivel de clúster-subclúster comunitarios debido a la dependencia espacial de riesgos identificados, evaluados y automáticamente comunicados al inmediato entorno social. La integración horizontal de los actores comunitarios en un sistema digital aplicado a la detección de infección temprana, confinamiento, trazabilidad clínica y reinserción segura del individuo a su clúster-subclúster familiar-social-laboral garantizaría la corresponsabilidad en decisiones esenciales de salud pública bajo el principio de *prevención* participativa. Se abandona la noción de la población como ‘*rebaño*’ o ente *pasivo* en la solución de un problema de salud pública (Mora-Aguilera *et al.*, 2021b).

Este prototipo, denominado SMAT COLPOS fue aplicado en un entorno laboral académico-investigación del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (CP) de septiembre a diciembre 2020, durante una fase crítica de incidencia de casos positivos a SARS-CoV-2 y restricción máxima social-laboral en el Edo. de México y CDMX tipificada por la Secretaria de Salud con ‘*semáforo rojo*’. El sistema validó con éxito la premisa fundamental y el modelo operativo de gestión de riesgos. La segunda etapa del desarrollo del prototipo actualmente está en función del interés de la Secretaria de Salud. La fase de gestión no ha sido fácil, comprensible ante la ausencia de políticas con visiones de salud transversales.

Una ‘*sola salud*’, una meta para una nueva ‘*arquitectura sanitaria*’ que la OMS ha reconocido

[com/sociedad/2021-12-18/los-primeros-estudios-en-sudafrica-apuntan-que-omicron-se-contagiamas-rapido-pero-con-sintomas-mas-leves.html](https://www.sociedad2021-12-18/los-primeros-estudios-en-sudafrica-apuntan-que-omicron-se-contagiamas-rapido-pero-con-sintomas-mas-leves.html)).

However, the design of innovative *preventive* strategies at the community ambulatory level, linked to *Epidemiological Surveillance Systems*, is obligated for the following reasons:

- The clinical course of the disease is unpredictable.
- Clinical diagnosis is restrictive and may depend on the viral variant.
- Similarity of some symptoms to other respiratory diseases
- Requirement of specialized diagnostic tests
- Absence of a vaccine with absolute and permanent effectiveness
- Limited *curative* antivirals (Molnupiravir and Paxlovid)
- Global and national politicization by health emergency management
- Limited infrastructure and human resources in *Public Health Systems*
- *Cure* is the paradigm of the *patient-disease* model. Costly and palliative.

Expectations of a ‘*new normality*’ by mid-2020, as a result of severe mobility restrictions and social distancing, were soon overtaken by successive epidemic waves. Some countries are currently exhibiting the fifth epidemic wave with return to confinement and additional measures previously employed. In Germany, Great Britain, USA, India and Brazil, the effects of subsequent waves were even greater, practically collapsing their *Health Systems* (Ap *et al.*, 2021b; Dong *et al.*, 2020). Surprisingly, the third pandemic wave, which started in the first quarter of 2021, proved that vaccination is not the absolute solution. Current public data have evidenced that SARS-CoV-2 infection may occur independently of immunization although

como una necesidad internacional estructuralmente articulada a los países ante la pandemia COVID-19 y futuras epidemias, es fácil en la concepción política que en su operativización (<https://www.who.int/es/news-room/commentaries>). El riesgo de convertir política en burocracia puede ser tan peligroso para la salud pública como la epidemia misma. Una ‘*sola salud*’ para la OMS aplica a la *humana* y *animal*, pero el modelo es incompleto si no se suma la *vegetal* por su implicación en la *calidad* e *inocuidad de alimentos*, directamente asociada a determinantes de salud humana y animal y por su condición esencial en la *seguridad alimentaria* vinculada con desnutrición y hambrunas que constituyen factores de riesgo de enfermedades en humanos.

## 9. PERSPECTIVAS

El coronavirus SARS-CoV-2, causante de COVID-19, de naturaleza zoonótica, y con el ser humano como único vehículo de transmisión, ha superado todos los agentes pandémicos históricos en su velocidad parasítica adaptativa al huésped; dispersión geográfica efectiva del inóculo primario; complejidad del proceso infeccioso, tropismo tisular, patogénico y clínico; y estructura poblacional con linajes altamente dinámicos debido a su capacidad mutagénica (Lee *et al.*, 2021; Hamed *et al.*, 2021; Saito *et al.*, 2021; O’Toole *et al.*, 2021). Tasas de reproducción mundial de  $R_t > 1$  son congruentes con variantes más transmisibles, como Delta y Ómicron, como atributo de sobrevivencia subletal. Por ejemplo, México, ha mantenido  $R_t$  máximas de 1.15, 1.26 y 1.01 en sus tres ciclos epidémicos. Sin embargo, este virus no ha exhibido la mortalidad y letalidad de otros patógenos a pesar de la multiplicidad de factores de riesgo inherentes a las poblaciones humanas actuales. Entre estos se incluyen enfermedades crónicas no infecciosas y

with lower mortality risk. It is also clear that Delta and Omicron, the most recent variant, have reduced the vaccines immunological capacity (Townsend *et al.*, 2021; WHO, 2021c). In countries, mainly in the G7 block, where 80% of the population, or more is vaccinated with full doses, it was found that ‘herd immunity’, originally established with a theoretical 60-70% threshold (Aschwanden, 2021), is not operating. This is explained by the temporary immunity conferred by vaccines, active virus variations, and asymmetric vaccination worldwide. In this context, Mexico ended the third epidemic wave with 46% of the population with a complete dose (SSA, 2021), and apparently faces the fourth epidemic cycle with 52% immunized, it is apparently facing the fourth epidemic cycle (Datosmacro, 2021b).

In this pandemic, cyclical context with strong social, educational, cultural, spiritual and economic implications, at least five explanations have been publicly given for the failure in resolving the health crisis caused by COVID-19 (ONU, 2021; Afp, 2021e; Navarrete, 2021; Afp, 2021d; Europa Press, 2021; Li *et al.*, 2021; Afp *et al.*, 2021a):

- The amazing worldwide research, developed mainly at the clinical, immunological, histological and genomic levels, is coopted by the large pharmaceutical-consortiums in collusion with their governments.
- The inequitable vaccines distribution with 80-90% of the world’s population, represented in 56 countries, without access to any biological. As a result, ‘herd immunity’ is not generated and the emergence of new viral variants may continue.
- The refusal of pharmaceutical consortiums to release immunological patents. This makes impossible to include poor countries to the cure option.
- Protectionist policies limit the authorization, by WHO and other agencies, of vaccines from

ambientes laborales, sociales y urbanos proclives al *contagio* debido a la alta movilidad y proximidad social (OMS, 2021a; Davis *et al.*, 2021; Álvarez-Maya *et al.*, 2021). Más aun, la letalidad ha disminuido de 11.1 – 15.2%, rango de picos máximos en los epicentros del primer ciclo pandémico 2020, a 2.5% promedio mundial actual (Ritchie *et al.*, 2020; <https://ourworldindata.org/mortality-risk-covid#citation>). En contraste, otros procesos epidémicos/pandémicos recientes han tenido niveles más altos, en valores absolutos, como los asociados al **Ebola** 40%, **MERS** 34%, **Influenza A H1N1** 10%, y **SARS-2002** 10%. No existen estimaciones históricas de letalidad debido al sistema hospitalario incipiente, con limitada trazabilidad clínica y acotadas metodologías epidemiológicas; pero se puede inferir, a partir de mortalidades estimadas, que la letalidad también fue mayor en la **Peste Negra**, **Gripe Española** y **Viruela** con 60%, 50% y 30% de mortalidad de la población europea, respectivamente. La influenza estacional, predominantemente causada por el virus Influenza A H1N1 (<https://www.paho.org/es/temas/influenza-otros-virus-respiratorios>), disminuyó su letalidad del 2009 (10% máximo) a 0.1-0.2% anual en su condición endémica (Ritchie *et al.*, 2020; Roser *et al.*, 2014; Wong *et al.*, 2013). La transición endémica de SARS-CoV-2 también es altamente probable considerando las características epidémicas y patogénicas, con decrecimiento de su letalidad como evolución natural adaptativa al huésped. No debido exclusivamente al proceso de vacunación como se ha implicado. La limitada agresividad patogénica de Ómicron, la más reciente variante, pero con mayor transmisibilidad en África, con menos del 6% de población vacunada, evidencia la tendencia biológica esperada de un *parásito obligado* como se ha discutido en este trabajo (<https://elpais.com/sociedad/2021-12-18/los-primeros-estudios-en-sudafrica-apuntan-que-omicron-se-contagia-mas-rapido-pero-con-sintomas-mas-leves.html>).

China and Russia. Some countries / sectors of the population refuse to apply these vaccines, e.g., Sinovac and Sputnik V.

- Society rejects, or partially adopts mitigation measures. Thus it justifies the implementation of coercive measures (fines, jail, access control to public places, etc.).

However, these arguments elude the real omission to resolve the health emergency. It is evident that at the global level, under WHO guidelines and the countries health policies, the SARS-CoV-2/COVID-19 pandemic/epidemic management lacks a comprehensive *pansystemic model* for a sustainable and resilient solution, based on systemic research, public policies, and *Health Systems* operative model innovations.

This comprehensive *pansystemic model* is absent and unfeasible based on current global COVID-19 management: the *Public Health Systems* have had a gradual over time deterioration in proportion to the abandonment of *prevention* as a foundational principle and the *cure* adoption as a profitable *patient-disease* strategy. Consequently, planning, operational and scientific support structures are not sufficiently solid for a harmonized international-regional decision-making, and for correct rationalization, implementation and intervention of the epidemic process. COVID-19 constitutes an opportunity to eliminate bureaucracy and innovate the *Public Health System*.

It is necessary to recognize that the **vaccination/antivirals** reductionist vision and the **hygienist measures**, which worked in other historical pandemic/epidemic contexts, **do not constitute**:

1. A systemic organic model.
2. A choice in the hypernode and multiple dependent global structure of the consumption economy.

No obstante, es impostergable el diseño de estrategias innovadoras *preventivas* a nivel ambulatorio comunitario, articuladas a *Sistemas de Vigilancia Epidemiológica*, por las siguientes razones:

- La evolución clínica de la enfermedad es impredecible
- El diagnóstico clínico es restrictivo y puede depender de la variante viral
- Similitud de algunos síntomas con otras enfermedades respiratorias
- Requerimiento de pruebas de diagnóstico especializadas
- Ausencia de una vacuna con efectividad absoluta y permanente
- Antivirales *curativos* limitados (Molnupiravir y Paxlovid)
- Politización mundial y nacional por gestión de la emergencia de salud
- Infraestructura y recursos humanos limitados en *Sistemas Públicos de Salud*
- La *cura* es el paradigma del modelo *paciente-enfermedad*. Costoso y paliativo.

Las expectativas de ‘*nueva normalidad*’ previstas para mediados de 2020, como resultado de severas restricciones de movilidad y distanciamiento social, pronto fueron superadas por sucesivos ciclos epidémicos (olas epidémicas). Actualmente, algunos países ya exhiben el quinto ciclo epidémico retornado al confinamiento y medidas adicionales previamente empleadas. En Alemania, Gran Bretaña, EUA, India y Brasil, los efectos de ciclos posteriores fueron incluso mayores colapsando prácticamente sus *Sistemas de Salud* (Ap *et al.*, 2021b; Dong *et al.*, 2020). Sorprendentemente, la tercera ola pandémica, que comenzó el primer trimestre de 2021 demostró que la vacunación no es la solución absoluta. Datos públicos actuales han evidenciado que la infección SARS-CoV-2 puede



3. The essence of a *preventive* health paradigm.
4. Sustainable solutions for an environment with strong anthropogenic intervention that triggers mutagenic and zoonotic microbiological effects and multiple health determinants.
5. A stimulus for the development of holistic-systemic *Epidemiological Surveillance Systems*.

The ‘one health’, a goal for a new ‘*health architecture*’ that the WHO has recognized as an international necessity in to face COVID-19 pandemic and future epidemics (<https://www.who.int/es/news-room/commentaries>), is possible if the systematic deterioration of the *Public Health Systems* is reversed, *prevention* is reinstated as the guiding principle, and the *patient-disease* model is reconfigured within an integral, inclusive and human model.

## CONCLUSIONS

The SARS-CoV-2/COVID-19 pandemic had demonstrated that, despite the great scientific-technological advances, highly specialized human talent, and historical epidemics and pandemics experiences, which allowed the evolution of a conceptual theory and a methodological operational framework, private and *Public Health Systems* lack a ***pansystemic model*** to articulate rational and operational ***regional models***. Thus a *preventive epidemiological surveillance system*, required for decision-making on risk management and epidemic intervention is missing or fragile. Public policies, in turn, showed the absence of *State’s* health plan vision due to the gradual adoption *de facto* of *curative* and individualized approaches promoted by the pharmaceutical industry. As a result, diagnostic, clinical, and hospital-based strategies have prevailed over effective community-based outpatient strategies. The fact that *prevention*

ocurrir independientemente de la inmunización aunque con menor riesgo de mortalidad. También es claro que Delta y Ómicron, la variante más reciente, han reducido la capacidad inmunológica de vacunas (Townsend *et al.*, 2021; WHO, 2021c). En países, principalmente del boque G7, donde 80% o más de la población esta vacunada con dosis completa, se comprobó que la ‘*inmunidad rebaño*’, originalmente establecida con un umbral teórico de 60-70% (Aschwanden, 2021), no está operando. Lo explica la inmunidad temporal conferida por las vacunas, variaciones activas del virus, y vacunación asimétrica a nivel mundial. En este contexto, México finalizó la tercera ola epidémica con 46% de la población con dosis completa (SSA, 2021), y aparentemente enfrenta el cuarto ciclo epidémico con 52% inmunizados. (Datosmacro, 2021b).

En este contexto pandémico, cíclico y con fuertes implicaciones sociales, educativas, culturales, espirituales y económicas se han propuesto al menos cinco explicaciones por las cuales no se logra una solución a la crisis de salud causada por COVID-19 (ONU, 2021; Afp, 2021e; Navarrete, 2021; Afp, 2021d; Europa Press, 2021; Li *et al.*, 2021; Afp *et al.*, 2021a):

- La sorprendente investigación mundial, desarrollada principalmente a nivel clínico, inmunológico, histológico y genómico, esta coaptada por intereses de grandes consorcios farmacéuticos en colusión con sus gobiernos.
- La inequitativa distribución de vacunas con 80-90% de la población mundial, representada en 56 países, sin acceso a ningún biológico. Por ello, no se genera la ‘*inmunidad rebaño*’ y continúa la aparición de variantes virales.
- La negativa de consorcios farmacéuticos de liberar patentes de inmunológicos. Imposibilita la inclusión de países pobres al acceso de la *cura*.
- Políticas proteccionistas limitan la autorización, por la OMS y otras agencias, de vacunas

anticipates and intervenes in community contagion chains is overlooked. It is the functional space relations for assessing and risk community intervention. The great paradigm of infectious epidemics, the *population-contagion*, has been poorly understood and applied in COVID-19.

Almost two years after the health emergency, the global strategy shows the following trends: **1.** The human activities ‘normality’ has not been restored; **2.** The pandemic maintains dynamic waves in time with a succession of SARS-CoV-2 variants with increasing transmissibility; **3.** Countries with greater mobility, and density populated urban centers have had the highest contagious and mortality rates regardless of their economic development; **4.** Social distancing and confinement, periodically recurrent strategies, and mass vaccination have not contained the pandemic process; **5.** *Public Health Systems* have been recurrently overwhelmed in high COVID-19 incidence urban cities; **6.** The research agenda is determined by pharmaceutical consortiums focused on generating of vaccines and antivirals under a *curative* clinical approach.

It is necessary to reinforce the biological, pathogenic and epidemiological understanding of SARS-CoV-2 through evolutionary studies to elucidate virulence, aggressiveness, transmission, tissue tropism, and disease expression. In addition, coronavirus phylogeography from an animal source(s); dynamic studies of variable genomic regions that determine human adaptability of new variants; and generation of predictive genomic models are urgent upon active zoonotic coronaviruses migration to humans on the last 20 years, including PDCoV, HCoV-NL63, MERS-CoV, SARS-CoV 2003, SARS-CoV-2.

de China y Rusia. Algunos países/sectores de la población rechazan aplicarse esas vacunas, p.e., Sinovac y Sputnik V.

- La sociedad rechaza o adopta parcialmente las medidas de mitigación. Justifica la implementación de medidas coercitivas (multa, cárcel, acceso controlado a lugares públicos, etc.)

Sin embargo, estos argumentos eluden la verdadera omisión en la solución de la emergencia sanitaria. Es evidente que a nivel global, bajo los lineamientos de la OMS, y de las políticas en materia de salud de los países, la gestión pandémica/epidémica de SARS-CoV-2/COVID-19 carece de un **modelo pansistémico** integral de solución, sustentable y resiliente, basado en la innovación sistémica del proceso de investigación, la innovación de política pública y la innovación del modelo operativo de los *Sistemas de Salud*.

Este **modelo pansistémico** integral es inexistente e inviable en el contexto actual por una razón también evidente ante los efectos mundiales de COVID-19: los *Sistemas Públicos de Salud* han tenido una gradual depauperación proporcional al abandono de la *prevención* como principio fundacional y de la *adopción* de la *cura* como estrategia *paciente-enfermedad* mercantilizada. En consecuencia, no existen las estructuras de planeación, operación y soporte científico suficientemente robustas para una interlocución internacional-regional armonizada y para la correcta racionalización, implementación e intervención del proceso epidémico. COVID-19 constituye una oportunidad para desburocratizar, transformar e innovar los procesos de salud pública.

## LITERATURE CITED

- Afp y BBC. 2021. Oxford: podría haber vacuna contra ómicron “muy rápido”. DW.COM. (27 noviembre, 2021). <https://p.dw.com/p/43ZOQ>
- Afp y Reuters. 2021. La variante delta redujo a 40% la eficacia de las vacunas, advierte la OMS. La Jornada. (25 noviembre, 2021). <https://www.jornada.com.mx/2021/11/25/politica/014n1pol>
- Afp, Ap y Europa Press. 2021. Pedirá Pfizer autorización para su pastilla contra el Covid antes de fin de mes. La Jornada. (6 de noviembre, 2021a). <https://www.jornada.com.mx/2021/11/06/politica/010n1pol>
- Afp, Ap y Reuters. 2021. Acaparamiento de vacunas, inmoral y estúpido, estalla secretario de la ONU. La Jornada. (09 de octubre, 2021b). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/10/09/politica/acaparamiento-de-vacunas-inmoral-y-estupido-estalla-secretario-de-la-onu/>
- Afp, Reuters, y Ap. 2021. Inequidad en vacunación, causa de mutaciones: activista. La Jornada. (04 diciembre, 2021e). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/12/04/politica/inequidad-en-vacunacion-causa-de-mutaciones-activista/>
- Afp. 2021. Lanza OMS nuevo plan contra el Covid; pide fondos por 23 mil mdd. La Jornada. (28 de octubre, 2021c). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/10/28/mundo/lanza-oms-nuevo-plan-contra-el-covid-pide-fondos-por-23-mil-mdd/>
- Afp. 2021. China y Rusia piden al G20 reconocimiento mutuo de vacunas anti Covid. La Jornada. (30 de octubre, 2021d). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/10/30/mundo/xi-y-putin-piden-reconocimiento-mutuo-de-vacunas-en-el-g-20>
- Aime MC. 2006. Toward resolving family-level relationships in rust fungi (Uredinales). *Mycoscience* 47:112–122. <https://doi.org/10.1007/s10267-006-0281-0>
- Alanazi SA, Kamruzzaman MM, Alruwaili M, Alshammari N, Alqahtani SA and Karime A. 2020. Measuring and preventing COVID-19 using the SIR model and machine learning in smart health care. *Journal of Healthcare Engineering* 2020: 8857346 <https://doi.org/10.1155/2020/8857346>
- Alvarado-Alvarado G, Posada-Suárez HE y Cortina-Guerrero HA. 2005. Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. *Avances Técnicos Cenicafe* 337:1-8. <https://www.cenicafe.org/publications>avt0337>
- Ap, Dpa y Reuters. 2021. Alemania: emergencia nacional por Covid. La Jornada. (20 de noviembre, 2021b). <https://www.jornada.com.mx/2021/11/20/politica/009n1pol>
- Ap. 2021. Autoriza Reino Unido la primera pildora contra el Covid. La Jornada. (11 de abril de 2021a). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/11/04/mundo/autoriza-reino-unido-la-primera-pildora-contra-el-covid/>
- Aschwanden C. 2021. Five reasons why COVID herd immunity is probably impossible. *Nature* 591: 520-522. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00728-2>
- Avelino J, Cristancho M, Georgiou S, Imbach P, Aguilar L, Bornemann G, Läderach P, Azueto F, Hruska AJ and Morales C. 2015. The coffee rust crises in Colombia and
- Es necesario admitir que la visión reduccionista de la **vacunación/antivirales** y de **medidas higienistas** que funcionaron en otros contextos históricos pandémicos/epidémicos **no constituyen**:
1. Un modelo orgánico sistémico.
  2. Una opción en la estructura de consumo hiper-nodal y multidependiente mundial.
  3. La esencia de un paradigma *preventivo* de salud.
  4. Soluciones sustentables para un ambiente con fuerte intervención antropogénica que desencadena efectos microbiológicos mutagénicos y zoonóticos, y factores determinantes de la salud.
  5. Un estímulo al desarrollo de *Sistemas de Vigilancia Epidemiológica* holístico-sistémicos.
- Una ‘*sola salud*’, una meta para una nueva ‘*arquitectura sanitaria*’ que la OMS ha reconocido como una necesidad internacional ante la pandemia COVID-19 y futuras epidemias (<https://www.who.int/es/news-room/commentaries>), es posible si se revierte el sistemático deterioro de los *Sistemas Públicos de Salud*, se retoma la *prevención* como eje rector, y se reconfigura el modelo *paciente-enfermedad* dentro de un modelo integral incluyente y humano.

## CONCLUSIONES

La pandemia SARS-CoV-2/COVID-19 evidenció que, no obstante los grandes avances científico-tecnológicos, talento humano altamente especializado, y la experiencia histórica de epidemias y pandémicas que permitieron la evolución de un marco teórico conceptual y metodológico operacional, los *Sistemas Públicos de Salud* y privados carecen de un *modelo pansistémico* sobre el cual articular *modelos regionales* racionales y operativos de *Vigilancia Epidemiológica preventiva* aplicables a

- Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security* 7: 303–321. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>
- Ayres PG. 2005. Harry Marshall Ward and the Fungal Thread of Death. Ed. American Phytopathological Society. 168p.
- Ballonii G. 1571. *Epidemiorum*, Lib 1. p.24, Constitutio Quarta. [https://books.google.com.mx/books?id=9fZaAAQAQAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=9fZaAAQAQAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).
- Berkeley MJ. 1846. Observations, botanical and physiological, on the potato murrain. *Journal of the Horticultural Society of London* 1: 9–34. Cited by Matta C. 2010. Spontaneous generation and disease causation: Anton de Bary's experiments with *Phytophthora infestans* and late blight of potato. *Journal of the History of Biology* 43(3): 459–91. <https://doi.org/10.1007/s10739-009-9220-1>. PMID: 20665075.
- Berkeley MJ. 1869. *Hemileia* Berk. and Broome. 1157 pp. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/103387#page/1069/mode/1up>.
- BIRMEX. 2021. Los Laboratorios de Biólogos y Reactivos de México, S.A. de C.V. (Birmex). (21 Octubre, 2021). <https://www.birmex.gob.mx/nosotros.html>
- Bots STF and Hoeben RC. 2020. Non-human primate-derived adenoviruses for future use as oncolytic agents? *International Journal of Molecular Science* 21: 4821 <https://doi.org/10.3390/ijms21144821> www.mdpi.
- Boyle R. 2014. From 'coffee rush' to 'devastating emily': A history of ceylon coffee. <http://serendib.btoptions.lk/article.php?issue=49&id=1261>
- Cáceres GG. 2012. Un momento de reflexión acerca de las vacunas. *Sanidad Militar* 68(2): 109–114. <https://doi.org/10.4321/S1887-85712012000200009>
- Callaway E. 2021. Heavily mutated Omicron variant puts scientists on alert. *Nature* 600: 21. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-03552-w>.
- Campbell CL and Madden LV. 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley & Sons. New York. 532p.
- Caponi S. 2002. La generación espontánea y la preocupación higienista por la diseminación de los gérmenes. *História, Ciências, Saúde* 9(3): 591–608. <https://doi.org/10.1590/S0104-59702002000300006>
- Carbajal B. 2021. Farmacéuticas han ganado 270 mil mdd por la pandemia. *La Jornada*. (18 de octubre de 2021). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/10/18/economia/farmacuticas-han-ganado-270-mil-mdd-por-la-pandemia/>
- Carvajal-Yepes M, Cardwell K, Nelson A, Garrett KA, Giovani B, Saunders DGO, Kamoun S, Legg JP, Verdier V, Lessel J, Neher RA, Day R, Pardey P, Gullino ML, Records AR, Bextine B, Leach JE, Staiger S and Tohme J. 2019. A global surveillance system for crop diseases. *Science* 364 (6447): 1237–1239. <https://doi.org/10.1126/science.aaw1572>
- Carvalho CR, Fernandes RC, Carvalho GMA, Barreto RW and Evans HC. 2011. Cryptosexuality and the genetic diversity paradox in coffee rust, *Hemileia vastatrix*. *PLoS ONE* 6(11): e26387. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026387>.
- toma de decisiones en manejo de riesgos y de intervención epidémica. Las políticas públicas a su vez, mostraron la ausencia de una visión de Estado en materia de salud debido a la paulatina adopción *de facto* del enfoque *curativo* e individualizado impulsado por el sector farmacéutico. En consecuencia han prevalecido estrategias de diagnóstico, clínicas y hospitalarias, sobre estrategias ambulatorias comunitarias efectivas. Se omite que la *prevención* anticipa e interviene el *contagio* en la *comunidad*. En el *espacio* de relaciones funcionales de riesgo comunitario. La *población-contagio*, el gran paradigma de epidemias infecciosas, ha sido pobremente entendido y aplicado en COVID-19.
- La estrategia global, a casi dos años de la emergencia sanitaria muestra las siguientes tendencias:
1. No se ha restablecido la 'normalidad' de las actividades humanas;
  2. La pandemia mantiene una dinámica cíclica con sucesión de variantes SARS-CoV-2 cada vez más transmisibles;
  3. Países con mayor movilidad y polos urbanos densamente poblados han tenido las tasas de *contagio* y mortalidad más altas independientemente de su desarrollo económico;
  4. El distanciamiento social y confinamiento, estrategias periódicamente reincentes, y la vacunación masiva no han contenido el proceso epidémico;
  5. Los *Sistemas Públicos de Salud* han sido rebasados recurrentemente en centros urbanos de alta incidencia;
  6. La agenda de investigación está determinada por consorcios farmacéuticos enfocados a la generación de vacunas y antivirales bajo un enfoque clínico *curativo*.
- Es necesario fortalecer la comprensión biológica, patogénica y epidemiológica de SARS-CoV-2 mediante estudios evolutivos para dilucidar virulencia, agresividad, transmisión, tropismo tisular y expresión de la enfermedad. Adicionalmente, la filogeografía del coronavirus a partir de la fuente(s) animal; el estudio dinámico de regiones genómicas variables que determinan adaptabilidad huma-



- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2006. Principles of Epidemiology in Public Health Practice. 511 p. Third Edition. <https://www.cdc.gov/csels/dsepd/ss1978/SS1978.pdf>
- Ceccon E. 2008. La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias* 1(91): 21-29. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=64411463004>.
- Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC). 2021. <https://www.isa.ulisboa.pt/en/cifc/about/history;%20https://varieties.worldcoffeeresearch.org/info/coffee/about-varieties/bourbon-and-typica>
- Centro Internacional de la Papa (CIP). 2021. Especies de Papas Silvestres. (20 noviembre, 2021). <https://cipotato.org/es/potato/wild-potato-species/>
- CEPAL y OPS. 2021. COVID-19 Informe CEPAL-OPS. La prolongación de la crisis sanitaria y su impacto en la salud, la economía y el desarrollo social. <https://hdl.handle.net/11362/47301>
- Cerda R, Avelino J, Gary C, Tixier P, Lechevallier E and Allinne C. 2017. Primary and secondary yield losses caused by pests and diseases: Assessment and modeling in coffee. *PLoS ONE* 12(1): e0169133. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169133>
- Chown SL, Hodgins KA, Griffin PC, Oakeshott JG, Byrne M and Hoffmann AA. 2014. Biological invasions, climate change and genomics. *Evolutionary Applications* 8:23-46. <https://doi.org/10.1111/eva.12234>
- Convención Internacional de la Protección Fitosanitaria (CIPF). 2016. NIMF 27 Anexo 15: Virus de la tristeza de los cítricos. [www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2017/02/DP\\_15\\_2016\\_Es\\_2017-01-31.pdf](http://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2017/02/DP_15_2016_Es_2017-01-31.pdf)
- Cooper I, Mondal A and Antonopoulos CG. 2020. A SIR model assumption for the spread of COVID-19 in different communities. *Chaos Solitons Fractals* 139: 110057. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110057>
- Coria-Contreras JJ, Acevedo-Sánchez G, Mora-Aguilera G y Martínez-Bolaños M. 2015. Modelos de pronóstico de ocurrencia regional de la roya del caféto (*Hemileia vastatrix*) en el Soconusco Chiapas. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33S: 121. <https://www.smf.org.mx/rmf/suplemento/docs/Volumen332015/Suplemento332015FULL.pdf>
- Coria-Contreras JJ, Mora-Aguilera G, Yañez-Morales MJ, Acevedo-Sánchez G, Santana-Peñaloza B, Mendoza-Ramos C, Jiménez-González L, Martínez-Bustamante VI, García-Martínez DC and Rubio-Cortés R. 2019. Applied regional epidemiology to inductive characterization and forecasting of blue agave gray spot (*Cercospora agavicola*) in Jalisco, Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology* 37(1): 71-94. <http://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1809-4>
- Datosmacro. 2021a. China - COVID-19 - Vacunas administradas. (28 Octubre, 2021a). <https://datosmacro.expansion.com/otros/coronavirus-vacuna/china>
- Datosmacro. 2021b. México - COVID-19 - Vacunas administradas. (18 Diciembre, 2021b). <https://datosmacro.expansion.com/otros/coronavirus-vacuna/mexico>
- Davis JT, Chinazzi M, Perra N, Mu K, Pastore A, Ajelli M, Dean NE, Gioannini C, Litvinova M, Merler S, Rossi L, Sun K, Xiong X, Longini IM, Halloran ME, Viboud C and Vespignani A. 2021. Cryptic transmission of SARS-CoV-2 and the first COVID-19 wave. *Nature* 600: 127-132. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04130-w>
- Davis AP, Chadburn H, Moat J, Robert O'Sullivan R, Hargreaves S and Lughadha EN. 2019. High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. *Science Advances* 5: eaav3473. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav3473>
- Davis AP, Tosh J, Ruch N and Fay MF. 2011. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical Journal of the Linnean Society* 167:357-377. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>
- Díaz J. 2021. Grupo Bayer - Datos estadísticos. (22 noviembre, 2021). <https://es.statista.com/temas/3642/grupo-bayer/#dossierKeyFigures>
- Dong E, Du H and Gardner L. 2020. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real-time. *Lancet Infectious Diseases* 20(5): 533-534. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1)
- Dyer W. 1874. The Potato Disease. *Nature* 11: 167. <https://doi.org/10.1038/011167a0>
- EFE y AFP. 2021. Bolsas de valores se hunden por temor desatado por la variante ómicron. DW.COM. (26 noviembre, 2021). <https://p.dw.com/p/43YmA>
- Empraba. 2021. Cultivares de Café da Embrapa. <https://www.embrapa.br/cultivar/cafe>
- Escobar LE, Ryan SJ, Stewart-Ibarra AM, Finkelstein JL, King CA, Qiao H and Polhemus ME. 2015. A global map of suitability for coastal *Vibrio cholerae* under current and future climate conditions. *Acta Tropical* 149: 202-211. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2015.05.028>
- Escobar-Gutierrez A, Martínez-Guarneros A, Mora-Aguilera G, Vazquez-Chacon CA, Acevedo-Sanchez G, Sandoval-Díaz M, Villanueva-Arias JC, Ayala-Chavira N, Vargas-Amado ME and Alvarez-Maya I. 2020. The First exploratory spatial distribution analysis of tuberculosis and associated factors in Tonalá, Mexico. *The Journal of Infection in Developing Countries* 14(2): 207-213. <https://doi.org/10.3855/jidc.11873>

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Escuela de Salud Pública de México (ESPM). 2021. (23 Octubre, 2021). <https://www.espm.mx/>
- Español M. 2021. Las grandes empresas, las más beneficiadas del rescate económico de la pandemia. *esglobal*. (16 junio, 2021). <https://www.esglobal.org/las-grandes-empresas-las-mas-beneficiadas-del-rescate-economico-de-la-pandemia/>
- Europa Press. 2021. Austria fija multas de hasta 7.200 euros para quien se niegue a vacunarse. (29 noviembre, 2021). <https://www.europapress.es/internacional/noticia-austria-fija-multas-7200-euros-quien-niegue-vacunarse-20211129221649.html>
- Fernández-Vega C. 2021. Cuarta ola=especulación a galope. *La Jornada*. (27 noviembre, 2021). <https://www.jornada.com.mx/2021/11/27/opinion/024oleco>
- Ferreira T, Shuler J, Guimarães JR and Farah A. 2019. Introduction to Coffee Plant and Genetics. *In: Coffee: Production, Quality and Chemistry*, pp. 1-25 <https://doi.org/10.1039/9781782622437-00001>.
- Flores-Sánchez JL, Mora-Aguilera G, Loeza-Kukc E, López-Arroyo JI, Gutiérrez-Espinosa MA, Velázquez-Monreal JJ, Domínguez-Monge S, Bassanezi RB, Acevedo-Sánchez G and Robles-García P. 2017. Diffusion model for describing the regional spread of Huanlongbing from first-reported outbreaks and basing an area wide disease management strategy. *Plant Disease* 101: 1119-112. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-16-0418-RE>
- Frenk, J. 2003. La salud de la población. Hacia una nueva salud pública. 3ed. FCE, SEP, CONACYT. 166p.
- Frérot M, Lefebvre A, Aho S, Callier P, Astruc K, and Aho Glélé LS. 2018. What is epidemiology? Changing definitions of epidemiology 1978-2017. *PLoS ONE* 13(12): e0208442. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208442>
- Galindo J and Gallegly ME. 1960. The nature of sexuality in *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 50: 123–128. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19601602875>
- García-Ruiz H. 2021. Perspectives and Applications of Omics Sciences in Plant Pathology. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(S): 14-16. <https://rmf.smf.org.mx/suplemento/suplemento392021/SimposiosS392021.pdf>
- Gäumann E. 1946. Pflanzliche Infektionslehre: Lehrbuch der allgemeinen Pflanzenpathologie für Biologen, Landwirte, Forster und Pflanzenzüchter. 611 p. Verlag Birkhauser. Basel, Switzerland. Record Number: 19460602091. <https://www.cabdirect.org/abstract/19460602091>
- Gonsalves D, Tripathi S, Carr JB and Suzuki JY. 2010. Papaya ringspot virus. *The Plant Health Instructor* 10: 1094. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2010-1004-01>
- Marshall H and Ward BA. 2009. Researches on the life-history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the 'coffee-leaf disease'. *Botanical Journal of the Linnean Society* 19: 299–335. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1882.tb00377.x>
- Haas BJ, Kamoun S, Zody MC, Jiang RHY *et al.* 2009. Genome sequence and analysis of the Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans*. *Nature* 461: 393-398. <https://doi.org/10.1038/nature08358>
- Hamed SM, Elkhatib WF, Khairalla AS *et al.* 2021. Global dynamics of SARS-CoV-2 clades and their relation to COVID-19 epidemiology. *Scientific Report* 11: 8435. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87713-x>.
- Harper SJ and Cowell SJ. 2016. The past and present status of *Citrus tristeza virus* in Florida. *Journal of Citrus Pathology* 3(1): 1-6. <https://escholarship.org/uc/item/9q22m433>
- Harris JB, LaRocque RC, Qadri F, Ryan ET and Calderwood SB. 2012. Cholera. *The Lancet* 379: 2466-2476. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60436-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60436-X)
- Hernández-Ávila M and Alpuche-Aranda CM. 2020. Mexico: Lessons learned from the 2009 pandemic that help us fight COVID-19. *Healthcare management forum* 33(4): 158–163. <https://doi.org/10.1177/0840470420921542>
- Hippocrates. 400 B.C. Of the Epidemics. Book 1 and 2. Translated by Francis Adams. 31p <http://classics.mit.edu/Hippocrates/epidemics.html>
- Holmdahl SM and Buckee DP. 2020. Wrong but useful - What Covid-19 Epidemiologic Models Can and Cannot tell us. *New England Journal of Medicine* 383(4): 303-305. <https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMp2016822?articleTools=true>
- Howard-Jones N. 1975. The scientific background of the International Sanitary Conferences 1851-1938. 108 p. World Health Organization. Geneva. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/62873/14549_eng.pdf
- Ibarra-Zapata E, Gaytán-Hernández D, Mora-Aguilera G y González-Castañeda ME. 2019. Escenario de riesgo de introducción de la influenza tipo A en México estimado mediante geointeligencia. *Revista Panamericana de Salud Pública* 43: 1-9. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2019.32>
- Institut Pasteur. 2021. The Middle Years 1862-1877. (20 de noviembre 2021). <https://www.pasteur.fr/en/institut-pasteur/history/middle-years-1862-1877>
- Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). 2020. Conceptos fundamentales de la salud pública: Julio Frenk. <https://www.insp.mx/avisos/4515-salud-publica-conceptos-juliofrenk.html>
- International Epidemiological Association (IEA). 2021. <https://www.icaweb.org/>
- June-Ho K, Ah-Reum AJ, SeungJu JO, Juhwan Oh and Jong-Koo L. 2021. Emerging COVID-19 success story: South Korea learned the lessons of MERS. *Exemplars in Global Health*. <https://ourworldindata.org/covid-exemplar-south-korea>
- Kranz J. 1985. Die Epidemiologie der Pflanzenkrankheiten. *Naturwissenschaften* 72(8):419-426. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00404883.pdf>
- Kranz J. 1988. The Methodology of comparative epidemiology. 279-289 pp. *in: Kranz J and Rotem J. (eds.). Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology* Springer-Verlag. Berlin, London.
- Kranz J. 1996. Epidemiologie der Pflanzenkrankheiten. Ulmer. Germany. 413p.
- Kranz J. 2003. On the Methodology of Comparative Epidemiology. *In: Comparative Epidemiology of Plant Diseases*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-05261-7_3
- Lal M, Sharma S, Yadav S and Kumar S. 2018. Management of Late Blight of Potato. *IntechOpen* 25p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72472>

- Langmuir AD. 1961. Public health implications of airborne infection: medical aspects. *Bacteriological Reviews* 25:356-358. <https://doi.org/10.1128/br.25.3.356-358.1961>
- Lednický JA, Tagliamonte MS, White SK, Elbadry MA, Alam MdM, Stephenson CJ, Bonny TS, Loeb JC, Telisma T, Chavannes S, Ostrov DA, Mavian C, De Rochars VMB, Salemi M and Morris JG. 2021. Independent infections of porcine deltacoronavirus among Haitian children. *Nature* <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04111-z>
- Lee TY, Lee H, Kim N, Jeon P, Kim JW, Lim HY, Yang JS, Kim KC and Lee JY. 2021. Comparison of SARS-CoV-2 variant lethality in human angiotensin-converting enzyme 2 transgenic mice. *Virus Research* 305: 198563. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2021.198563>.
- Li X, Zhang L, Chen S, Ouyang H and Ren L. 2021. Possible targets of pan-coronavirus antiviral strategies for emerging or re-emerging coronaviruses. *Microorganisms* 9(7): 1479. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071479>
- Liu Y, Liu J, Plante KS, Plante JA, Xie X, *et al.* 2021. The N501Y spike substitution enhances SARS-CoV-2 infection and transmission. *Nature* <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04245-0>.
- Loeza-Kuk E, Ochoa-Martínez D, Mora-Aguilera G, Rivas-Valencia P, Gutiérrez-Espinosa MA, de Jesús WC, Villegas-Monter A, Arno-Wulff N and Perez-Molphe-Balch E. 2008. Detection of Citrus sudden death-associated virus and Haplotypes of *Citrus tristeza virus* in *Toxoptera citricida* and *Aphis spiraecola* and implication on citrus sudden death in Brazil. *Agrociencia* 42: 669-678 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000600007.
- López-Avalos G, Gonzalez-Palomar G, Lopez-Rodriguez M, Vazquez-Chacon CA, Mora-Aguilera G, Gonzalez-Barrios JA, Villanueva-Arias JC, Sandoval-Diaz M, Miranda-Hernández U and Álvarez-Maya I. 2017. Genetic diversity of *Mycobacterium tuberculosis* and transmission associated with first-line drug resistance: a first analysis in Jalisco, Mexico. *Journal of Global Antimicrobial Resistance* 11: 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2017.07.004>.
- López-Bautista V, Mora-Aguilera G, Gutiérrez-Espinosa MA, Mendoza-Ramos C, Martínez-Bustamante VI, Coria-Contreras JJ, Acevedo-Sánchez G and Santana-Peñaloza B. 2020. Morphological and molecular characterization of *Fusarium* spp. associated to the regional occurrence of wilt and dry bud rot in *Agave tequilana*. *Mexican Journal of Phytopathology* 38(1): 79-106. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1911-4>
- Lynch C. 2019. The Impacts of Warming Coffee: The Climate Change-Coffee-Migration Nexus in the Northern Triangle of Central America. Independent Study Project (ISP) Collection. 3008. https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/3008
- Mari L, Bertuzzo E, Righetto L, *et al.* 2012. Modelling cholera epidemics: the role of waterways, human mobility and sanitation. *Journal of the Royal Society Interface* 9(67): 376-388. <https://doi.org/10.1098/rsif.2011.0304>
- Martin PMV and Martin-Granel E. 2006. 2500-year Evolution of the term epidemic. *Emerging Infectious Diseases* 12: 976-980. <https://doi.org/10.3201/eid1206.051263>
- Matta C. 2010. Spontaneous generation and disease causation: Anton de Bary's experiments with *Phytophthora infestans* and late blight of potato. *Journal of the History of Biology* 43(3): 459-91. <https://doi.org/10.1007/s10739-009-9220-1>
- McCook S. 2006. Global rust belt: *Hemileia vastatrix* and the ecological integration of world coffee production since 1850. *Journal of Global History* 1(2): 177-195. <https://doi.org/10.1017/S174002280600012X>
- Meegahakumbura MK, Wambulwa MC, Li M-M, Thapa KK, Sun Y-S, Möller M, Xu J-C, Yang J-B, Liu J, Liu B-Y, Li D-Z and Gao L-M. 2018. Domestication origin and breeding history of the tea plant (*Camellia sinensis*) in China and India based on nuclear microsatellites and cpDNA sequence data. *Frontiers in Plant Science* 8:2270. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02270>
- Mendez-Dominguez N, Alvarez-Baeza A and Carrillo G. 2020. Demographic and Health Indicators in Correlation to Interstate Variability of Incidence, Confirmation, Hospitalization, and Lethality in Mexico: Preliminary Analysis from Imported and Community Acquired Cases during COVID-19 Outbreak. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(12): 4281. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124281>
- Mendoza-Ramos C, Mora-Aguilera G, Coria-Contreras JJ, Santana-Peñaloza B, Acevedo-Sánchez G, Martínez-Bustamante V, Gutiérrez-Espinosa MA and Rubio-Cortés R. 2021. *Fusarium* spp. and inoculum load estimation associated to commercial *Agave tequilana* offsets at different regional epidemic inductivity levels. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(1): 94-121. <http://dx.doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2006-8>
- Millardet PMA. 1933. The Discovery of Bordeaux Mixture (trans. F. J. Schneiderhan). The American Phytopathological Society. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/book/10.1094/9780890545188>
- Ministry of Health Mexico (SSA). Daily Technical Communication COVID-19 (Accessed June 30, 2020)
- Moat J, Gole TW and Davis AP. 2019. Least concern to endangered: Applying climate change projections profoundly influences the extinction risk assessment for wild Arabica coffee. <https://doi.org/10.1111/gcb.14341>.
- Moein S, Nickaeen N, Roointan A, Borhani N, Heidary Z, Javanmard SH, Ghaisari J and Gheisari Y. 2021. Inefficiency of SIR models in forecasting COVID-19 epidemic: a case study of Isfahan. *Scientific Reports* 11(1): 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84055-6>
- Mora-Aguilera G, Acevedo-Sánchez G, Guzmán-Hernández E, Flores-Colorado OE, Coria-Contreras JJ, Mendoza-Ramos C, Martínez-Bustamante VI, López-Buenfil A, González-Gómez R and Javier-López MA. 2021a. Web-based epidemiological surveillance systems and applications to coffee rust disease. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(3): 452-492. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2104-6>
- Mora-Aguilera G, Martínez-Bustamante V, Acevedo-Sánchez G, Coria-Contreras JJ, Guzmán-Hernández E, Flores-Colorado OE, Mendoza-Ramos C, Hernández-Nava G, Álvarez-Maya I, Gutiérrez-Espinosa MA, Gómez-Linton R, Robles-Bustamante AC and Gallardo-Hernández A.

- 2021b. Surveillance web system and mouthwash-saliva qPCR for labor ambulatory SARS-CoV-2 detection and prevention. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, 18(x). <https://doi.org/10.3390/ijerph19031271> (Accepted).
- Mora-Aguilera G and Acevedo-Sánchez G. 2020. COVID-19: A principles review from plant epidemiology perspective. *Mexican Journal of Phytopathology* 38(S):138-139. https://rmf.smf.org.mx/suplemento/suplemento382020/Resumenes_Posters.pdf
- Mora-Aguilera G, Acevedo-Sánchez G, Calderón-Estrada G, Flores-Sánchez J, Domínguez-Monge S, Baker P and González-Gómez R. 2014a. Epidemiological considerations of climate change on tropical crops health. *Mexican Journal of Phytopathology* 32(2): 147-167. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092014000200147&script=sci_arttext&lng=en
- Mora-Aguilera G, Flores-Sánchez F, Acevedo-Sánchez G, Domínguez-Monge S, Oropeza-Salín C, Flores-Olivas A, González-Gómez R and Robles-García P. 2014b. Epidemiological surveillance and current status of coconut lethal yellowing, potato purple top and citrus Huanglongbing (HLB) in Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology* 32(2): 120-131. https://www.researchgate.net/publication/300533174_Epidemiological_Surveillance_and_Current_Status_of_Coconut_Lethal_Yellowing_Potato_Purple_Top_and_Citrus_Huanglongbing_HLB_in_Mexico
- Mora-Aguilera G, Robles-García P, López-Arroyo JL, Flores-Sánchez J, Acevedo-Sánchez G, Domínguez-Monge D and González-Gómez R. 2014c. Current situation and perspectives in management of citrus HLB. *Mexican Journal of Phytopathology* 32(2): 108-119. https://www.smf.org.mx/rmf/Vol322014/AR/32-2_03.pdf
- Moreno T, Pintó RM, Bosch A, Moreno N, Alastuey A, *et al.*, 2021. Tracing surface and airborne SARS-CoV-2 RNA inside public buses and subway trains. *Environment International* 147: 106326. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106326>.
- Morris D. 1879. Coffee-leaf disease of Ceylon and Southern India. *Nature* 20: 557-559. <https://doi.org/10.1038/020557a0>.
- Morris D. 1880. Note on the structure and habit of *Hemileia vastatrix*, the coffee-leaf disease of Ceylon and Southern India. *Botanical Journal of the Linnean Society* 17: 512-517. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1880.tb01240.x>
- Müller GW and Costa AS. 1977. Tristeza control in Brazil by preimmunization with mild strains. *Proceedings of the International Society of Citriculture* 3: 868-872.
- Mwalili S, Kimathi M, Ojiambo V. *et al.* 2020. SEIR model for COVID-19 dynamics incorporating the environment and social distancing. *BMC Research Notes* 13: 352. <https://doi.org/10.1186/s13104-020-05192-1>
- Nature. 1913. Eradication of Plant Diseases. 91; 299. <https://doi.org/10.1038/091299a0>
- Navarrete JE. 2021. Pandemia: ¿son las vacunas, estúpido! La Jornada. (14 de octubre de 2021). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/10/14/politica/pandemia-son-las-vacunas-estupido/>
- Noda AS y Chávez FL. 2021. Actualización sobre estrategia de vacunación anti-COVID-19 en Cuba. Ministerio de Salud República de Cuba. (7 de septiembre de 2021). <https://salud.msp.gob.cu/actualizacion-sobre-estrategia-de-vacunacion-anti-covid-19-en-el-pais/>
- Newhall AG. 1980. Herbert Hice Whetzel: Pioneer American Plant Pathologist. *Annual Review of Phytopathology* 18:27-36. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.18.090180.000331>
- ONU. 2021. COVID-19: La ONU presenta la Estrategia Global de Vacunación para alcanzar al 40% de la población a fin de año. (7 de octubre de 2021). <https://news.un.org/es/story/2021/10/1498032>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1998. La Organización Mundial de la Salud cumple 50 años. *Revista Panamericana de Salud Pública* 4(4): 282-286. <https://scielosp.org/j/rpsp/i/1998.v4n4/>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2021. Eliminación del sarampión en las Américas. (22 Octubre, 2021). https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12526:measles-elimination-in-the-americas&Itemid=40721&lang=es
- O'Toole Á, Hill V, Pybus OG *et al.* 2021. Tracking the international spread of SARS-CoV-2 lineages B.1.1.7 and B.1.351/501Y-V2 [version 1; peer review: 3 approved]. *Wellcome Open Research* 6:121. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.16661.1>
- Pandey A, Sinniah GD, Azariah BK and Tanti A. 2021. How the global tea industry copes up with fungal diseases-challenges and opportunities. *Plant Disease* 105: 1868-1879. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-20-1945-FE>.
- Parascandola M. 2011. The epidemiologic transition and changing concepts of causation and causal inference. *Revue d'histoire des sciences* 2011/2 (Tome 64): 243-262. ISSN 0151-4105. <https://doi.org/10.3917/rhs.642.0243>.
- Parnell S, van den Bosch F, Gottwald T and Gilligan CA. 2017. Surveillance to inform control of emerging plant diseases: An epidemiological perspective. *Annual Review of Phytopathology* 55: 591-610. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035334>
- Porta M. (Ed). 2014. A dictionary of epidemiology. Sixth edition / edited for the International Epidemiological Association. 377 p. ISBN 978-0-19-997672-0
- Potter C and Urquhar J. 2017. Tree disease and pest epidemics in the Anthropocene: A review of the drivers, impacts and policy responses in the UK. *Forest Policy and Economics* 79: 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.06.024>
- Potter C, Harwood T, Knight J and Tomlinson I. 2011. Learning from history, predicting the future: the UK Dutch elm disease outbreak in relation to contemporary tree disease threats. *Philosophical Transactions of the Royal Society* b366: 1966-1974. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0395>
- Quanjér HM. 1946. Pflanzliche Infektionslehre. Lehrbuch der allgemeinen Pflanzenpathologie für Biologen, Landwirte, Förster und Pflanzenzüchter. *Tijdschrift Over Plantenziekten* 52: 123-124. <https://doi.org/10.1007/BF02000423>
- Racault MF, Abdulaziz A, George G, Menon N, CJ, Punathil M, McConville K, Loveday B, Platt T, Sathyendranath S and Vijayan V. 2019. Environmental Reservoirs of *Vibrio*

- cholerae*: Challenges and Opportunities for Ocean-Color Remote Sensing. *Remote Sensing* 11(23): 2763. <https://doi.org/10.3390/rs11232763>
- Reddy LR. 2003. Sri Lanka pasado y presente. Publicación APH Publication. 382p. <https://books.google.com.mx/books?id=JsRmJrqq5qQC&pg>.
- Reuters, Ap y Afp. 2021. El riesgo de reinfección con ómicron, cinco veces mayor que con delta: estudio. *La Jornada*. (18 diciembre, 2021). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/12/18/politica/el-riesgo-de-reinfeccion-con-omicron-cinco-veces-mayor-que-con-delta-estudio/>
- Ristaino JB, Anderson PK, Bebbler, DP, Brauman KA, Cunniffe NJ, Fedoroff NV *et al.*, 2021. The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 118: 1-9. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.2115792118
- Rivas-Valencia P, Loeza-Kuk E, Mora-Aguilera G, Febres V, Ochoa-Martínez D, Gutiérrez-Espinosa MA, Cintra JJW, Correia-Malvas C and Arno-Wulff N. 2008. Estructura poblacional de aislamientos del citrus tristeza virus y su asociación con la muerte súbita de los cítricos en Brasil. *Agrociencia* 42(1): 85-93. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000100009&lng=es&tlng=es
- Rivas-Valencia P, Loeza-Kuk E, Mora-Aguilera G, Ruiz-García N, Ochoa-Martínez DL, Gutiérrez-Espinosa A y Febres V. 2010. Análisis espacio-temporal de aislamientos del Citrus tristeza virus de Yucatán y Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 493-507. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000400004.
- Robinson CM, Singh G, Lee JY, Dehghan S, Rajaiya J, *et al.* 2013. Molecular evolution of human adenoviruses. *Scientific Report* 3:1812. <https://doi.org/10.1038/srep01812>.
- Rodríguez ME. 2019. Wild coffee species threatened by climate change and deforestation. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00150-9>.
- Romero MG, Lozoya SH, Mora-Aguilera G, Fernández PS y Grünwald NJ. 2012. Rendimiento de papa en función de epidemia por tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary). *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 69-78. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v35n1/v35n1a10.pdf>
- Roser M, Ritchie H and Ortiz-Ospina E. 2013. World Population Growth. Published online at OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/world-population-growth>
- Roser M, Ochmann S, Behrens H, Ritchie H and Dadonaite B. 2014. Eradication of Diseases. Published online at OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/eradication-of-diseases>
- Ritchie H, Mathieu E, Rodés-Guirao L, Appel C, Giattino C, Ortiz-Ospina E, Hasell J, Macdonald B, Beltekian D, and Roser M. 2020. Coronavirus Pandemic (COVID-19). Published online at OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/coronavirus>
- Ruiz-de-Oña C, Rivera-Castañeda P and Merlín-Uribe Y. 2019. Coffee, migration and climatic changes: challenging adaptation dichotomic narratives in a transborder region. *Social sciences* 8(12):323. <https://doi.org/10.3390/socsci8120323>
- Sabaratham T. 2010. Sri Lankan Tamil Struggle https://sangam.org/2010/10/Tamil_Struggle_10.php?uid=4082.
- Saito A, Irie T, Suzuki R, Maemura T, Nasser H, *et al.* 2021. Enhanced fusogenicity and pathogenicity of SARS-CoV-2 Delta P681R mutation. *Nature* <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04266-9>.
- Santivañez T, Mora-Aguilera G, Díaz-Padilla G, José Isabel López-Arrollo JI y Vernal P. 2013. Citrus: Marco Estratégico para la Gestión Regional del Huanglongbing en América Latina y el Caribe. FAO, Chile. 75p. https://www.researchgate.net/publication/275640678_Citrus_Marco_Estrategico_para_la_Gestion_Regional_del_Huanglongbing_en_America_Latina_y_el_Caribe.
- Saville AC and Ristaino JB 2021. Global historic pandemics caused by the FAM-1 genotype of *Phytophthora infestans* on six continents. *Scientific Reports* 11: 12335. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90937-6>
- Scalabrín S, Toniutti L, Gaspero GD, Scaglione D, Magris G, *et al.* 2020. A single polyploidization event at the origin of the tetraploid genome of *Coffea arabica* is responsible for the extremely low genetic variation in wild and cultivated germplasm. *Scientific Reports* 10:4642. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61216-7>.
- Schieber E. 1972. Economic impact of coffee rust in Latin America. *Annual Review of Phytopathology* 10(1): 491-510. <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.py.10.090172.002423>
- Schumann GL. 1991. Why Europeans Drink Tea. In *Plant Diseases: Their Biology and Social Impact*. American Phytopathological Society. <https://www.apsnet.org/edcenter/apsnetfeatures/Pages/ICPP98CoffeeRust.aspx>
- Sharp PM, Plenderleith LJ and Hahn BH. 2020. Ape origins of human malaria. *Annual Review Microbiology* 74: 39–63. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-020518-115628>.
- Shu Y and McCauley J. 2017. GISAIID: Global initiative on sharing all influenza data – from vision to reality. *Euro Surveillance* 22(13): <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2017.22.13.30494>
- Smith T. 1934. Parasitism and disease. Princeton University Press. 196p. <https://wellcomecollection.org/works/rs2hwxpe>
- Solano PL. (20 de noviembre 2021). Alerta la OMS sobre resistencia a los fármacos antimicrobianos. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/11/20/sociedad/alerta-la-oms-resistencia-a-los-farmacos-antimicrobianos/>
- Sputnik Ap y Reuters. 2021. Exigir pasaporte de vacunación en este momento es discriminatorio, acusa OMS. *La Jornada*. (15 de septiembre 2021). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/09/15/politica/exigir-pasaporte-de-vacunacion-en-este-momento-es-discriminatorio-acusa-oms/>
- Tatum LA. 1971. The southern corn leaf blight epidemic: A new race of the fungus *Helminthosporium maydis* threatens domestic prices and corn reserves for export. *Science* 171:1113-1116. <https://doi.org/10.1126/science.171.3976.1113>.

- Tognotti E. 2013. Lessons from the history of quarantine, from plague to influenza A. *Emerging infectious diseases* 19(2): 254–259. <https://doi.org/10.3201/eid1902.120312>
- Townsend JP, Hassler HB, Wang Z, Miura S, Singh J, Kumar S, Ruddle NH, Galvani AP and Dornburg A. 2021. The durability of immunity against reinfection by SARS-CoV-2: a comparative evolutionary study. *The Lancet Microbe*. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(21\)00219-6](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(21)00219-6)
- Turner R. 2005. After the famine: Plant pathology, *Phytophthora infestans*, and the late blight of potatoes, 1845–1960. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 35(2): 341–370. <https://doi.org/10.1525/hsp.2005.35.2.341>
- Turnes AL. 2009. Origen, evolución y futuro del hospital. 1-93 p. <https://www.smu.org.uy/dpnc/hmed/historia/articulos/origen-y-evolucion.pdf>
- Van Esse HP, Reuber TL and Van der Does D. 2020. Genetic modification to improve disease resistance in crops. *New Phytologist* 225(1): 70-86. <https://doi.org/10.1111/nph.15967>
- Vanderplank JE. 1963. *Plant Diseases: Epidemics and Control*. Academic Press. New York, London. 349p.
- Vashishtha V. 2021. As the Delta variant family grows, the ancestor continues to dominate. *The Wire Science* <https://science.thewire.in/the-sciences/as-the-delta-variant-family-grows-the-ancestor-continues-to-dominate/>.
- Velázquez MA. 2021. Oliva López: se recuperó en 70% el sistema salud de CDMX. *La Jornada*. (06 diciembre, 2021). <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/12/06/capital/oliva-lopez-se-recupero-en-70-el-sistema-salud-de-cdmx/>
- Vines SH. 1906. Prof. H. Marshall Ward, F.R.S. *Nature* 74:493–495. <https://doi.org/10.1038/074493a0>.
- Vivas MA. 2021. La variante ómicron impulsa el crecimiento de las farmacéuticas en las bolsas de valores. *Consultorsalud*. (29 noviembre, 2021). <https://consultorsalud.com/farmacuticas-crecen-por-variante-omicron/>
- Wingfield BD, Ericson L, Szaro T and Burdon JJ. 2004. Phylogenetic patterns in the Uredinales. *Australasian Plant Pathology* 33: 327–335. <https://doi.org/10.1071/AP04020>.
- Winslow CE. 1920. The Untilled Fields of Public Health. *Science* 51(1306): 23-33. <https://doi.org/10.1126/science.51.1306.23>. PMID: 17838891.
- Wong JY, Kelly H, Ip DKM, Wu JT, Leung GM and Cowling BJ. 2013. Case Fatality Risk of Influenza A (H1N1pdm09). *Epidemiology* 24(6): 830-841. doi: 10.1097/EDE.0b013e3182a67448.
- World Coffee Research. 2021. Costa Rica 95 Catimor. Variedad de muy alto rendimiento, adaptada para las zonas cálidas y suelos ácidos. <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/varieties/costa-rica-95>
- World Coffee Research. 2017. Coffee Leaf Rust Resistant Coffee Variety Overcome in Honduras. Guatemala City, May 12. Consulted in <https://worldcoffeeresearch.org/news/coffee-leaf-rust-resistant-coffee-variety-overcome-honduras/>
- World Health Organization (WHO). 2021a. Coronavirus disease (COVID-19) pandemic. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>.
- World Health Organization (WHO). 2021b. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. <https://covid19.who.int>.
- World Health Organization (WHO). 2021c. Seguimiento de las variantes del SARS-CoV-2. <https://www.who.int/es/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants>.
- World Health Organization (WHO). 2021d. Classification of Omicron (B.1.1.529): SARS-CoV-2 Variant of Concern. [https://www.who.int/news/item/26-11-2021-classification-of-omicron-\(b.1.1.529\)-sars-cov-2-variant-of-concern](https://www.who.int/news/item/26-11-2021-classification-of-omicron-(b.1.1.529)-sars-cov-2-variant-of-concern).
- World Health Organization (WHO). 2021e. La COVID-19 muestra por qué es necesaria una acción conjunta para una arquitectura sanitaria internacional más sólida. <https://www.who.int/es/news-room/commentaries/detail/op-ed--covid-19-shows-why-united-action-is-needed-for-more-robust-international-health-architecture>.
- World Health Organization (WHO). 2021f. Influenza (avian and other zoonotic). Available in: https://www.who.int/health-topics/influenza-avian-and-other-zoonotic#tab=tab_1
- World Health Organization (WHO). 2017. Plague. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/plague>.
- World Health Organization (WHO). 2005. WHO global influenza preparedness plan: the role of WHO and recommendations for national measures before and during pandemics. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/68998>
- Yuen J. 2021. Pathogens which threaten food security: *Phytophthora infestans*, the potato late blight pathogen. *Food Security* 13: 247–253. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01141-3>
- Zadoks JC and Koster LM. 1976. A historical survey of botanical epidemiology. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands. 56p.
- Zadoks JC and Schein RD. 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford University Press. New York Oxford. 427p.
- Zewdie Y. 2003. Acceso forestal: política y realidad en Kafa, Etiopía. *Leisa* 19(3). <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-19-numero-3/2158-acceso-forestal-politica-y-realidad-en-kafa-etiofia>.

Analysis of chronic diseases associated to SARS-CoV-2 infection in children and young people in Mexico

Análisis de enfermedades crónicas asociadas a la infección de SARS-CoV-2 en niños y jóvenes de México

Ikuri Álvarez-Maya*, Biotecnología Médica y Farmacéutica, Centro de Investigación y Tecnología Aplicada de Jalisco (CIATEJ). Avenida Normalistas 800, Guadalajara, Jalisco, México; **Gustavo Mora-Aguilera**, **Gerardo Acevedo-Sánchez**, Laboratorio de Análisis de Riesgo Epidemiológico Fitosanitario (LANREF), Colegio de Postgraduados Campus Montecillo (COLPOS), km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México, C.P. 56230. *Corresponding author: ikuri.alvarez@gmail.com

Received: March 06, 2021.

Accepted: April 29, 2021.

Álvarez-Maya I, Mora-Aguilera G and Acevedo-Sánchez G. 2021. Analysis of chronic diseases associated to SARS-CoV-2 infection in children and young people in Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 181-192.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-26>

Abstract. The emergence of COVID-19, a disease caused by SARS-CoV-2, was first reported in December 2019. It then spread in pandemic proportions, creating a human health emergency that was declared a pandemic by the World Health Organization. The airborne transmission of the SARS-CoV-2 virus, mainly through droplets of saliva, has been highly effective, depending on the viral variant. The present study provides clinical-epidemiological information on the general population without discriminating by socioeconomic and occupational factors. A total of 8507 positive cases, with 408384 official metadata, were analyzed. These cases correspond

Resumen. En diciembre de 2019 se reportó la ocurrencia de COVID-19, enfermedad causada por SARS-CoV-2, extendiéndose a nivel pandémico. COVID-19 es una emergencia de salud humana declarada pandemia por la Organización Mundial de la Salud. La transmisión por vía aérea del virus SARS-CoV-2, principalmente a través de microgotas de saliva, ha resultado altamente efectiva dependiendo de la variante viral. Este trabajo aporta información clínica-epidemiológica de población en general sin discriminar por factores socioeconómicos y ocupacionales. Este trabajo analizó 8507 casos positivos con 408384 metadatos oficiales correspondientes a la fase exponencial, marzo-junio 2020, de la primera ola epidémica en México. El cohorte correspondió a niños y jóvenes hasta 20 años e incluyó el análisis de putativos factores de riesgo a la infección de SARS-CoV-2 por enfermedades crónicas. En este cohorte, la frecuencia con infección por SARS-CoV-2 fue del 3%, del cual, se tuvo una tasa del 9% de infecciones activas. La mortalidad fue del 1%. La mayor asociación de

to the exponential phase of the first epidemic wave (March-June 2020) in Mexico. The cohort consisted of children and young people up to 20 years of age. The putative risk factors for SARS-CoV-2 infection due to chronic diseases were also analyzed. In this cohort, the frequency of SARS-CoV-2 infection was 3%, with a 9% rate of active infections and a mortality rate of 1%. The greatest association was between COVID-19 and metabolic diseases, with 31%. This is the first study that analyzed the health conditions associated with COVID-19 infection in children and young people in Mexico during the first SARS-CoV-2 epidemic wave, in the absence of acquired or induced immunity factors. The results, although preliminary, may contribute to the management of COVID-19 patients during the prevention and hospitalization stages. Given the sustained expansion of the epidemic and the greater availability of data, it would be useful to make an integrative analysis of the rural population, which has remained active in the labor market given that agriculture is considered an essential activity.

Key words: SARS-CoV-2, COVID-19, Comorbidity, Epidemiology, Children and young people.

On December 31, 2019, the WHO reported a cluster of cases of “pneumonia of unknown origin” in Wuhan, China. In January 2020, the Chinese health authorities confirmed that these cases were associated with the coronavirus (Hu *et al.*, 2020). The disease was named coronavirus disease 2019 (COVID-19) by the World Health Organization (WHO).

Also in January 2020, the WHO declared the SARS-COV-2 infection a pandemic-level health emergency (Bassareo *et al.*, 2020). It was demonstrated that the SARS-CoV-2 virus spread

COVID-19 se tuvo con enfermedades metabólicas con 31%. El presente estudio es el primer reporte que analiza las condiciones de salud asociadas al proceso de infección por COVID-19 en niños y jóvenes del país en la primera fase epidémica SARS-CoV-2 en ausencia de factores de inmunidad adquirida o inducida. Los resultados, aunque preliminares, pueden contribuir el manejo de pacientes en etapas prevención y hospitalarias COVID-19. Ante el progreso sostenido de la epidemia y mayor disponibilidad de datos, se recomienda un análisis integrativo con énfasis en la población rural, la cual se ha mantenido laboralmente activa por considerarse la agricultura una actividad esencial.

Palabras clave: SARS-COV-2, COVID-19, comorbilidad, epidemiología, niños y jóvenes.

El 31 diciembre de 2019, la OMS informó un grupo de casos de “neumonía de origen desconocido” en Wuhan, China. En enero 2020, las autoridades sanitarias chinas confirmaron que este grupo estaba asociado con el coronavirus (Hu *et al.*, 2020) y la enfermedad causada por este fue nombrada enfermedad del coronavirus 2019 (COVID-19) por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En el mismo mes, la OMS declaró la infección de SARS-COV-2 una emergencia de salud con nivel de pandemia (Bassareo *et al.*, 2020). A este periodo se ha demostrado la transmisión del SARS-CoV-2 principalmente a través de gotas de saliva, cuando una persona habla o tose. Debido a su transmisión por vía aérea ha resultado ser altamente transmisible en la población de diferentes edades y con diferentes condiciones de salud (Karia *et al.*, 2020).

Un estudio realizado en China reportó recientemente las características clínicas de 41 pacientes confirmados a SaRS-CoV-2 de los cuales 13 (32%) casos reportaron enfermedades subyacentes incluidas

mainly via droplets of saliva when a person spoke or coughed. Since the virus is transmitted by air, it has proven to be highly transmissible among people of different ages and different health conditions (Karia *et al.*, 2020).

A recent study conducted in China reported the clinical characteristics of 41 patients with confirmed SARS-CoV-2 diagnosis, of which 13 (32%) patients reported underlying diseases such as cardiovascular disease (CVD), diabetes, hypertension, and chronic obstructive pulmonary disease (COPD) (Huang *et al.*, 2020).

The rapid global spread of the SARS-CoV-2 virus and the reported severity of some cases of COVID-19 justify the global effort to develop effective preventive and management strategies such as targeted therapies and vaccines.

As of May 2020, 3,519,901 COVID-19 cases had been reported in 187 countries on all continents, with 247,630 deaths (ourworldindata.org/coronavirus-testing, 2020). In general, the first wave of positive cases showed that the population of children, adolescents, and young people were less affected than older adults, but the data on the epidemiological and clinical characteristics of pediatric COVID-19 are very deficient, based mainly on limited case series (Galli *et al.*, 2020). A study of 72,314 cases by the China Center for Disease Control and Prevention showed that about 2% of the patients were under 19 years of age. However, specific clinical information is still scarce (Lu *et al.*, 2020).

To estimate the prevalence of chronic diseases and comorbidities in the population of children and young people positive for SARS-CoV-2 in Mexico, without including rural regions or those related to the agricultural sector, an epidemiological analysis was carried out in individuals under 21 years of age. The objective was to determine the effect of health conditions potentially associated

enfermedades cardiovasculares (ECV), diabetes, hipertensión y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (Huang *et al.*, 2020). La rápida propagación mundial actual de la infección por SARS-CoV-2 y la gravedad reportada en algunos casos de COVID-19 justifican el esfuerzo global para identificar estrategias preventivas efectivas y un manejo médico óptimo, incluida la implementación de terapias dirigidas y el desarrollo de vacunas.

Hasta mayo, se habían notificado 3,519,901 casos en 187 países de todos los continentes, con 247,630 muertes (ourworldindata.org/coronavirus-testing, 2020). En general, la primera ola de casos positivos evidenció que la población de niños, adolescentes y jóvenes fueron menos afectados que adultos, pero los datos sobre las características epidemiológicas y clínicas de COVID-19 en la edad pediátrica son muy deficientes y se basan esencialmente en series de casos limitados (Galli *et al.*, 2020). En un informe de 72,314 casos del Centro de China para el Control y la Prevención de Enfermedades, alrededor del 2% de los pacientes tenían menos de 19 años, sin embargo la información clínica específica es escasa (Lu *et al.*, 2020).

Para conocer la afectación de enfermedades crónicas y comorbilidades presentes en población de niños y jóvenes positivos a SARS-CoV-2 en México, sin particularizar a regiones rurales o vinculadas con el sector agrícola, se realizó un análisis epidemiológico en menores de 21 años, con el objetivo de determinar las implicaciones de las afecciones de salud potencialmente asociadas al proceso de infección y mortalidad por COVID-19. El riesgo potencial en la población infantil sugiere ser alto considerando que en México, aproximadamente un tercio de la población infantil padece obesidad y diabetes (UNICEF, 2019), y además éstas enfermedades en población adulta han representado riesgos importantes en infección y mortalidad por

with COVID-19 infection and mortality. The potential risk for the child population could be high, considering that, in Mexico, approximately one-third of the children population suffers from obesity and diabetes (UNICEF, 2019), and that these diseases have been shown to increase the risk of infection and mortality from COVID-19 in the adult population. In the return to the 'new normality', several new COVID-19 outbreaks throughout the world have affected populations that were apparently non-susceptible during the first wave, which suggests that the return of in-person school could pose serious risks to children and young people. In the face of these risks, the epidemiological alert for children and actions such as the recent changes to regulations on food labeling to reduce the consumption of products high in fat and carbohydrates (Basto-Abreu *et al.*, 2020), are important measures that can contribute to the management and mitigation of the effects of COVID-19 on the population of children and young people.

MATERIALS AND METHODS

Data Collection

The data for the analysis were obtained from the official database of positive COVID-19 cases, which is updated daily by the Mexican Federal Government. A total of 8507 cases and 408384 records were analyzed using MS Excel. In the database, individual chronic diseases were grouped according to metabolic, cardiovascular, respiratory, and other characteristics. The group of cases without chronic diseases was also analyzed. The group of deceased cases was formed with data obtained from official death records. The status of each case could be one of the following: deceased,

COVID-19. En este sentido, el regreso a la 'nueva normalidad' ha registrado rebrotes en varias partes del mundo donde poblaciones aparentemente no susceptibles en la primera ola han tenido un repunte considerable, lo cual implica que el regreso de actividades escolares es un inevitable riesgo en este sector de la población. Ante éstos escenarios de riesgos, la alerta epidemiológica infantil y acciones como los recientes ajustes a la normatividad sobre etiquetado de alimentos para reducir el consumo de productos altos en grasas y carbohidratos (Basto-Abreu *et al.*, 2020), son componentes importantes que soportan este análisis con fines de coadyuvar al manejo y mitigación de efectos de la población juvenil y proporcionar las pautas necesarias para desarrollar políticas orientadas a la prevención ante emergencias sanitarias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colección de Datos

La información para el análisis se tomó de la base de datos oficial de casos positivos a COVID-19 actualizada diariamente por el Gobierno Federal de México. Un total de 8507 casos y 408384 registros fueron analizados en Software MS Excel. En la base de datos las enfermedades crónicas individuales se agruparon según característica metabólica, cardiovascular, respiratoria y otras. Adicionalmente, se analizó el grupo de casos sin enfermedad crónica. De acuerdo a los registros oficiales de decesos, se creó la categoría para determinar el estatus del caso: deceso, activo o recuperado. Los casos activos se estimaron para aquellas condiciones en la que fecha de síntomas fuera menor a 14 días y casos recuperados, aquellos no reportaron fecha de deceso y los días acumulados desde el inicio de síntoma hasta fecha de análisis fueran mayor a 14.

active, or recovered. The Active Cases category included those conditions for which the first date of symptoms was less than 14 days before. The recovered cases category included those for which a date of death had not been reported and for which the number of days between the onset of symptoms and the date of analysis was greater than 14.

Relative Frequency Analysis

The database with 8507 cases of individuals under 21 years of age was segmented by the variables under study using MS Excel. The percentage of relative frequency was calculated for each of the analyzes (cnx.org/, 2020). Matrices were used to analyze the subgroups of Recovered, Active, and Deceased cases. The frequency, in the total number of cases, of Cardiovascular, Metabolic, and Respiratory Diseases, of Non-Comorbidities and Other conditions was also assessed. The group of deceased infants was also segmented by the different comorbidity variables mentioned above. The cases of death from COVID-19 were classified according to the state of residence of the patient.

RESULTS AND DISCUSSION

Population under 21 years of age with SARS-CoV-2 infection in Mexico

The frequency of children and young people of school age that became infected by SARS-CoV-2 was estimated by analyzing the subgroups of Recovered, Active, and Deceased cases within the total number of infections in the population of children and young people. Out of a total of 268,461 COVID-19 cases as of June 2020, there were 8,507 (3.1%) cases of individuals under 21 years of age with SARS-CoV-2 infection. Of this

Análisis de Frecuencia Relativa

La base de datos con 8507 de casos de menores de 21 años fue segmentada entre las diferentes variables analizadas utilizando el programa MS Excel. La frecuencia relativa porcentual fue calculada en cada uno de los análisis (cnx.org/, 2020). Se utilizaron matrices para estudiar los sub-grupos de casos Recuperados, Activos y Fallecidos. Así también del total de casos se evaluó la frecuencia de afectaciones Cardiovasculares, Metabólicas, Enfermedades Respiratorias, No Comorbilidades y Otras condiciones. El grupo de infantes fallecidos también fue segmentado en las diferentes variables de comorbilidades antes mencionadas. Por último se clasificó los casos de fallecidos por COVID-19 de acuerdo al estado de la republica de residencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Población de menores de 21 años en México con infección de SARS-CoV-2

Para conocer la frecuencia de niños y jóvenes en edad escolar que adquirieron la infección de SARS-CoV-2 se estudiaron los subgrupos de casos Recuperados, Activos y Fallecidos dentro del total de infecciones en población de niños y jóvenes. De un total de 268,461 casos de COVID-19 hasta junio del 2020, se observaron 8,507 (3.1%) casos de menores a 21 años con infección de SARS-CoV-2. De esta población de menores infectados el 81% se corresponden a infantes que se recuperaron, el 16% son activos y el 2% de los casos en este grupo de menores de 21 años falleció (Figura 1A). El mayor número de defunciones ocurrieron en el Estado de México con 33 casos (24%), mientras que Ciudad de México y Baja California tuvieron 13 (9.4%) y 12 (8.7) casos, respectivamente.

population of infected minors, 81% were infants who recovered from the disease, 16% were active cases and 2% were individuals who died (Figure 1A). The highest number of deaths occurred in the State of Mexico, with 33 cases (24%), while Mexico City and Baja California had 13 (9.4%) and 12 (8.7) deaths, respectively.

Study of chronic diseases associated with SARS-CoV-2 infection among a population of children and young people under 21 years of age

The progression of the SARS-CoV-2 infection has been associated with the presence of underlying health conditions. An analysis of the frequency of diseases associated with SARS-CoV-2 infection showed that cardiovascular diseases were present in 1% of the cases analyzed, while metabolic diseases (obesity) were present in 10% of pediatric cases. Respiratory diseases were present in 6% of the cases of children and young people with COVID-19 (Figure 1B). In 81% of the cases positive for COVID-19, no chronic diseases or comorbidities were present, which contrasts with 49.5% in adults (Álvarez-Maya *et al.*, Unpublished).

Main chronic diseases in cases of children and young people who died from SARS-CoV-2 infection

The analysis showed that of 137 deceased cases, 13 (10%) were associated with a cardiovascular condition, while 42 cases (31%) were associated with a metabolic disease. The percentage of children and young people who died COVID-19 and had no chronic diseases was 46%, higher than the 28.2% reported for adults by Álvarez-Maya *et al.* (unpublished). Finally, respiratory diseases were associated with 1% of the deceased children and young people (Figure 1C).

Estudio de las enfermedades crónicas asociadas a la infección de SARS-CoV-2 en población de niños y jóvenes menores de 21 años

La evolución de la infección por SARS-CoV-2 se ha asociado a la presencia de condiciones de salud subyacentes en el paciente. Cuando se analizó la frecuencia de las enfermedades asociadas a la infección se encontró que las enfermedades cardiovasculares fueron presentes en el 1% de los casos analizados, mientras que las enfermedades metabólicas (obesidad) estaba presente en el 10% de los casos pediátricos, finalmente las enfermedades respiratorias se presentaron en el 6% de los casos de niños y jóvenes con COVID-19 (Figura 1B). El 81% de casos positivos no presentaron enfermedades crónicas o comorbilidades, lo cual contrasta con el 49.5% reportado en adultos (Álvarez-Maya, *et al.*, No publicado).

Principales enfermedades crónicas en los casos de fallecidos por infección de SARS-CoV-2 en niños y jóvenes

Es importante conocer las enfermedades subyacentes en los casos pediátricos que fallecieron como consecuencia de la infección por COVID-19, en el análisis realizado se observó que de 137 casos fallecidos 13 (10%) corresponde a la asociación con la condición cardiovascular, mientras 42 casos (31%) estuvieron relacionados con una enfermedad metabólica. El 46% de muertes por COVID-19 en niños y jóvenes que no reportaron enfermedades crónicas, fue más alto que lo reportado en adultos por Álvarez-Maya, *et al.* (No publicado), el cual fue de 28.2%. Finalmente se observó que el 1% de los casos fallecidos tenía una condición de enfermedad respiratoria asociada a la infección de SARS-CoV-2 (Figura 1C).

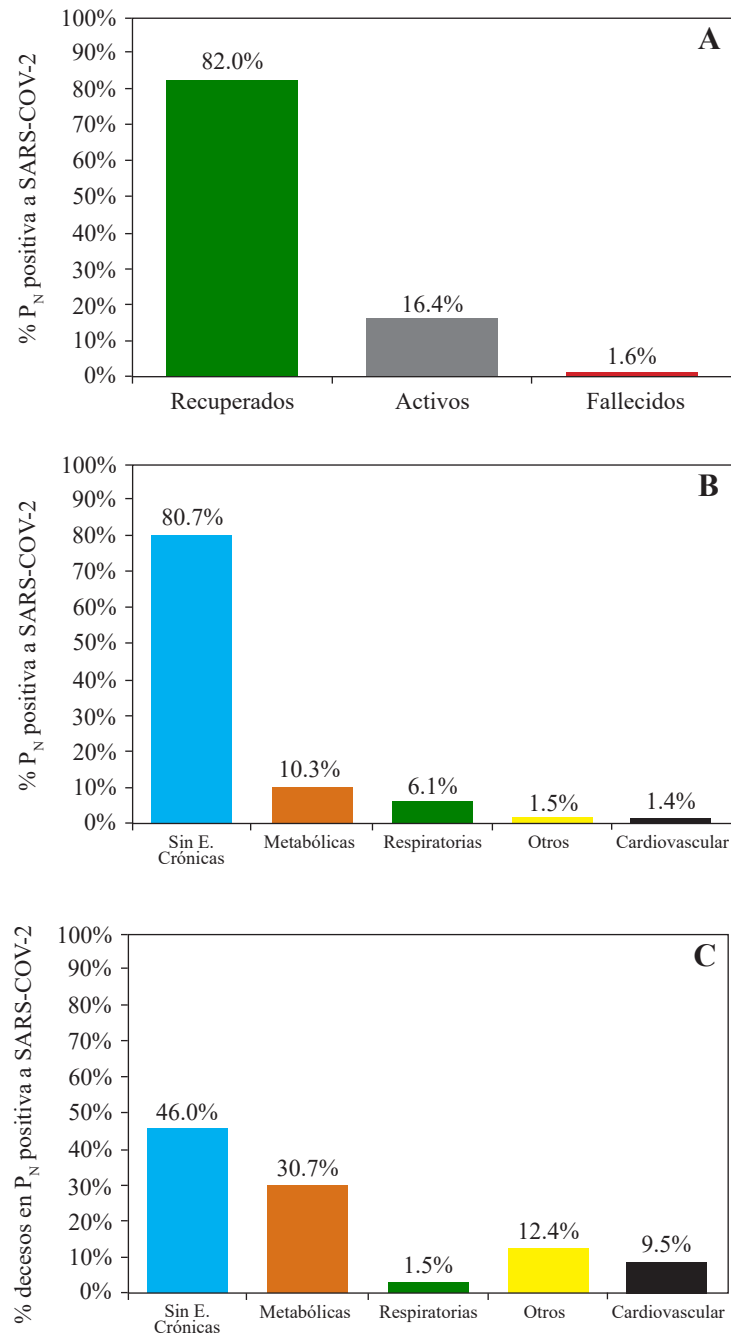


Figure 1. A) Percentage (%) of Population (P_N) under 21 years old positive to SARS-COV-2 in Mexico. B) % of P_N positive to SARS-CoV-2 by category of chronic disease. C) % of deaths by category of chronic disease in P_N positive for SARS-CoV-2.

Figura 1. A) Porcentaje (%) de Población (P_N) menor a 21 años positivos a SARS-COV-2 en México. B) % de P_N positiva a SARS-CoV-2 por categoría de enfermedad crónica. C) % de decesos por categoría de enfermedad crónica en la P_N positiva a SARS-CoV-2.

The mortality rate from COVID-19 for infants in Mexico is three times that of the United States. The latter is one of the countries with the highest infection rates worldwide, but it had only 30 cases of infant deaths (5-14 years) during the pandemic (ourworldindata.org/coronavirus-testing, 2020). The general perception is that COVID-19 symptoms are milder among young people; however, the present study shows that the risk of infection is not negligible, especially in cases with comorbidities such as diabetes or obesity. It is worth remembering that of the 137 deceased cases analyzed in the present work, 13 (10%) were associated with a cardiovascular condition, while 42 cases (31%) were associated with metabolic disease (Diabetes and Obesity).

It is also generally considered that children with COVID-19 do not present the classical symptoms shown by adults. Therefore, children are diagnosed based on a sum of clinical and analytical data. The first symptoms in children are sometimes severe abdominal pain, diarrhea, or vomiting. It can also include conjunctivitis, skin rashes, mucous membrane changes, enlarged lymph nodes, swollen hands and feet, sore throat, cough, fainting, irritability, and confusion. Respiratory symptoms are not always present. Myocarditis (inflammation of the heart muscle) is common. Other symptoms may include pericarditis, valvulitis, and coronary artery abnormalities, such as dilatation and aneurysms (Ruan *et al.*, 2020). It is especially difficult to recognize the disease in babies; in many cases, COVID-19 is not suspected because due to the lack of an obvious clinical picture (Guo *et al.*, 2020).

In obesity cases, excess abdominal fat compresses the diaphragm, reducing lung capacity and worsening most respiratory diseases. Another factor that makes obese people more vulnerable is chronic inflammation and the increased risk of

La tasa de mortalidad infantil por COVID-19 en México triplica a la de Estados Unidos en donde se ha reportado 30 Casos (5-14 años) uno de los países con mayores tasas de infección a nivel global en la pandemia (ourworldindata.org/coronavirus-testing, 2020). La percepción general es que los síntomas de COVID-19 son más leves entre los jóvenes, sin embargo, éste estudio demuestra que se debe tomar en consideración los riesgos de infección especialmente para aquellos casos que tienen comorbilidades, como diabetes u obesidad, pues de los 137 casos fallecidos 13 (10%) corresponde a la asociación con la condición cardiovascular, mientras 42 casos (31%) estuvieron relacionados con una enfermedad metabólica (Diabetes y Obesidad).

Se considera que los síntomas en los niños no son tan clásicos como en los adultos, el diagnóstico se hace por una suma de datos clínicos y analíticos. Los primeros síntomas son a veces dolor abdominal agudo, diarrea o vómitos. También puede incluir conjuntivitis, erupciones cutáneas, cambios en la membrana mucosa, ganglios linfáticos agrandados, manos y pies hinchados, dolor de garganta, desmayos, irritabilidad y confusión. Los síntomas respiratorios no siempre están presentes. La miocarditis (inflamación del músculo cardíaco) es frecuente. Otros hallazgos pueden incluir pericarditis, valvulitis y anomalías de las arterias coronarias, como dilatación y aneurismas (Ruan *et al.*, 2020). Es especialmente difícil reconocer la enfermedad en los bebés, en muchos casos no se sospecha, porque no tienen un cuadro clínico evidente (Guo *et al.*, 2020).

En los casos de obesidad, el exceso de grasa abdominal comprime el diafragma, lo que reduce la capacidad pulmonar y empeora la mayoría de las enfermedades respiratorias. Otro factor que las hace más vulnerables es la inflamación crónica y el mayor riesgo de trombosis venosa, causa de mortalidad derivada de pasar mucho tiempo en cama

venous thrombosis, a cause of mortality associated with spending too much time in bed (Gazzaruso *et al.*, 2020). At the cellular level, obesity alters the inflammatory and immune response. Adipose tissue, which is found in excess in obese patients, expresses the ACE2 protein, used by SARS-CoV-2 to infect cells (El-Sayed *et al.*, 2020). So far, some studies have focused on children with COVID-19 in various parts of Europe and the United States; however, it is unclear if the disease has gone undetected in other countries. Little specific information is available on the therapeutic effectiveness against SARS-CoV-2 infection in infants. Anti-inflammatory treatments have been used against it, including intravenous immunoglobulin and corticosteroids (Pereira *et al.*, 2020).

Mexico is the second country with the highest incidence of childhood obesity, according to 2019 data from the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 2020). Furthermore, hypertension is present in 20.87% of adult COVID-19 patients, obesity in 20.44%, diabetes in 17.46%, and tobacco use in 8.24% of confirmed COVID-19 cases (Álvarez-Maya *et al.*, unpublished). Recent studies carried out by Bastos-Abreu *et al.* estimated that new food labeling regulations can help reduce the prevalence of obesity in the country, since they have been associated with an average caloric intake reduction of up to 36.8 kcal/day/person (23.2 kcal/day from drinks and 13.6 kcal/day from snacks). It is estimated that five years after the implementation of these new labeling regulations, the caloric intake reduction could reduce the average weight of obese people by 1.68 kg, which would translate into a reduction of the prevalence of obesity by 4.98% (14.7% with respect to the baseline). This, in turn, would represent 1.3 million fewer cases of obesity and a reduction of US \$1.8 billion in indirect costs.

(Gazzaruso *et al.*, 2020). A nivel celular, también se explica que la obesidad altera la respuesta inflamatoria e inmunológica. El tejido adiposo, excesivo en el paciente obeso, expresa la proteína ACE2, utilizada por el SARS-CoV-2 para infectar la célula (El-Sayed *et al.*, 2020). Hasta ahora, se han reportado algunos estudios en niños en varias partes de Europa y Estados Unidos, sin embargo no está claro si la afección ha pasado desapercibida en otros países. Hay poca información específica disponible sobre la efectividad terapéutica de la infección en infantes, se han utilizado tratamientos antiinflamatorios, incluida la inmunoglobulina intravenosa y corticosteroides (Pereira *et al.*, 2020).

México es el segundo país con mayor incidencia de obesidad infantil, de acuerdo a los datos de 2019 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2020). Además los casos de COVID-19 en adultos la hipertensión está presente en el 20.87% de los pacientes, la obesidad en el 20.44%, la diabetes el 17.46% y el tabaco el 8.24% en los casos confirmados de COVID-19 (Álvarez-Maya *et al.* No publicado). Recientes estudios realizados por Bastos-Abreu y colaboradores para estimar la reducción en la prevalencia de la obesidad y el costo de misma a través de la implementación del nuevo etiquetado en el país muestran que se pudiera tener una reducción calórica media de hasta 36.8 kcal / día / persona (23.2 kcal / día de bebidas y 13.6 kcal / día de bocadillos). Además se estima que en cinco años después de su implementación, esta reducción calórica podría reducir entre 1.68 kg y 4.98 puntos porcentuales la obesidad (14.7%, con respecto a la línea de base), lo que representaría una reducción de 1.3 millones de casos de obesidad y una reducción de \$ 1,800 millones US en costos indirectos. Cabe aclarar que este estudio se realizó previo al proceso epidémico de COVID-19, por lo que sus impactos pueden ser mayores considerando la nueva normatividad

It should be noted that that study was carried out before the COVID-19 pandemic, which means that the effect of the new labeling regulations could be even greater, considering the other measures that have been implemented, such as the prohibition to sell “junk” food in schools in the state of Oaxaca (docs64.congresooaxaca.gob.mx/documents/dictamen/1184).

The present study is the first analysis of the health conditions associated with infection and mortality by SARS-CoV-2 in children and young people in Mexico. The results can be used as a basis for the management of COVID-19 patients and for designing public health strategies that prevent further infections.

CONCLUSIONS

In Mexico, the population of individuals under 21 years of age with SARS-CoV-2 infection showed an association with cardiovascular, metabolic, and respiratory diseases, mainly. Although the frequency of children and young people with COVID-19 infection is 3% in Mexico, 9% of these cases are still in the active phase of the infectious process. Mortality cases (1%) were mainly associated with metabolic diseases (31%), considering obesity as the main metabolic disease associated with COVID-19. It can be concluded that obesity is one of the main risk factors for mortality from SARS-CoV-2 infection in individuals under 21 years of age, which is consistent with the official decrees that consider obesity an epidemiological alert for children. The present study demonstrates the need to consider children and young people as a population at risk in the face of new normality scenarios that imply the return to in-person school activities. Furthermore, the present study highlights the urgent need for a comprehensive review of

y las acciones decretadas en Oaxaca, Mex., para prohibir venta de alimentos “chatarra” en escuelas (docs64.congresooaxaca.gob.mx/documents/dictamen/1184).

El presente estudio es el primer reporte que analiza las condiciones de salud asociadas en el proceso de infección y mortalidad por COVID-19 en niños y jóvenes del país, los resultados pueden ser empleados como base en el manejo de pacientes para la prevención en respuesta al COVID-19 y en materia de salud pública.

CONCLUSIONES

La población de menores de 21 años de México con infección de SARS-CoV-2 presentó asociación con enfermedades cardiovasculares, metabólicas y respiratorias principalmente. Aunque la frecuencia de infantes con infección de COVID-19 es del 3% en el país, existe un porcentaje (9%) de estos casos de niños y jóvenes que aún están en fase activa del proceso infeccioso. Por otro lado, los casos de mortalidad (1%) fueron principalmente asociados a enfermedades metabólicas (31%), considerando la obesidad como la principal enfermedad metabólica asociada al COVID-19, se puede concluir que la esta enfermedad crónica es uno de los factores más importante de riesgo de mortalidad por infección de SARS-CoV-2 en menores de 21 años, lo cual es congruente con los decretos oficiales de considerarla una alerta epidemiológica infantil. Este estudio documenta la necesidad de considerar a esta población como un factor de riesgo ante escenarios de nueva normalidad que implica el regreso a clases presenciales. Adicionalmente, contribuye como factor de análisis de revisión urgente y de forma integral acciones del sector salud e instituciones vinculantes. Así mismo, marca las pautas para establecer acciones normativas vinculadas con política

the actions of the health sector and associated institutions. Moreover, the study provides some guidelines for designing public health policies that reduce the risk of mortality from COVID-19 such as changing the periodicity of nutrition evaluation instruments and using epidemiological indicators that have a positive effect on the health culture of Mexican society. However, it is important to study the relationship between COVID-19 and comorbidities in the rural population, considering the limitations of rural health and nutrition systems and the fact that agricultural workers did not stop working during the pandemic.

LITERATURE CITED

- Bassareo PP, Melis MR, Marras S and Calcaterra G. 2020. Learning from the past in the COVID-19 era: rediscovery of quarantine, previous pandemics, origin of hospitals and national healthcare systems, and ethics in medicine. *Postgraduate medical journal*, postgradmedj-2020-138370. Advance online publication. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2020-138370>
- Basto-Abreu A, Torres-Alvarez, R, Reyes-Sánchez F, González-Morales R, Canto-Osorio F, Colchero M A, Barquera S, Rivera JA and Barrientos-Gutierrez T. 2020. Predicting obesity reduction after implementing warning labels in Mexico: A modeling study. *PLoS medicine* 17(7): e1003221. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003221> CNX. Disponible en <https://cnx.org/> consultado 14 septiembre 2020
- Committee on Infectious Diseases. 2020. Recommendations for Prevention and Control of Influenza in Children, 2020-2021. *Pediatrics*, e2020024588. Advance online publication. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-024588>
- El-Sayed Moustafa JS, Jackson AU, Brotman SM, Guan L, Villicaña S, Roberts AL, Zito A, Bonnycastle L, Erdos MR, Narisu N, Stringham HM, Welch R, Yan T, Lakka T, Parker S, Tuomilehto J, Collins F S, Pajukanta P, Boehnke M, Koistinen HA, ... Small KS. 2020. ACE2 expression in adipose tissue is associated with COVID-19 cardio-metabolic risk factors and cell type composition. medRxiv: the preprint server for health sciences. 1-36 2020.08.11.20171108. <https://doi.org/10.1101/2020.08.11.20171108>
- Galli L, Chiappini E and Schumacher RF. 2020. After the First Wave of COVID-19: Reflections from Italy. *The Pediatric infectious disease journal* 39(8): e192–e194. <https://doi.org/10.1097/INF.0000000000002806>
- Gazzarusso C, Paolozzi E, Valenti C, Brocchetta M, Naldani D, Grignani C, Salvucci F, Marino F, Coppola A & Gallotti pública, modificar la periodicidad de los instrumentos de evaluación de nutrición e incluir indicadores epidemiológicos que permitan impactar en la cultura comunitaria de salud. En particular es importante documentar el impacto en la población rural considerando las limitaciones de los sistemas de salud, nutrición y continuada actividad laboral por considerarse esencial.
- ~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~
- P. 2020. Association between antithrombin and mortality in patients with COVID-19. A possible link with obesity. *Nutrition, metabolism, and cardiovascular diseases* 30(11): 1914-1919. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2020.07.040>
- Guo CX, He L, Yin JY, Meng XG, Tan W, Yang GP, Bo T, Liu JP, Lin XJ and Chen X. 2020. Epidemiological and clinical features of pediatric COVID-19. *BMC medicine* 18(1): 250. <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01719-2>
- H. Congreso de Oaxaca. Disponible en <https://docs64.congresooaxaca.gob.mx/documents/dictamen/1184.pdf> consultado 17 de septiembre 2020
- Hu T, Liu Y, Zhao M, Zhuang Q, Xu L and He Q. 2020. A comparison of COVID-19, SARS and MERS. *PeerJ* 8: e9725. <https://doi.org/10.7717/peerj.9725>
- Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, Zhang L, Fan G, Xu J, Gu X, Cheng Z, Yu T, Xia J, Wei Y, Wu W, Xie X, Yin W, Li H, Liu M, Xiao Y and Cao B. 2020. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet (London, England)*, 395(10223): 497–506. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
- Karia R, Gupta I, Khandait H, Yadav A and Yadav A. 2020. COVID-19 and its Modes of Transmission. *SN comprehensive clinical medicine* 1–4. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s42399-020-00498-4>
- Lu X, Zhang L, Du H, Zhang J, Li YY, Qu J and Wong GWK. 2020. SARS-CoV-2 infection in children. *New England Journal of Medicine* 382(17): 1663-1665. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2005073>
- OCDE. 2020. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). <https://www.oecd.org/mexico/health-at-a-glance-mexico-ES.pdf> consultado 14 de septiembre 2020
- Ourworldindata. 2020 Statistics and Research Coronavirus (COVID-19) Testing. Disponible en <https://ourworldindata.org/coronavirus-testing>. consultado 14 de Septiembre, 2020
- Pereira M, Litvinov N, Farhat S, Eisencraft AP, Gibelli M, Carvalho WB, Fernandes VR, Fink TT, Framil J, Galletti KV, Fante AL, Fonseca M, Watanabe A, Paula C, Palandri GG, Leal GN, Diniz M, Pinho J, Silva CA, Marques H, ... Jorge P. 2020. Severe clinical spectrum with high mortality

in pediatric patients with COVID-19 and multisystem inflammatory syndrome. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)* 75: e2209. <https://doi.org/10.6061/clinics/2020/e2209>

Ruan P S, Xu HQ, Wu JH, Song QF and Qiu HY. 2020. COVID-19 in Children: Clinical Characteristics and Follow-Up Study. *SN comprehensive clinical medicine* 1-4. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s42399-020-00502-x>

Can food be a risk factor in the transmission of SARS-CoV-2?

¿Pueden los alimentos ser un factor de riesgo en la de transmisión del SARS-CoV-2?

Irasema Vargas-Arispuro*, **Miguel Ángel Martínez-Téllez**, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD), Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46, Hermosillo, Sonora, CP 83304, México; **Hilda Karina Sáenz-Hidalgo**, CIAD, Avenida 4 sur 3828, Delicias, Chihuahua, CP. 33088, México; **Gustavo Mora-Aguilera**, Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Texcoco, Estado de México, CP. 56230, México; **Nuvia Orduño-Cruz**, **Graciela Dolores Avila-Quezada**, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, calle Escorza 900, Chihuahua, CP. 31000, México.
*Corresponding author: iris@ciad.mx

Received: February 02, 2021.

Accepted: March 29, 2021.

Vargas-Arispuro I, Martínez-Téllez MA, Sáenz-Hidalgo HK, Mora-Aguilera G, Orduño-Cruz N and Avila-Quezada GD. 2021. Can food be a risk factor in the transmission of SARS-CoV-2? Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 193-197.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-3>

Abstract. Although the SARS-CoV-2 virus can survive in various environments for 28 days or more, and that the virus dispersion by microdroplets in the air can be a risk of contagion, there is no evidence that food carries it. However, the authorities have recommended measures in the handling of food, to avoid the possible spread of the disease through it or its packaging. In addition, current certification models such as ISO 22000 and Good Manufacturing Practices have generated a culture of prevention and food safety also applicable to the SARS-CoV-2 risk.

Resumen. A pesar de que el virus SARS-CoV-2 puede sobrevivir en diversos ambientes por 28 días o más, y que la dispersión del virus por microgotas en el aire puede ser un riesgo de contagio, no hay evidencia de que los alimentos sean portadores de éste. Sin embargo, las autoridades han recomendado medidas en la manipulación de alimentos, para evitar la posible dispersión de la enfermedad a través de éstos o sus empaques. En adición, los modelos actuales de certificación como el ISO 22000 y Buenas Prácticas de Manufactura han generado una cultura de prevención e inocuidad genérica aplicable también al riesgo que representa SARS-CoV-2.

Palabras clave: COVID-19, inocuidad, virus, salud humana.

Key words: COVID-19, food safety, virus, human health.

Microbiological risk in foods

Every year we face the emergence of pathogens that put plant health at risk (Avila-Quezada *et al.*, 2018) along with human health (Chowell *et al.*, 2009), due to their quick spread and mortality. The recent emergence caused by the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) has alarmed the global population. Among these alarms are the speculations around the risk of contagion by foods. So far, there have been no reports of a direct relation, therefore regulatory and health authorities have declared the non-existence of evidence to indicate that foods are a means of transmission of SARS-CoV-2 (CDC, 2020; OMS, 2020; FDA, 2020).

However, the known means of transmission are person-to-person contact, contaminated surfaces (Han *et al.*, 2021), exposure to high levels of microparticles in the air and aerosols (Li *et al.*, 2020; Roviello, 2020) which, combined in places in which foods are handled, may be a potential risk for the transmission of the virus (Han *et al.*, 2021). This premise rises from isolated incidents in which frozen foods and their packages were found to be carriers of SARS-CoV-2, being the first, and so far, the only reported cases (SMHC, 2020). In this sense, refrigerated and frozen foods must follow adequate hygiene protocols.

Storage temperature and latency of the virus

The low temperatures in refrigerators, warehouses and transportation vehicles for food may extend the viability of SARS-CoV-2. Chin *et al.* (2020), Aboubakr *et al.* (2020) and Matson

El riesgo microbiológico en alimentos

Año con año enfrentamos el surgimiento de patógenos que ponen en riesgo la sanidad vegetal (Avila-Quezada *et al.*, 2018) y salud humana (Chowell *et al.*, 2009), por la vertiginosa dispersión y letalidad. La reciente emergencia causada por el síndrome respiratorio agudo severo coronavirus 2 (SARS-CoV-2) ha alarmado a la población mundial. Apareciendo entre estas alarmas las especulaciones generadas en relación al riesgo de contagio por alimentos. Hasta el momento, no se ha reportado una relación directa, por lo que diversas autoridades de salud y regulatorias, han declarado la inexistencia de evidencia que indique que los alimentos sean una vía de transmisión de SARS-CoV-2 (CDC, 2020; OMS, 2020; FDA, 2020).

Sin embargo, las vías de transmisión reconocidas son, el contacto de persona a persona, superficies contaminadas (Han *et al.*, 2021), exposición a niveles altos de partículas pequeñas en el aire y aerosoles (Li *et al.*, 2020; Roviello, 2020) que, combinadas en lugares donde se manipulan alimentos pueden representar un potencial riesgo para la transmisión del virus (Han *et al.*, 2021). Esta premisa surge de incidentes aislados en los cuales alimentos congelados y sus empaques resultaron portadores de SARS-CoV-2, siendo los primeros y hasta el momento únicos casos reportados (SMHC, 2020). En este sentido alimentos refrigerados y congelados deberán mantener protocolos adecuados de higiene.

Temperatura de almacenamiento y latencia del virus

Las bajas temperaturas de los refrigeradores, almacenes y vehículos de transporte de los alimentos pueden prolongar la viabilidad del SARS-CoV-2. Chin *et al.* (2020), Aboubakr *et al.* (2020) y Matson

et al. (2020) measured the stability of the virus at different temperatures and found that it is stable at 4 °C. Depending on the type of surface, environment, pH, temperature and humidity, the coronaviruses may remain viable for up to 28 days (Casanova *et al.*, 2010; Lai *et al.* 2005), confirming the presence of the virus in frozen foods, packages and storage settings Han *et al.* (2021). This suggests that before storing foods in low temperatures, they must undergo an appropriate and efficient disinfection treatment.

Person-to-food contamination

People infected with SARS-CoV-2 and are not adequately protected may release the virus when breathing, coughing, sneezing, or talking (Morawska and Milton, 2020). Therefore, when they are handling foods, they will contaminate them, along with the packages. Morawska *et al.* (2009) documented that the droplets released by a person can remain in the air and become a risk of exposure at distances higher than 2 m away from the infected person. At typical indoor air speeds, a 5 µm droplet will travel dozens of meters from a height of 1.5 m before landing on the ground (Matthews *et al.*, 1989). Here is where the measures regarding covering one's face and social distancing come into play as key factors to reduce the rate of contagion and thus reduce the risk of contamination of foods (Li *et al.*, 2020).

Recommendations and perspectives

Although further studies are required on the stability of SARS-CoV-2 and its viral load on foods to induce infections on humans, it is recommendable for the workers involved in preparing, packaging and distributing foods to take precautions (Eslami and Jalili, 2020). The action protocols established

et al. (2020) midieron la estabilidad del virus a diferentes temperaturas y encontraron que es estable a 4 °C. Dependiendo del tipo de superficie, ambiente, pH, temperatura y humedad, los coronavirus pueden permanecer viables hasta por 28 días (Casanova *et al.*, 2010; Lai *et al.* 2005), confirmándose la presencia del virus en alimentos congelados, empaques y entorno de almacenamiento Han *et al.* (2021). Lo que sugiere que antes de almacenar los alimentos en frío deberán recibir un tratamiento de desinfección apropiado y eficiente.

Contaminación de persona-alimentos

Las personas infectadas con SARS-CoV-2 y que no portan el equipo de protección adecuado pueden expulsar al virus al respirar, toser, estornudar o hablar (Morawska y Milton, 2020). De esta manera, cuando ellos se encuentran manipulando alimentos, los contaminarán al igual que los empaques. Morawska *et al.* (2009) documentaron que las microgotas expulsadas por una persona pueden permanecer en el aire y representar un riesgo de exposición a distancias mayores de 2 m de la persona infectada. A velocidades típicas del aire en interiores, una gota de 5 µm viajará decenas de metros, desde una altura de 1.5 m antes de asentarse en el suelo (Matthews *et al.*, 1989). Es aquí donde toma sentido la medida del cubrimiento facial y el distanciamiento social, como factores clave para reducir los contagios, y de esta manera reducir el riesgo de contaminación de los alimentos (Li *et al.*, 2020).

Recomendaciones y perspectivas

Aunque hacen falta estudios sobre la estabilidad del SARS-CoV-2 y carga viral en alimentos para inducir una infección en humanos; es recomendable tomar medidas precautorias por parte del personal involucrado en la preparación, empaque y

in some food plants in several countries consist in workers taking turns for lunch breaks and avoiding speaking in this period to reduce the risk of contaminating the foods they and other employees will eat. Other measures are the procedures for the hygiene and disinfection of equipment, facilities and frequently touched surfaces. These protocols have given good results as measures of precaution and are easy to follow in other areas related to the production, packaging and storage of foods. In general terms, these measures are widely used in food packaging plants operated under strict ISO certification models and adequate manufacturing practices.

LITERATURE CITED

- Aboubakr HA, Sharafeldin TA and Goyal SM. 2020. Stability of SARS-CoV-2 and other coronaviruses in the environment and on common touch surfaces and the influence of climatic conditions: a review. *Transboundary and Emerging Diseases* 0:1-17. <https://doi.org/10.1111/tbed.13707>
- Avila-Quezada GD, Esquivel JF, Silva-Rojas HV, Leyva-Mir SG, García-Avila C, Noriega-Orozco L, Rivas-Valencia P, Ojeda-Barrios D and Melgoza-Castillo A. 2018. Emerging plant diseases under a changing climate scenario: Threats to our global food supply. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 30(6): 443-450. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i6.1715>
- Casanova LM, Jeon S, Rutala WA, Weber DJ and Sobsey MD. 2010. Effects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces. *Applied and Environmental Microbiology* 76(9): 2712-2717. <https://doi.org/10.1128/aem.02291-09>
- CDC. 2020. Los alimentos y la enfermedad del coronavirus 2019 (COVID-19). Centros para el control y la prevención de enfermedades (CDC). <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/daily-life-coping/food-and-COVID-19.html> (consulta, noviembre 2020).
- Chin AWH, Chu JTS, Perera MRA, Hui KPY, Yen H, Chan MCW, Peiris M and Poon LLM. 2020. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *The Lancet Microbe* 1(1): e10. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3)
- Chowell G, Bertozzi SM, Colchero MA, López-Gatell H, Alpuche-Aranda C, Hernandez M and Miller MA. 2009. Severe respiratory disease concurrent with the circulation of H1N1 influenza. *New England Journal of Medicine* 361: 674-679. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0904023>

distribución de alimentos (Eslami y Jalili, 2020). Los protocolos de actuación establecidos en algunas plantas de alimentos en diversos países, consisten en turnar al personal para ingerir sus alimentos, evitar hablar durante este periodo con la finalidad de reducir el riesgo de contaminar lo que ingieren y a otros empleados. Otras medidas son los procedimientos de limpieza y desinfección de equipos, instalaciones y superficies de contacto frecuente. Estos protocolos han dado buenos resultados como medidas de precaución y que además son de fácil implementación en otras áreas relacionadas con la producción, empaque y almacenamiento de alimentos. En general estas medidas son de amplio uso en plantas de empaque de alimentos operados bajo estrictos modelos de certificación ISO y de buenas prácticas de manufactura.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Eslami H and Jalili M. 2020. The role of environmental factors to transmission of SARS-CoV-2 (COVID-19). *AMB Express* 10:92. <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01028-0>
- FDA. 2020. Inocuidad y disponibilidad de alimentos durante la pandemia del coronavirus. Food and Drugs Administration (FDA). <https://www.fda.gov/consumers/articulos-en-espanol/inocuidad-y-disponibilidad-de-alimentos-durante-la-pandemia-del-coronavirus> (consulta, noviembre 2020).
- Han J, Zhang X, He S and Jia P. 2021. Can the coronavirus disease be transmitted from food? A review of evidence, risks, policies and knowledge gaps. *Environmental Chemistry Letters* 19: 5-16. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01101-x>
- Lai MYY, Cheng PKC and Lim WL. 2005. Survival of severe acute respiratory syndrome coronavirus. *Clinical Infectious Diseases* 41(7): e67-e71. <https://doi.org/10.1086/433186>
- Li Y, Zhang R, Zhao J and Molina MJ. 2020. Understanding transmission and intervention for the COVID-19 pandemic in the United States. *Science of the Total Environment* 748:141560. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141560>
- Matson MJ, Yinda CK, Seifert SN, Bushmaker T, Fischer RJ, van Doremalen N, Lloyd-Smith JO and Munster VJ. 2020. Effect of environmental conditions on SARS-CoV-2

- stability in human nasal mucus and sputum. *Emerging Infectious Diseases* 26(9): 2276-2278. <https://doi.org/10.3201/eid2609.202267>
- Matthews TG, Thompson CV, Wilson DL, Hawthorne AR and Mage DT. 1989. Air velocities inside domestic environments: an important parameter in the study of indoor air quality and climate. *Environmental International* 15(1-6): 545-550. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(89\)90074-3](https://doi.org/10.1016/0160-4120(89)90074-3)
- Morawska L and Milton DK. 2020. It is time to address airborne transmission of Coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Clinical Infectious Diseases* 71(9): 2311-2313. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>
- Morawska L, Johnson GR, Ristovski ZD, Hargreaves M, Mengersen K, Corbett S, Chao CYH and Katoshevska D. 2009. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *Journal of Aerosol Science* 40(3): 256-269. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2008.11.002>
- OMS. 2020. Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19). Organización mundial de la salud (OMS). <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses> (consulta, noviembre 2020).
- Roviello V and Roviello GN. 2020. Lower COVID-19 mortality in Italian forested areas suggests immunoprotection by Mediterranean plants. *Environmental Chemistry Letters* 19: 699-710. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01063-0>
- Shenzhen Municipal Health Commission (SMHC) (2020) Detection of SARS-CoV-2 on an imported chicken wing sample. [https://wjw.sz.gov.cn/yqxx/content/post\\_7998108.html](https://wjw.sz.gov.cn/yqxx/content/post_7998108.html). (Consulta, diciembre 2020).

# Chlorine and its importance in the inactivation of bacteria, can it inactivate viruses?

## El cloro y su importancia en la inactivación de bacterias, ¿Puede inactivar virus?

Laila Nayzzel Muñoz-Castellanos, Alejandra Borrego-Loya, Cindy Viviana Villalba-Bejarano, Román González-Escobedo, Nuvia Orduño-Cruz, Grisel Paloma Villezcas-Villegas, María Janeth Rodríguez-Roque, Graciela Dolores Avila-Quezada\*, Facultad de Ciencias Químicas, Facultad de Zootecnia y Ecología, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Escorza 900, Chihuahua, CP 31000, México; Irasema Vargas-Arispuro, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, No. 46, Hermosillo, Sonora, CP 83304, México. \*Corresponding author: gavilaq@gmail.com; gdavila@uach.mx

Received: February 02, 2021.

Accepted: March 30, 2021.

Muñoz-Castellanos LN, Borrego-Loya A, Villalba-Bejarano CV, González-Escobedo R, Orduño-Cruz N, Villezcas-Villegas GP, Rodríguez-Roque MJ, Avila-Quezada GD and Vargas-Arispuro I. 2021. Chlorine and its importance in the inactivation of bacteria, can it inactivate viruses? Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 198-206.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-4>

**Abstract.** Sodium hypochlorite (NaClO) and its active ingredient, hypochlorous acid (HClO), are the most widely used chlorine-based disinfectants. HClO is a fast-acting antimicrobial that interacts with many biomolecules, including amino acids, lipids, nucleic acids, and sulfur-containing membrane components, causing cell damage. In this review, we present examples of the effectiveness of chlorine in general disinfection procedures to inactivate bacteria and, under some conditions, bacteria in biofilms and viruses.

**Resumen.** El hipoclorito de sodio (NaClO) y su ingrediente activo, el ácido hipocloroso (HClO), son los desinfectantes a base de cloro más utilizados a nivel mundial. El HClO es un antimicrobiano de acción rápida que interactúa con muchas biomoléculas, como aminoácidos, lípidos, ácidos nucleicos y componentes de la membrana que contienen azufre, causando daño celular. En esta revisión se exponen ejemplos de la efectividad del cloro en procedimientos generales de desinfección, para inactivar bacterias, y bajo ciertas condiciones bacterias en biopelículas y virus.

**Palabras clave:** Bacterias, COVID-19, inactivación de patógenos, virus.

### Antecedentes

En el contexto actual de la pandemia del COVID-19, enfermedad causada por el Severe Acute



**Key words:** Bacteria, COVID-19, pathogen inactivation, virus.

### Antecedents

In the current context of the COVID-19 pandemic, a disease caused by the Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2), sanitary measures such as washing surfaces and equipment to reduce the risk of contamination by pathogens are crucially important (Avila-Quezada *et al.*, 2010; Nussbaumer-Streit *et al.*, 2020; Avila-Quezada *et al.*, 2008; Gil *et al.*, 2015). One of the most widely used sanitary products, due to its affordability, is chlorine, usually sold as sodium hypochlorite and calcium hypochlorite (OIRSA, 2020). The use of sodium hypochlorite (NaClO) as a disinfectant has increased during the COVID-19 pandemic (Patel *et al.*, 2020), since it is a commonly used antiseptic for cleaning environmental surfaces in the healthcare sector, without the flammability and rapid evaporation that characterizes ethanol. An additional advantage of chlorine is that it can easily cover large surfaces (Hulkower *et al.*, 2011). Some studies have shown that chlorine can inhibit fungal growth at a concentration of 75 ppm (Zoffoli *et al.*, 2005), while Owoseni and Okoh (2017) reported that the lethal dose against bacteria was 1 ppm. But is chlorine effective against viruses? This review aims to describe the mode of action of chlorine when used as a disinfectant.

### Persistence of SARS-CoV-2 on surfaces

The speed at which SARS-CoV-2 has spread throughout the world is alarming, as is the long period during which the virus remains latent outside the host (Riddell *et al.*, 2020). Laboratory studies have assessed the persistence of the virus on different surfaces (Table 1) but there are still

Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2), las medidas sanitarias como el lavado de superficies y equipo para reducir riesgos de contaminación por patógenos son imprescindibles (Avila-Quezada *et al.*, 2010; Nussbaumer-Streit *et al.*, 2020; Avila-Quezada *et al.*, 2008; Gil *et al.*, 2015). Uno de los productos más utilizados por su costo accesible es el cloro, en los compuestos de hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio (OIRSA, 2020). El uso de hipoclorito de sodio (NaClO) como desinfectante ha aumentado durante la actual pandemia COVID-19 (Patel *et al.*, 2020), ya que es un importante antiséptico de superficies ambientales en el sector sanitario, sin la inflamabilidad y rápida evaporación que caracteriza al etanol, además, es adecuado para verse en superficies extensas (Hulkower *et al.*, 2011). Algunos trabajos de investigación han demostrado que el cloro puede inhibir hongos a una concentración de 75 ppm (Zoffoli *et al.*, 2005) y en bacterias la dosis letal reportada por Owoseni y Okoh (2017) fue de 1 ppm, pero ¿éste es realmente eficaz contra virus? El objetivo de esta revisión es conocer el modo de acción del cloro para ser usado como desinfectante.

### Permanencia del SARS-CoV-2 en superficies

La velocidad a la que el SARS-CoV-2 se ha extendido por todo el mundo ha sido alarmante, al igual que el largo período de tiempo en el que el virus permanece latente fuera del hospedante (Riddell *et al.*, 2020). Estudios realizados en condiciones de laboratorio han determinado la permanencia del virus en diferentes superficies (Cuadro 1). Hasta el momento no hay estudios del SARS-CoV-2 en muestras de ambientes agrícolas, como maquinaria y herramienta utilizada en campo y poscosecha. Esta información es útil para establecer procedimientos de sanitización y desinfección de superficies como una medida preventiva de contagio por SARS-CoV-2.

**Table 1. Persistence of SARS-CoV-2 on different inert surfaces.**

**Cuadro 1. Permanencia del SARS-CoV-2 en diferentes superficies inertes.**

| Superficie                                                          | Permanencia | Referencia                                                    |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------|
| Ropa y madera                                                       | ≤ 1 d       | Chin <i>et al.</i> , 2020                                     |
| Plástico                                                            | 4 d         | Chin <i>et al.</i> , 2020; van Doremalen <i>et al.</i> , 2020 |
| Mascarilla médica                                                   | ≤ 7 d       | Chin <i>et al.</i> , 2020                                     |
| Cobre                                                               | 4 h         | van Doremalen <i>et al.</i> , 2020                            |
| Cartón                                                              | 24 h        | van Doremalen <i>et al.</i> , 2020                            |
| Superficies no porosas (vidrio, acero inoxidable, billetes y papel) | > 28 d      | Riddell <i>et al.</i> , 2020                                  |

no studies of the persistence of SARS-CoV-2 on surfaces from agricultural environments, such as machinery and tools used in the preharvest and postharvest stages. Having this information would be useful to establish procedures for sanitizing and disinfecting surfaces as a preventive measure against contagion by SARS-CoV-2.

### How does chlorine destroy bacteria?

The concentration of commercial sodium hypochlorite products is usually between 3 and 6%, which is equivalent to 30,000-60,000 ppm of free chlorine. Free chlorine refers to the amount of hypochlorous acid and hypochlorite in the water. Hypochlorous acid (HClO) is electrically neutral, while hypochlorite ions (ClO<sup>-</sup>) are electrically negative. These ions constitute free chlorine, which, when in contact with bacteria, oxidizes them in a process known as chemical disinfection (Lafaurie *et al.*, 2015).

When chlorine is diluted in water, an aqueous solution is formed in which undissociated HClO becomes activated, penetrating the cell walls and membranes of bacteria by passive diffusion due to the negative charge of these structures (da Cruz Nizer *et al.*, 2020; Radovic-Moreno *et al.*, 2012). ClO<sup>-</sup> ions have a negative charge too, so they can hardly pass through the bacterial wall since the

### ¿Cómo destruye el cloro a las bacterias?

El hipoclorito de sodio en su presentación comercial generalmente se encuentra entre 3 y 6%, lo que equivale a 30,000 a 60,000 ppm de cloro libre. El “cloro libre” es la cantidad de ácido hipocloroso e hipoclorito en el agua. El ácido hipocloroso (HClO) es eléctricamente neutro y los iones hipoclorito (ClO<sup>-</sup>) son eléctricamente negativos. Estos iones forman cloro libre que al estar en contacto con las bacterias las oxidan, a este proceso se le conoce como desinfección química (Lafaurie *et al.*, 2015).

Cuando el cloro se diluye en agua se forma una solución acuosa en la que el HClO sin disociar, se activa logrando penetrar por difusión pasiva las paredes y membranas de las bacterias, ya que estas estructuras poseen carga negativa (da Cruz Nizer *et al.*, 2020; Radovic-Moreno *et al.*, 2012). Los iones ClO<sup>-</sup> también tienen carga negativa, por lo tanto, se repelen y difícilmente atraviesan la pared bacteriana (da Cruz Nizer *et al.*, 2020), por lo que conforme aumenta el pH de la solución, el ion hipoclorito se vuelve el predominante y la actividad microbicida disminuye (Figura 1).

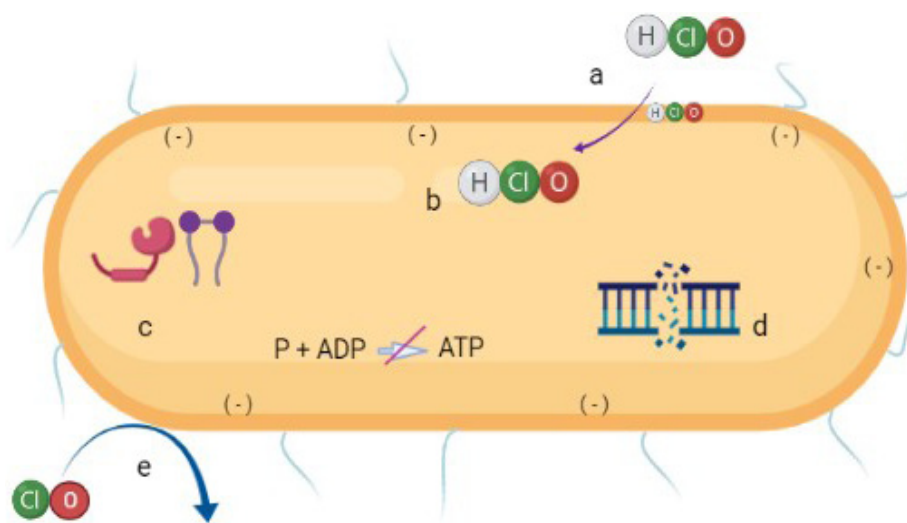
Se ha comprobado también que la actividad antimicrobiana del HClO es a causa de la pérdida respiratoria en las membranas bacterianas, debido a una reacción irreversible con las enzimas de

charges repel each other (da Cruz Nizer *et al.*, 2020). Thus, as the pH of the solution increases, hypochlorite ions become the predominant ones and the microbicidal activity decreases (Figure 1).

It has also been proven that the antimicrobial activity of HClO works by causing respiratory loss in bacterial membranes as a result of an irreversible reaction with structural, proteins and sulfur- and heme-containing membrane enzymes, causing cell death (Sam and Lu, 2009; Ghernaout, 2017). Damage to membrane proteins has a negative effect on energy transduction and transport that can lead to ATP hydrolysis (Barrette *et al.*, 1987). Protein fragmentation also disrupts DNA synthesis (Kiamco *et al.*, 2019). The reaction of HClO with the amino groups of nucleotides generates reactive chloramines, which break the hydrogen bonds that hold the two DNA strands together (Fukuzaki,

membrana que contienen azufre y grupos hemo, así como de proteínas estructurales, causando la muerte celular (Sam y Lu, 2009; Ghernaout, 2017). El daño ocasionado a las proteínas indican un efecto negativo en la transducción y el transporte de energía, lo que conduce a hidrólisis del ATP (Barrette *et al.*, 1987). La fragmentación de las proteínas también interrumpe la síntesis de ADN (Kiamco *et al.*, 2019). La reacción de HClO con los grupos aminos de los nucleótidos produce cloraminas reactivas, las cuales rompen los enlaces de hidrógeno y disocian las dobles cadenas de ADN (Fukuzaki, 2006). El HClO reacciona con ácidos grasos insaturados produciendo clorohidrininas. Las clorohidrininas lipídicas provocan lisis celular y toxicidad (Dever *et al.*, 2006; Spickett *et al.*, 2000) (Figura 1).

En el estudio de Chen *et al.* (2016), la eficacia del HClO a 180 ppm eliminó bacterias Gram



**Figure 1.** Diagram of the mechanism of action of hypochlorous acid (HClO) in bacterial cells. HClO penetrates the bacterial cell due to its neutral charge (a), affecting membrane components (b) such as transporters, proteins, and ATPase; it also degrades lipids and proteins (c) and interrupts DNA synthesis (d). Bacterial oxidation can also occur from contact with hypochlorite ions (ClO<sup>-</sup>) (e). Figure created in BioRender.com

**Figura 1.** Esquema del mecanismo de acción del ácido hipocloroso (HClO) en células bacterianas. HClO penetra la célula bacteriana debido a su carga neutra (a), afectando los componentes de la membrana (b), como transportadores, proteínas y ATPasa; degrada lípidos y proteínas (c), e interrumpe la síntesis del ADN (d). También puede ocurrir oxidación bacteriana por contacto con el ion hipoclorito (ClO<sup>-</sup>) (e). Figura creada en BioRender.com

2006). HClO reacts with unsaturated fatty acids to form chlorohydrins, and lipid chlorohydrins cause cell lysis and toxicity (Dever *et al.*, 2006; Spickett *et al.*, 2000) (Figure 1).

A study by Chen *et al.* (2016) showed that, at a concentration of 180 ppm, HClO eliminated Gram-negative bacteria (*Escherichia coli* and *Porphyromonas gingivalis*) and Gram-positive bacteria (*E. faecalis* and *Streptococcus sanguinis*) on titanium surfaces contaminated with biofilms of these microorganisms. The antibacterial efficacy of HClO increased as the treatment time increased. Owoseni and Okoh (2017) found that chlorine doses of 0.75 to 1.0 ppm, although very low, reduced the tolerance to HClO of *Enterococcus* species isolated from two wastewater treatment plants.

However, eliminating bacteria organized into biofilms is difficult due to the protection provided by polysaccharides (Torres-Armendariz *et al.*, 2015). Williams and Braun-Howland (2003) found that the commonly recommended dose of HClO (1 ppm) is not sufficient to inactivate bacteria in biofilms, specifically *Legionella pneumophila*, *E. coli*, and  $\beta$  and  $\delta$  proteobacteria.

### Virus inactivation on surfaces

Regarding the effectiveness of chlorine in the inactivation of viruses, various studies have obtained controversial results. Some authors mention that coronaviruses can be inactivated with a 1000 ppm NaClO solution due to its interaction with the external lipid envelope of the virus (Campagna *et al.*, 2016; Kampf *et al.*, 2020). A study by Lin *et al.* (2020) concluded that, at a concentration of 100 ppm, NaClO can effectively disinfect a surface contaminated with the HIV-1 virus in 30 s. However, NaClO is very sensitive to the presence of organic matter (e.g. plasma and blood) on inert smooth surfaces, so significantly

negativas (*Escherichia coli* y *Porphyromonas gingivalis*) y Gram positivas (*E. faecalis* y *Streptococcus sanguinis*) en superficies de titanio contaminadas con biopelículas de estos microorganismos. Se observó mayor eficacia antibacteriana del HClO a medida que aumentó el tiempo de tratamiento. Owoseni y Okoh (2017) encontraron que las dosis de cloro de 0.75 a 1.0 ppm, aunque son muy bajas, mostraron buena capacidad desinfectante para reducir la tolerancia al HClO por especies de *Enterococcus* aislados de dos plantas de tratamiento de aguas residuales.

Sin embargo, cuando se trata de biopelículas la eliminación es difícil por la protección que los polisacáridos proporcionan a las bacterias (Torres-Armendariz *et al.*, 2015). Williams y Braun-Howland (2003) encontraron que la dosis comúnmente recomendada de HClO (1 ppm) no es suficiente para inactivar bacterias en biopelículas, específicamente *Legionella pneumophila*, *E. coli* y proteobacterias  $\beta$  y  $\delta$ .

### Inactivación de virus en superficies

Respecto a la efectividad del cloro para inactivar virus, diversos estudios han obtenido resultados controversiales. Algunos autores mencionan que los coronavirus pueden inactivarse con una solución de NaClO a 1000 ppm debido a la interacción de ésta con la envoltura lipídica externa del virus (Campagna *et al.*, 2016; Kampf *et al.*, 2020). Por otra parte, los estudios de Lin *et al.*, 2020 concluyen que el NaClO a una concentración de 100 ppm puede desinfectar eficazmente una superficie con el virus VIH-1 en 30 s. Sin embargo, el NaClO es muy sensible a la presencia de materia orgánica (p. ej., plasma y sangre) en superficies lisas inertes por lo que se requieren concentraciones significativamente más altas para que conserven la eficacia desinfectante. Hulkower *et al.* (2011) utilizaron el



higher concentrations are required to maintain its disinfecting efficacy. Hulkower *et al.* (2011), using the mouse hepatitis virus (MHV) and the transmissible gastroenteritis virus (TGEV) as coronavirus models, determined that, after 1 min of contact with 1:100 hypochlorite (~ 600 ppm), there was a reduction of 0.62 and 0.35  $\log_{10}$  in viral load, respectively. However, a  $\log_{10}$  viral reduction factor > 3 has previously been suggested as a benchmark for the effective virucidal activity against coronaviruses and other surface viruses (Sattar, 2004).

### Virus inactivation in plant tissue and other samples

When the virus is inside a tissue or sample, it is not easy to remove it with chlorine; therefore, alternative techniques are required to inactivate it. Molina-Chavarria *et al.* (2020) reported that a 200 ppm NaClO dose was not efficient in reducing human norovirus (Human norovirus-HuNoV) in a stool sample. Kingsley *et al.* (2014) treated a stool filtrate containing 10% HuNoV with free chlorine at 189 ppm. This treatment reduced the viral load by 4  $\log_{10}$ , whereas a concentration of 350 ppm of  $\text{ClO}_2$  dissolved in water did not inactivate HuNoV after 1 min but reduced the viral load by 2.8  $\log_{10}$  after 60 min. The authors concluded that chlorine dioxide has limited activity against HuNoV. Hirneisen and Kniel (2013) reported that chlorine treatment was one of the least effective in inactivating viruses such as murine norovirus (MNV), hepatitis A virus (HAV), and human adenovirus type 41 (Ad41) in onion tissue. In a study by Duizer *et al.* (2004), two types of calicivirus and one norovirus were inactivated with a dose of NaClO greater than 300 ppm. The high doses of chlorine that are effective against some viruses confirm that the concentrations used to disinfect fruit are insufficient to prevent

virus de la hepatitis de ratón (MHV) y el virus de la gastroenteritis transmisible (TGEV) como modelos de coronavirus, determinando que con 1 min de contacto con hipoclorito 1:100 (~600 ppm), hubo una reducción viral de 0.62 y 0.35  $\log_{10}$ , respectivamente. Sin embargo, se ha sugerido previamente un factor de reducción viral  $\log_{10}$  >3 como punto de referencia para la actividad virucida eficaz contra coronavirus y otros virus en superficies (Sattar, 2004).

### Inactivación de virus en tejido vegetal y otras muestras

Cuando el virus se encuentra dentro de un tejido o muestra no resulta fácil eliminarlo con cloro, por lo tanto, se requieren otras técnicas adicionales para inactivarlo. Molina-Chavarria *et al.* (2020) reportan que la dosis de 200 ppm NaClO no fue eficiente para reducir al norovirus humano (Human norovirus-HuNoV) en una muestra de heces. Kingsley *et al.* (2014) trataron un filtrado de heces que contenían 10% de HuNoV con cloro libre a 189 ppm, redujo a 4  $\log_{10}$  la carga viral, mientras que una concentración de 350 ppm de  $\text{ClO}_2$  disuelto en agua durante 1 min, no inactivó el HuNoV; sin embargo, a 60 min redujo el virus en 2.8  $\log_{10}$ , concluyendo que el dióxido de cloro tiene actividad limitada contra este virus. Por su parte, Hirneisen y Kniel (2013) mencionan que el tratamiento con cloro es uno de los menos efectivos para inactivar virus como el norovirus murino (MNV), virus de la hepatitis A (HAV) y adenovirus humano tipo 41 (Ad41) en tejido de cebolla. Los estudios de Duizer *et al.* (2004) inactivaron a dos tipos de calicivirus y un norovirus con una dosis mayor de 300 ppm de NaClO. Las dosis altas de cloro que resultaron efectivas contra algunos virus confirman que los niveles utilizados durante la desinfección de frutas son insuficientes para evitar la transmisión de virus.

viral transmission. Based on these results, it can be deduced that chlorine must be in direct contact with the virus, not only with the material, which may contain a large amount of organic matter.

### Prospects for the inactivation of SARS-CoV-2

To reduce the persistence of SARS-CoV-2 on the surfaces of doors and window handles, kitchens, toilets, and faucets, touch screens, and work furniture and tools, various health organizations have recommended the use of NaClO at a concentration of 0.05% to 0.1% (500 to 1000 ppm) (WHO, 2020a). The high concentrations recommended can affect SARS-CoV-2, since this is a virus that, as the influenza and other coronaviruses, has a lipoprotein coating, which makes it much more vulnerable to chemical disinfectants than other viruses without that property. This is confirmed by the works of Maris (1989) and Lai *et al.* (2020), who required disinfectant solutions 20 to 500 times denser to kill viruses without a lipoprotein coating (parvovirus) than those required to eliminate coronaviruses (WHO, 2020b). It is necessary to consider that hypochlorite solutions should be prepared with water free of organic matter. This is important because, after washing fruits and vegetables, soil and plant material residues remain in the water, reducing the effectiveness of NaClO (Weng *et al.*, 2016). Furthermore, the bad performance of hypochlorite may be due to its absorption by proteins and other organic compounds (e.g. amino acids), which limits its availability for disinfection (Hulkower *et al.*, 2011). Moreover, halomethanes, which are potential carcinogens, are formed when chlorine comes into contact with organic matter in water (Kingsley *et al.*, 2014). Due to the importance of coronaviruses in various fields, further studies are required to investigate the effect of hypochlorite against SARS-CoV-2, considering

Con base en estos antecedentes se deduce que el cloro debe estar en contacto directo con el virus, y no solo en contacto con la muestra, la cual contiene gran cantidad de materia orgánica.

### Perspectivas en la inactivación del SARS-CoV-2

Para reducir la permanencia del SARS-CoV-2 en superficies de manijas de puertas y ventanas, cocina, superficies de inodoros y grifos, pantallas táctiles y superficies de trabajo, diversas organizaciones de salud recomiendan el uso del NaClO a una concentración de 0.05% a 0.1% (500 a 1000 ppm) (WHO, 2020a). Las altas concentraciones de NaClO recomendadas pueden lograr un efecto sobre SARS-CoV-2, ya que al ser un virus con cubierta lipoproteica, como el de la influenza y otros coronavirus, son mucho más vulnerables a desinfectantes químicos que otros virus sin esa propiedad del tipo de los norovirus. Esto fue inferido por los trabajos de Maris (1989) y Lai *et al.* (2020), quienes requirieron soluciones desinfectantes de 20 a 500 veces más densas para eliminar virus sin cubierta lipoproteica (parvovirus) que las requeridas para matar coronavirus (WHO, 2020b). Es necesario considerar que las soluciones de hipoclorito deben prepararse con agua libre de materia orgánica, debido a que, después del lavado de frutas y vegetales, quedan residuos de suelo y material vegetal, reduciendo la efectividad del NaClO en el agua (Weng *et al.*, 2016). También el bajo rendimiento del hipoclorito puede deberse al consumo de éste por las proteínas y otros compuestos orgánicos (p. ej., aminoácidos) presentes, por lo que limitan su disponibilidad para desinfección (Hulkower *et al.*, 2011). Adicionalmente, el cloro al entrar en contacto con la materia orgánica en el agua, forma halometanos, potenciales compuestos carcinógenos (Kingsley *et al.*, 2014). Por la importancia que los coronavirus tienen en diversos ámbitos, son necesarios más es-

both the concentration and the time of contact, in order to determine if these factors can improve the virucidal activity of hypochlorite on inanimate surfaces after treatment.

tudios del efecto del hipoclorito contra el SARS-CoV-2, al evaluar tanto la concentración como el tiempo de contacto, con el fin de determinar si estos factores pueden mejorar la actividad viricida del hipoclorito en superficies después del tratamiento.

## LITERATURE CITED

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Avila-Quezada G, Sánchez E, Gardea-Béjar AA and Acedo-Félix E. 2010. *Salmonella* spp. and *Escherichia coli*: survival and growth in plant tissue. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 38(2):47-55. <https://doi.org/10.1080/01140671003767834>
- Avila-Quezada G, Sánchez E, Muñoz E, Martínez LR and Villalobos E. 2008. Diagnosis of the microbiological quality of fruits and vegetables in Chihuahua, Mexico. *Phyton International Journal of Experimental Botany* 77:129-136. <https://doi.org/10.32604/phyton.2008.77.129>
- Barrette W, Albrich J and Hurst J. 1987. Hypochlorous acid-promoted loss of metabolic energy in *Escherichia coli*. *Infection and Immunity* 55(10): 2518-2525. <https://ia.asm.org/content/ia/55/10/2518.full.pdf>
- Campagna MV, Faure-Kumar E, Treger JA, Cushman JD, Grogan TR, Kasahara N and Lawson GW. 2016. Factors in the selection of surface disinfectants for use in a laboratory animal setting. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science* 55(2): 175-188. <https://www.ingentaconnect.com/content/aalas/jaalas/2016/00000055/00000002/art00009#>
- Chen CJ, Chen CC and Ding SJ. 2016. Effectiveness of hypochlorous acid to reduce the biofilms on titanium alloy surfaces in vitro. *International Journal of Molecular Sciences* 17(7): 1161. <https://doi.org/10.3390/ijms17071161>
- Chin AWH, Chu JTS, Perera MRA, Hui KPY, Yen H-L, Chan MCW, Peiris M and Poon LML. 2020. Stability of SARS-CoV2 in different environmental conditions. *The Lancet Microbe* 1(1): E10. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3)
- DaCruzNizerWS, Inkovskiy V and Overhage J. 2020. Surviving reactive chlorine stress: Responses of gram-negative bacteria to hypochlorous acid. *Microorganisms* 8(8): 1220. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081220>
- Dever G, Wainwright CL, Kennedy S and Spickett CM. 2006. Fatty acid and phospholipid chlorohydrins cause cell stress and endothelial adhesion. *Acta Biochimica Polonica* 53(4): 761-768. https://doi.org/10.18388/abp.2006_3304
- Duizer E, Bijkerk P, Rockx B, De Groot A, Twisk F and Koopmans M. 2004. Inactivation of caliciviruses. *Applied and Environmental Microbiology* 70(8): 4538-4543. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.8.4538-4543.2004>
- Fukuzaki S. 2006. Mechanisms of actions of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection processes. *Biocontrol Science* 11(4): 147-157. <https://doi.org/10.4265/bio.11.147>
- Gheraout D. 2017. Microorganisms' electrochemical disinfection phenomena. *EC Microbiology* 9: 160-169. https://www.academia.edu/33867440/Microorganisms_Electrochemical_Disinfection_Phenomena
- Gil MI, Selma MV, Suslow T, Jacxsens L, Uyttendaele M and Allende A. 2015. Pre-and postharvest preventive measures and intervention strategies to control microbial food safety hazards of fresh leafy vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 55(4): 453-468. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.657808>
- Hirneisen KA and Kniel KE. 2013. Inactivation of internalized and Surface contaminated enteric viruses in green onions. *International Journal of Food Microbiology* 166(2): 201-206. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.07.013>
- Hulkower RL, Casanova LM, Rutala WA, Weber DJ and Sobsey. 2011. Inactivation of surrogate coronaviruses on hard surfaces by health care germicides. *American Journal of Infection Control* 39(5): 401-407. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2010.08.011>
- Kampf G, Todt D, Pfaender S and Steinmann E. 2020. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *Journal of Hospital Infection* 104(3): 246-251. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022>
- Kiamco MM, Zmuda HM, Mohamed A, Call DR, Raval YS, Patel R and Beyenal H. 2019. Hypochlorous-acid-generating electrochemical scaffold for treatment of wound biofilms. *Scientific Reports* 9: 2683. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38968-y>
- Kingsley DH, Vincent EM, Meade GK, Watson CL and Fan X. 2014. Inactivation of human norovirus using chemical sanitizers. *International Journal of Food Microbiology* 171(3): 94-99. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.018>
- Lafaurie GI, Calderón JL, Zaror C, Millán LV and Castillo DM. 2015. Ácido Hipocloroso: una nueva alternativa como agente antimicrobiano y para la proliferación celular para uso en odontología. *International Journal of Odontostomatology* 9(3): 475-481. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2015000300019>
- Lai CC, Shih TP, Ko WC, Tang HJ and Hsueh PR. 2020. Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19):

- The epidemic and the challenges. *International Journal of Antimicrobial Agents* 55(3): 105924. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105924>
- Lin Q, Lim JY, Xue K, Yew PYM, Owh C, Chee PL and Loh XJ. 2020. Sanitizing agents for virus inactivation and disinfection. *View* 1(2): e16. <https://doi.org/10.1002/viw.2.16>
- Maris P. 1989. Virucidal efficacy of eight disinfectants against pneumovirus, coronavirus and parvovirus. *Annals of Veterinary Research* 21(4): 275-279. <https://europepmc.org/article/med/2288453>
- Molina-Chavarria A, Félix-Valenzuela L, Silva-Campa E and Mata-Haro V. 2020. Evaluation of gamma irradiation for human norovirus inactivation and its effect on strawberry cells. *International Journal of Food Microbiology* 330: 108695. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108695>
- Nussbaumer-Streit B, Mayr V, Dobrescu AI, Chapman A, Persad E, Klerings I, Wagner G, Siebert U, Ledingger D, Zachariah C and Gartlehner G. 2020. Quarantine alone or in combination with other public health measures to control COVID-19: a rapid review. *Cochrane Database of Systematic Reviews* Art. No. CD013574 9:1-77. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013574.pub2>
- Oirsa. 2020. Guía para uso de cloro en desinfección de frutas y hortalizas de consumo fresco, equipos y superficies en establecimientos <https://www.oirsa.org/contenido/2020/Guia%20para%20uso%20de%20cloro%20como%20desinfectante%20en%20establecimientos%2023.06.2020.pdf>. (consulta: noviembre, 2020)
- Owoseni M and Okoh A. 2017. Evidence of emerging challenge of chlorine tolerance of *Enterococcus* species recovered from wastewater treatment plants. *International Biodeterioration & Biodegradation* 120: 216-223. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.02.016>
- Patel P, Sanghvi S, Malik K and Khachemoune A. 2020. Back to the basics: Diluted bleach for COVID-19. *Journal of the American Academy of Dermatology* 83(1): 279-280. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2020.04.033>
- Radovic-Moreno AF, Lu TK, Puscasu VA, Yoon CJ, Langer R and Farokhzad OC. 2012. Surface charge-switching polymeric nanoparticles for bacterial cell wall-targeted delivery of antibiotics. *ACS Nano* 6(5): 4279-4287. <https://doi.org/10.1021/nn3008383>
- Riddell S, Goldie S, Hill A, Eagles D and Drew TW. 2020. The effect of temperature on persistence of SARS-CoV-2 on common surfaces. *Virology Journal* 17: 145. <https://doi.org/10.1186/s12985-020-01418-7>
- Sam CH and Lu HK. 2009. The role of hypochlorous acid as one of the reactive oxygen species in periodontal disease. *Journal of Dental Sciences* 4: 45-54. [https://doi.org/10.1016/S1991-7902\(09\)60008-8](https://doi.org/10.1016/S1991-7902(09)60008-8)
- Sattar, S. 2004. Microbicides and the environmental control of nosocomial viral infections. *Journal of Hospital Infection* 56(2): 64-69. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2003.12.033>
- Spickett CM, Jerlich A, Panasencko OM, Arnhold J, Pitt AR, Stelmaszyńska T and Schaur J. 2000. The reactions of hypochlorous acid, the reactive oxygen species produced by myeloperoxidase, with lipids. *Acta Biochimica Polonica* 47(4): 889-899. http://www.actabp.pl/pdf/4_2000/889.pdf
- Torres-Armendáriz, V, Manjarrez-Domínguez CB, Acosta-Muñoz CH, Guerrero-Prieto VM, Parra-Quezada RA, Noriega-Orozco LO and Ávila-Quezada GD. 2015. Interactions between *Escherichia coli* O157:H7 and food plants. Has this bacterium developed internalization mechanisms? *Mexican Journal of Phytopathology* 34(1): 64-83. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1507-4>
- Van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, Tamin A, Harcourt JL, Thornburg NJ, Gerber SI, Lloyd-Smith JO, Wit E and Munster VJ. 2020. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *The New England Journal of Medicine* 382: 1564-1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- Weng S, Luo Y, Li J, Zhou B, Jacangelo JG and Schwab KJ. 2016. Assessment and speciation of chlorine demand in fresh-cut produce wash water. *Food Control* 60: 543-551. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.031>
- WHO. 2020a. Cleaning and disinfection of environmental surfaces in the context of COVID-19. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/cleaning-and-disinfection-of-environmental-surfaces-in-the-context-of-covid-19>. (consulta, noviembre 2020).
- WHO. 2020b. Water, sanitation, hygiene and waste management for COVID-19: technical brief, 03 March 2020. World Health Organization. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331305/WHO-2019-NcOV-IPC_WASH-2020.1-eng.pdf (consulta, noviembre 2020).
- Williams MM and Braun-Howland EB. 2003. Growth of *Escherichia coli* in model distribution system biofilms exposed to hypochlorous acid or monochloramine. *Applied and Environmental Microbiology* 69(9): 5463-5471. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.9.5463-5471.2003>
- Zoffoli JP, Latorre BA, Daire N and Viertel S. 2005. Efectividad del dióxido de cloro, en función de la concentración, pH y tiempo de exposición en el control de *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum* y *Rhizopus stolonifer*. *Ciencia e Investigación Agraria* 32(3): 181-188. <https://dioxido.com.uy/Efectividad-del-Dioxido-de-Cloro.pdf>

Potential of citrus extract as disinfectant in SARS-CoV-2 prevention

Potencial de extracto de cítricos como desinfectante en la prevención de SARS-CoV-2

Nicole Schneegans-Vallejo, Vanessa López-Guerrero, Ollin Celeste Martínez-Ramírez, Margarita de Lorena Ramos-García*, Facultad de Nutrición, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Calle Iztaccihuatl S/N, Colonia Los Volcanes, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62350, México; †Dagoberto Guillén-Sánchez, Escuela de Estudios Superiores Xalostoc, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Av. Nicolás Bravo s/n, Parque Industrial Cuautla, Xalostoc, Morelos, C.P. 62717, México; Patricia Rivas-Valencia, Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Km. 13.5 Carretera Los Reyes-Texcoco. Coatlinchán, Estado de México, C.P. 56150
*Corresponding author: margarita.ramosg@uaem.edu.mx

Received: February 02, 2021.

Accepted: April 08, 2021.

Schneegans-Vallejo N, López-Guerrero V, Martínez-Ramírez OC, Ramos-García ML, Guillén-Sánchez D and Rivas-Valencia P. 2021. Potential of citrus extract as disinfectant in SARS-CoV-2 prevention. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 207-217.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-10>

Abstract. SARS-CoV-2 is the virus that causes the COVID-19 disease, responsible for the second pandemic of the 21st century. This virus has caused a health emergency due to its rapid transmission and high mortality rate. The use of disinfectants of chemical origin has increased considerably to avoid contamination by SARS-CoV-2 but when used incorrectly they can pose a health risk. Citrus-based extracts have shown effectiveness in controlling the development of fungi and bacteria in *in vitro* and *in situ* studies. In *in vitro* cell

Resumen. El SARS-CoV-2 es el virus causante de la enfermedad COVID-19, responsable de la segunda pandemia del siglo XXI. Este virus ha ocasionado una emergencia sanitaria debido a su rápida transmisión y alta tasa de mortalidad. Para prevenir contaminación por SARS-CoV-2, ha aumentado notablemente el uso de desinfectantes de origen químico, cuyo empleo incorrecto puede ocasionar riesgos para la salud. Los extractos a base de cítricos han mostrado efectividad para controlar el desarrollo de hongos y bacterias en estudios *in vitro* e *in situ*. En ensayos celulares *in vitro*, los extractos de cítricos han demostrado efectividad para controlar la replicación de virus causantes de enfermedades. El objetivo de esta revisión es describir la problemática de la COVID-19, sus mecanismos de transmisión, el uso de desinfectantes químicos, el uso de extractos de cítricos para controlar microorganismos y su uso sugerido como coadyuvante en

assays, citrus extracts are effective in controlling the replication of disease-causing viruses. The objective of this review is to describe the problem of COVID-19, its transmission mechanisms, the use of chemical disinfectants and citrus extracts to control microorganisms and its suggested use as a complement in COVID-19 prevention. The use of citrus extracts has certain advantages such as biodegradability and low health risks. Thus, they could be a viable alternative to be used as a complement in the management and prevention of the spread of SARS-CoV-2.

Key words: SARS-CoV-2, disinfectant, COVID-19

SARS-CoV-2 Prevention

SARS-CoV-2 is an emerging coronavirus that causes the COVID-19 disease, the clinical manifestation of which can include a wide spectrum of non-specific symptoms such as severe acute respiratory syndrome (SARS), which can be fatal. This virus is responsible for the second pandemic of the 21st century, which has caused millions of deaths throughout the world (Scholten *et al.*, 2020; Valero-Cedeño *et al.*, 2020). As a result of the health emergency caused by the pandemic, the use of chemical disinfectants has increased to avoid infection with SARS-CoV-2. However, their excessive and incorrect use can pose various health risks that can manifest in complications such as toxicological and allergic conditions (Neto *et al.*, 2020; Romero, 2013). Alternatives of natural origin, such as citrus extracts, have been evaluated as a means to prevent contamination by microorganisms (fungi and bacteria). Some studies have focused on the effectiveness of these extracts to control virus replication in human cells (Balesterieri *et al.*, 2011; Olvera and Quiroz, 2018). The present study

la prevención de la COVID-19. El uso de extracto de cítricos muestra ciertas ventajas, incluyendo su biodegradabilidad y bajo riesgo para la salud de los individuos, lo que permite considerarlo como una alternativa viable para ser utilizado como coadyuvante en el manejo y prevención del contagio del SARS-CoV-2.

Palabras clave: SARS-CoV-2, desinfectante, COVID-19

Prevención de SARS-CoV-2

El SARS-CoV-2 es un coronavirus emergente causante de la enfermedad COVID-19, la cual puede manifestarse clínicamente con un amplio espectro de síntomas, no específicos, incluyendo el síndrome respiratorio agudo severo (SARS, por sus siglas en inglés) que puede ser mortal. Este virus es el responsable de la segunda pandemia del siglo XXI, la cual ha ocasionado millones de muertes en todo el planeta (Scholten *et al.*, 2020; Valero-Cedeño *et al.*, 2020). Ante la emergencia sanitaria ocasionada por la pandemia y con el fin de evitar el contagio por SARS-CoV-2 se ha incrementado el uso de desinfectantes químicos; sin embargo, su uso excesivo e incorrecto puede poner en riesgo la salud, manifestándose en complicaciones como cuadros toxicológicos y alérgicos (Neto *et al.*, 2020; Romero, 2013). Se han evaluado alternativas de origen natural, como es el caso de los extractos de cítricos para prevenir la contaminación por microorganismos (hongos y bacterias) e incluso se han realizado evaluaciones de estos extractos en células humanas para controlar la replicación de virus (Balesterieri *et al.*, 2011; Olvera y Quiroz, 2018). En esta investigación se describe en general los mecanismos de transmisión de SARS-CoV-2, el uso de desinfectantes químicos, y empleo de extractos de cítricos

makes a general description of the transmission mechanisms of SARS-CoV-2, the effectiveness of chemical disinfectants and citrus extracts to inhibit microorganisms, and their potential as a complement in preventing COVID-19.

SARS-CoV-2 and transmission mechanisms

Coronaviruses (CoV) are a family of viruses that can infect both animals and humans, causing different complications, from a common cold to serious diseases such as SARS (Valero-Cedeño *et al.*, 2020; Pérez *et al.*, 2020). This virus family is classified into four genera (alpha, beta, gamma, and delta). The first two cause respiratory diseases in humans. Coronaviruses have a lipid membrane encircling the protein capsid, from which protein spicules (S protein) protrude. These spicules play an essential role in the infection of host cells. The genome of these viruses is a single-stranded RNA molecule of positive polarity that codes for several proteins that control the infected cell to produce a large quantity of new viral particles (H. García-Ruiz *et al.* In this Special Issue) (Huang *et al.*, 2020). COVID-19 is caused by a beta coronavirus of zoonotic origin (Scholten *et al.*, 2020), which means that humans are highly susceptible to infection with this virus due to their lack of immunological factors. This virus is currently responsible for a global health emergency due to its ability for rapid geographic spread through infected individuals, effective community transmission depending on the virus variant, high mortality and morbidity rates, and the lack of effective specific clinical treatments (Valero *et al.*, 2020; Plasencia-Urizarri *et al.*, 2020). At press time, the World Health Organization (WHO) recognizes five commercial vaccines against this virus that have been applied since December 2020 (Editor's Note).

In short distances ($\leq 1.5\text{m}$), coronavirus contagion occurs through small droplets of respiratory

para inhibir microorganismos y su potencial como un coadyuvante en la prevención de COVID-19.

SARS-CoV-2 y mecanismos de transmisión

Los coronavirus (CoV) son una familia de virus que pueden infectar tanto a animales como al hombre, causando desde un aparente resfriado común hasta enfermedades graves como el SARS (Valero-Cedeño *et al.*, 2020; Pérez *et al.*, 2020). Esta familia se clasifica en cuatro géneros (alfa, beta, gamma y deltacoronavirus). Los dos primeros causan enfermedades respiratorias en el humano. Son virus con membrana lipídica, con una cápside de proteína en donde resaltan las espículas formadas por la proteína S, la cual es indispensable para infectar a las células del huésped. Su genoma es de ARN de cadena sencilla de polaridad positiva, el cual codifica para varias proteínas que controlan a la célula infectada para que produzca una gran cantidad de nuevas partículas virales (H. García-Ruiz y colaboradores en este Número Especial) (Huang *et al.*, 2020). COVID-19 es causada por un beta coronavirus de origen zoonótico (Scholten *et al.*, 2020), por lo que la susceptibilidad de contraer este virus es alto debido a la ausencia de factores inmunológicos en la población humana. En la actualidad, este virus ha causado una emergencia sanitaria a nivel mundial debido a su rápida dispersión geográfica mediante individuos infectados, efectiva transmisión comunitaria dependiente de la variante del virus, alta tasa de letalidad y morbilidad, y la falta de tratamientos clínicos específicos efectivos (Valero *et al.*, 2020; Plasencia-Urizarri *et al.*, 2020). Al cierre de la edición, la Organización Mundial de Salud (OMS) reconoce cinco vacunas comerciales las cuales aplican desde diciembre 2020 (Nota del Editor).

El contagio viral es por medio de pequeñas gotículas de secreciones respiratorias (>5 micras) en distancias cortas ($\leq 1.5\text{m}$) que pueden introducirse

secretions (>5 microns) that can be inhaled into the respiratory tract. These droplets are produced when coughing, talking, and sneezing. Contagion can also occur through direct contact between a healthy person and a sick person, or through contaminated surfaces when viral particles in the hands enter into the oral, respiratory, or ocular mucosa (WHO, 2021). Given these transmission mechanisms, the use of personal protective equipment and constant disinfection of contact surfaces are recommended to prevent the spread of this virus (Molina and Abad-Corpa, 2020). Transmission can occur through asymptomatic people during the incubation phase, through symptomatic people and people in recovery. The maximum release of infectious particles occurs during the symptomatic phase. Dispersion through food or water has not been demonstrated (Vargas-Arispuro *et al.* In this Special Issue). However, poor handling of food and water after possible contamination from sick people could spread the virus to people who consume them (Trilla, 2020; Pérez *et al.*, 2020; Calvo *et al.*, 2020; Deossa *et al.*, 2020). SARS-CoV-2 particles have been shown to persist on copper (4 h), aluminum (2-8 h), stainless steel (48 h), latex and nitrile (<8 h), paper (more than 72 h), cardboard (24 h), wood (48 h), and for longer periods on iron (nine days), glass (nine days) or plastic (nine days) (Deossa *et al.*, 2020; Álvarez *et al.*, 2020; Kampf *et al.*, 2020). The continuous disinfection of surfaces and hands is part of the preventive management of COVID-19. Together with the use of protective equipment, the disinfection of surfaces is an efficient and economical alternative to deal with SARS-CoV-2 (Molina and Abad-Corpa, 2020).

Use of disinfectants in COVID-19 prevention

Disinfectants can eliminate microorganisms from surfaces and objects located in human habitats, while the use of sanitizer reduces the

directamente al tracto respiratorio. Estas gotículas son producidas al toser, hablar, estornudar. El contagio también se puede producir por contacto directo entre una persona sana y otra enferma, o a través de superficies contaminadas, las cuales cuando son tocadas con las manos, las partículas virales son introducidas en la mucosa oral, respiratoria u ocular de manera involuntaria (OMS, 2021). Debido a lo anterior, para evitar su propagación se emplea equipo de protección personal y desinfección de superficies de contacto de manera constante (Molina y Abad-Corpa, 2020). La transmisión puede ocurrir a través de personas asintomáticas, fase de incubación, sintomáticas o en recuperación. Sin embargo, en la fase sintomática ocurre la máxima liberación de partículas infecciosas. La dispersión a través de los alimentos o el agua no ha podido ser demostrada (Vargas-Arispuro y colaboradores en este Número Especial). No obstante, deficiente manipulación de los mismos después de una eventual contaminación a partir de personas enfermas podría ocasionar transmisión del virus a personas que los consumen (Trilla, 2020; Pérez *et al.*, 2020; Calvo *et al.*, 2020; Deossa *et al.*, 2020). Se ha demostrado que partículas de SARS-CoV-2 puede permanecer sobre superficies de cobre (4 h), aluminio (2-8 h), acero inoxidable (48 h), látex o nitrilo (<8 h), papel (más de 72 h), cartón (24 h), madera (48 h), y por periodos más largos en fierro (nueve días), vidrio (nueve días) o plástico (nueve días) (Deossa *et al.*, 2020; Álvarez *et al.*, 2020; Kampf *et al.*, 2020). La desinfección de superficies es parte del manejo preventivo de COVID-19, por lo que la utilización de equipo de autoprotección, así como la desinfección continua de superficies y manos es una alternativa eficiente y económica (Molina y Abad-Corpa, 2020).

Uso de desinfectantes en prevención COVID-19

Los desinfectantes tienen la capacidad de eliminar microorganismos de superficies y objetos

amount of the inoculum below a safe level. In the case of SARS-CoV-2, disinfection has been the strategy adopted due to the lack of information about the pathogenic processes of the virus (<https://www.who.int/>). A wide range of disinfectants has been used throughout the world to prevent contamination with SARS-CoV-2. The approval of each disinfectant depends on the requirements established by the local authority (WHO, 2020). The following chemical disinfectants are used intensively for COVID-19 prevention: sodium hypochlorite 0.1%, ethanol > 71%, ethyl alcohol > 70%, hydrogen peroxide 0.5%, benzalkonium chloride 0.05-0.2%, and chlorhexidine digluconate at 0.002% in liquid or gel presentations (Molina, 2020; Neto *et al.*, 2020). However, the excessive or inappropriate use of these products has led to health problems. The US Center for Disease Control and Prevention reports a 20% increase in poisonings related to exposure to cleaning products and disinfectants compared to previous years. This has been attributed mainly to sustained and frequent exposure to chemical products and to the simultaneous use of more than one compound that when in contact, can release gases or highly toxic or allergenic compounds (Neto *et al.*, 2020). Given the health risks posed by chemical products, alternatives of natural origin, safe for consumers and environmentally innocuous, have been developed. These natural alternatives also have a high capacity to inhibit or stop the growth of microorganisms. Citrus extracts are a commonly used natural disinfection alternative against various microorganisms due to their accessibility to the general population (Romero, 2013).

Citrus fruit extracts as disinfectants

Citrus fruits are rich in vitamin C, anthocyanins, and flavonones. The most abundant compounds in citrus fruits are hesperidin, naringin, limonene,

localizados en el entorno humano y que representan un riesgo para su salud, mientras que un sanitizante reduce el inóculo por debajo de un nivel seguro. En caso de SARS-CoV-2, la desinfección ha sido la estrategia adoptada ante el desconocimiento de los procesos patogénicos del virus (<https://www.who.int/>). A nivel global existe una amplia gama de desinfectantes utilizados para evitar la contaminación por SARS-CoV-2, sin embargo, la aprobación de cada uno de ellos depende de los requisitos establecidos por la autoridad local (OMS, 2020). Para la prevención COVID-19 se emplea intensamente desinfectantes químicos: hipoclorito de sodio al 0.1%, el etanol >71%, alcohol etílico >70%, peróxido de hidrógeno al 0.5%, cloruro de benzalconio al 0.05-0.2% y el digluconato de clorhexidina al 0.002% en presentaciones líquidas o gel (Molina, 2020; Neto *et al.*, 2020). El uso excesivo o inapropiado de estos productos ha significado problemas de salud. El Centro para el Control y Prevención de Enfermedades de EUA reporta un incremento del 20% en intoxicaciones relacionadas a la exposición de productos de limpieza y desinfectantes en comparación con años previos. Esto se ha atribuido principalmente a la sostenida y frecuente exposición a productos químicos y al uso simultáneo de más de un compuesto que al entrar en contacto pueden reaccionar liberando gases o compuestos altamente tóxicos o alergénicos (Neto *et al.*, 2020). Ante estos escenarios de riesgo para la salud se han desarrollado alternativas de origen natural, seguras para el consumidor y ambientalmente inocuas con alta capacidad de inhibir o eliminar el crecimiento de microorganismos. Entre varias opciones naturales, los extractos de cítricos se han empleado ampliamente para diversos organismos por su accesibilidad para la población (Romero, 2013).

Extractos de frutos cítricos como desinfectantes

Los frutos cítricos son ricos en vitamina C, antocianinas y flavononas. Entre los componentes

and pectin. These compounds have been shown to have antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, and antiviral activity. Citrus extracts are Generally Recognized as Safe (GRAS) compounds by the Food and Drug Administration (FDA) (Olvera and Quiroz, 2018; Yousaf *et al.*, 2018; Narváez *et al.*, 2017). The antimicrobial effectiveness of citrus extracts has been demonstrated in several studies (Table 1). De la Cruz *et al.* (2012) carried out a comparative study between the activity of chlorhexidine, a disinfectant for commercial use, and three disinfectants based on citrus and ethanol. The authors reported that the germicidal activity of the citrus extracts was effective, inhibiting 100% of the Colony Forming Units (CFU) of bacteria such as *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Acinetobacter baumannii*. Similarly, Rodríguez (2014) reported the antimicrobial efficacy of a grapefruit seed extract on edible plant surfaces, where it reduced the microbial load (100-1400 CFU cm² of mesophilic aerobes), while in the control

más abundantes se encuentra la hesperidina, naranjina, limoneno y pectina. Estos compuestos han mostrado tener actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana y antiviral. Los extractos elaborados a partir de estas especies son reconocidos como compuestos *Generalmente Reconocidos como Seguros* (GRAS, siglas en inglés) por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, siglas en inglés) (Olvera y Quiroz, 2018; Yousaf *et al.*, 2018; Narváez *et al.*, 2017). La efectividad antimicrobiana de los extractos de cítricos se ha demostrado en varias investigaciones (Cuadro 1). De la Cruz y colaboradores (2012), realizaron un estudio comparativo entre la actividad de la clorhexidina, un desinfectante de uso comercial, y tres desinfectantes a base de cítricos y etanol. Los investigadores reportaron que la actividad germicida de los extractos fue eficaz, debido a que inhibió el 100 % de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de bacterias como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii*. Similarmente,

Table 1. Antibacterial and antifungal activity of fruit extracts from six citrus species.
Cuadro 1. Actividad antibacteriana y antifúngica de extractos de frutos de seis especies de cítricos.

| Fruto ^x | Microorganismo | Actividad | Referencia |
|--------------------|---|----------------|------------------------------|
| Limón | <i>Staphylococcus aureus</i> | Antibacteriano | Human, 2019 |
| Toronja | <i>Bacillus cereus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella species</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>L. sakei</i> , <i>Pediococcus pentosaceus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Salmonella enteritidis</i> , <i>S. typhimurium</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Weissella paramesenteroides</i> . | Antibacteriano | Olvera y Quiroz, 2018 |
| | <i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus kawachii</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>Pichia kudriazevii</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> . | Antifúngico | Olvera y Quiroz, 2018 |
| Naranja dulce | <i>Rhizopus stolonifer</i> | Antifúngico | Narváez <i>et al.</i> , 2017 |
| Tangerina | <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> | | |
| Naranja agria | <i>Listeria monocytogenes</i> | Antibacteriano | García, 2012 |
| Lima dulce | | | |
| Mandarina | <i>Passarola fulva</i> | Antifúngico | Ramírez, 2013 |
| Limón | | | |

^xLimón *Citrus aurantium*, toronja *C. paradisi*, naranja *C. sinensis*, tangerina/mandarina *C. reticulata*, naranjo agrio *C. aurantifolia*, lima dulce *C. limetta*. / ^xLimón *Citrus aurantium*, toronja *C. paradisi*, naranja *C. sinensis*, tangerina/mandarina *C. reticulata*, naranjo agrio *C. aurantifolia*, lima dulce *C. limetta*.

there were countless strains. The antimicrobial activity of a disinfectant made from seeds and orange peel was evaluated against *E. coli* and *S. aureus* at two different contact times (5 and 10 min). The author reported a decrease in bacterial CFU after 10 minutes of exposure (Flores, 2017).

There are few studies on the antiviral effect of citrus extracts used as a disinfectant on objects and surfaces; however, their effectiveness against viruses has been shown in *in vitro* cell studies. There are reports of the antiviral activity of citrus extracts against hepatitis, HIV, and respiratory viruses (RSV), as well as against viruses of the coronavirus family, including the SARS-CoV-2 virus (Table 2). Balestrieri *et al.* (2011) reported that the mechanism of action of citrus seed extracts includes the inactivation of viral particles. Recent studies have shown that grapefruit and orange extracts can inhibit 3CLpro, a SARS 2003 virus protease required for viral replication in *in vitro* cell assays (Bellavite and Donzelli, 2021). Similarly, extracts of sweet orange act against the replication of the murine coronavirus MHV-A59 (mouse hepatitis virus-A59), affecting the regulation of TRP genes, which are involved in the cellular antiviral response (Ulasli *et al.*, 2014).

Rodríguez (2014), reportó eficacia antimicrobiana del extracto de semilla de toronja en superficies de alimentos vegetales disminuyendo la carga microbiana (100-1400 UFC cm² de aerobios mesófilos), mientras que en el testigo las cepas fueron incontables. La actividad antimicrobiana de un desinfectante elaborado a base de semillas y cascara de naranja fue evaluada contra *E. coli* y *S. aureus*, durante dos tiempos de contacto (5 y 10 min). El autor reporta disminución UFC bacteriana con 10 minutos de exposición (Flores, 2017).

Estudios sobre el efecto antiviral de extractos de cítricos como desinfectante en objetos y superficies son limitados; sin embargo, la efectividad contra virus se ha mostrado en estudios celulares *in vitro*. Se ha reportado la actividad antiviral de extracto de cítricos en hepatitis, VIH y virus respiratorios (VSR), así como en virus de la familia coronavirus incluyendo al virus SARS-CoV-2 (Cuadro 2). Balestrieri y colaboradores (2011) reportaron que el mecanismo de acción de extractos de semilla de cítricos incluye la inactivación de partículas virales. Recientes estudios muestran que extractos de toronja y naranja pueden inhibir la 3CLpro, una proteasa del virus del SARS 2003 necesaria para la replicación viral en ensayos celulares *in vitro*

Table 2. Antiviral activity of the extracts of fruits of five species of citrus.
Cuadro 2. Actividad antiviral del extracto de frutos de cinco especies de cítricos.

| Fruto ^x | Virus | Actividad | Referencia |
|--------------------|--|-----------|----------------------------------|
| Tangerina | <i>Virus respiratorio sincital (VSR)</i> | Antiviral | Jiao <i>et al.</i> , 2013 |
| Bergamota | <i>HTLV-1</i>
<i>VIH-1</i> | Antiviral | Balestrieri <i>et al.</i> , 2011 |
| Limón | <i>Hepatitis C</i> | Antiviral | Yousaf <i>et al.</i> , 2018 |
| Toronja | <i>Coronavirus</i> | Antiviral | Go <i>et al.</i> , 2020 |
| Naranja | <i>MHV-A59</i> | Antiviral | Ulasli <i>et al.</i> , 2014 |
| Naranja | <i>SARS-CoV-2</i> | Antiviral | Bellavite y Donzelli, 2020 |
| Naranja | <i>SARS-CoV-2</i> | Antiviral | Utomo <i>et al.</i> , 2020 |

^xTangerina *Citrus reticulata*; Bergamota *C. bergamia*; Limón *Citrus aurantium*; Toronja *C. paradisi*; Naranja *C. sinensis*. / ^xTangerina *Citrus reticulata*, Bergamota *C. bergamia*, Limón *Citrus aurantium*, toronja *C. paradisi*, naranja *C. sinensis*.

Citrus extracts as disinfectants in COVID-19 prevention

In response to the pandemic caused by the SARS-CoV-2 virus, governments around the world have promoted the disinfection of poorly ventilated or prolonged contact areas, such as transport units, using thermal foggers, which produce very fine droplets with a diameter between 1 and 50 µm, forming a uniformly distributed mist. Given the risks posed by chemical sanitizers and disinfectants, preference should be given to alternatives that are harmless to the environment and safe for humans. There is a high risk of contagion in public transport systems due to reduced spaces and poor ventilation. Surveys carried out by INEGI (2021) report that the subway system of Mexico City had an influx of more than 820 million passengers in 2020, without considering users of other public transport systems. These conditions are propitious for the spread of contagions. Thus, to reduce the risk of contagion by SARS-CoV-2 it is necessary to keep public transport and similar work and social spaces disinfected and sanitized.

There are currently several commercial biodegradable products based on citrus extracts such as Biocitrox, Biocitric, and Citrocover, among others, that inhibit the development of fungi, bacteria, and viruses. In the face of the health emergency caused by SARS-CoV-2, these products can be an alternative to prevent contagious processes in community settings. In the states of Chihuahua and Jalisco, disinfection measures are carried out with Citrocover, applied using thermal foggers in public transport units in order to prevent contagion and curb the increase in positive cases of SARS-CoV-2 (Personal Communication, 2021. G.I. Sánchez Pacheco. 5VID Company. Cuauhtémoc, Chihuahua; Chihuahua Informa, 2020). Since COVID-19 could become a recurrent

(Bellavite y Donzelli 2021). Similarmente, extractos de naranja dulce actúa sobre la replicación del coronavirus murino MHV-A59 (mouse hepatitis virus-A59) afectando la regulación de los genes TRP, involucrados con la respuesta antiviral celular (Ulasli *et al.*, 2014).

Extracto de cítricos como desinfectante en prevención COVID-19

Ante la pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2, los gobiernos han promovido sanitizar áreas poco ventiladas o de contacto prolongado, como unidades de transporte, utilizando termonebulizadoras, las cuales garantizan la producción de gotas finas de un diámetro entre 1 y 50 µm, formando una neblina de distribución uniforme. Ante el riesgo que pueden ocasionar los sanitizantes y desinfectantes químicos, se deben buscar alternativas que sean inocuas al ambiente y seguras a los humanos. El transporte público presenta alto riesgo de contagio debido al espacio reducido y poca ventilación. Encuestas realizadas por INEGI (2021) reportan una afluencia de más de 820 millones de pasajeros en el año 2020, únicamente en el sistema colectivo metro de la Ciudad de México, sin considerar pasajeros de otras unidades públicas de transporte, lo que representa un alto riesgo de contagio. Es importante mantener estos espacios y otros de tipo laboral y social desinfectados y sanitizados, para disminuir riesgos de contagio por SARS-CoV-2.

En la actualidad existen productos comerciales biodegradables a base de extractos de cítricos tales como, Biocitrox, Biocítrico y Citrocover, entre otros, los cuales inhiben el desarrollo de hongos, bacterias y virus. Ante la emergencia sanitaria ocasionada por SARS-CoV-2 estos productos pueden ser una alternativa para prevenir procesos de contagio en entornos comunitarios. En los estados de

disease, a sustainable preventive strategy could allow the reactivation of socio-economic and cultural activities under safe conditions. Science has had to work quickly and effectively to find alternatives against COVID-19. However, it is necessary to encourage research on natural, safe, economical, and biodegradable alternatives that complement other strategies for the prevention and mitigation of the disease.

CONCLUSIONS

Citrus extracts are effective in controlling the growth of fungi and bacteria. So far, the use of extracts as disinfectants in public settings has not been widely studied. However, *in vitro* cell research indicates that citrus extracts are effective in inhibiting the replication of various viruses, including SARS-CoV-2. This suggests the potential of citrus extracts for the prevention and mitigation of COVID-19. Needless to say, this alternative must be based on scientific evidence to guarantee the efficient management and prevention of COVID-19.

LITERATURE CITED

- Álvarez D, Bojo C, Coiras M, Díez F, García-Carpintero E, Pérez-Gómez E, Plaza J, Primo E, Rodríguez F y Sánchez L. 2020. Informes científicos COVID-19. Instituto de Salud Carlos III, Ministerio de Ciencia e innovación. Madrid, España. <http://gesdoc.isciii.es/gesdoccontroller?action=download&id=15/01/2021-874dbb1ecc>
- Balestrieri E, Pizzimenti F, Ferlazzo A, Giofre S, Iannazzo D, Piperno A, Romeo R, Assunta M, Mastino A y Macchi B. 2011. Actividad antiviral del extracto de semilla de *Citrus beramia* hacia retrovirus humanos. *Bioorganic & Medical Chemistry* 19(6): 2084-2089. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2011.01.024>
- Bellavite P and Donzelli A. 2021. Hesperidin and SARS-CoV-2: New light on the healthy function of citrus fruits. *Antioxidants* 9: 742. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7465267/>
- Calvo C, García M, de Carlos C y Vázquez J. 2020. Recomendaciones sobre el manejo clínico de la infección por el <<nuevo coronavirus>> SARS-CoV2. Grupo de

Chihuahua y Jalisco se realizan acciones de desinfección con Citrocover aplicado con termonebulizadoras en unidades de transporte público con el fin de prevenir el contagio y reducir el aumento de casos positivos a SARS-CoV-2 (Comunicación Personal. 2021. G.I. Sánchez Pacheco. Empresa 5VID. Cuauhtémoc, Chih.; Chihuahua Informa, 2020). COVID-19 podría constituirse en una enfermedad recurrente por lo que la prevención como estrategia sostenible debe ser la opción para permitir la reactivación de las actividades socio-económicas y culturales de una manera segura. La ciencia ha tenido que trabajar de manera rápida y eficaz para buscar alternativas contra COVID-19. Sin embargo, es necesario incentivar la investigación sobre alternativas naturales, seguras, económicas y biodegradables que coadyuven a fortalecer estrategias de prevención y mitigación de la enfermedad.

CONCLUSIONES

Los extractos de cítricos son eficaces para controlar el desarrollo hongos y bacterias. Hasta el momento, el uso de extractos como desinfectante en entornos públicos no ha sido ampliamente investigado. Sin embargo, investigaciones con células *in vitro* indican su efectividad para inhibir la replicación de varios virus incluyendo el SARS-CoV-2. Esto sugiere el potencial de extractos cítricos para la prevención y mitigación de COVID-19. Esta alternativa debe basarse en evidencia científica que garantice eficacia en el manejo y prevención COVID-19.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- trabajo de la Asociación Española de Pediatría (AEP). Anales de Pediatría 92(4): 241.e1-241.e11. <https://www.analesdepediatria.org/es-pdf-S169540332030076X>
- Chihuahua Informa. 2020. <https://www.facebook.com/102628081494604/posts/156068299483915/?vh=e&d=w> Consultado el 07 de Enero 2020.
- De la Cruz R, Villa M, Calderón E y Sánchez M. 2012. Comparación de la actividad germicida y acción residual de la clorhexidina, desinfectantes a base de cítricos y etanol. Enfermedades Infecciosas y Microbiología 33(1): 6-12. <https://www.medigraphic.com/pdfs/micro/ei-2013/ei131b.pdf>
- Deossa G, Orozco D, Urrego Y, Andrade L y Segura M. 2020. Alimentación y nutrición durante la pandemia del COVID-19. Escuela de nutrición y dietética 1:1-8. [https://www.researchgate.net/publication/344221675\\_Alimentacion\\_y\\_nutricion\\_durante\\_la\\_pandemia\\_del\\_COVID-19](https://www.researchgate.net/publication/344221675_Alimentacion_y_nutricion_durante_la_pandemia_del_COVID-19)
- Flores C. 2017. Eficacia de un desinfectante biodegradable a base de residuos de naranja y quinua en el control del crecimiento de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*: tesis de grado. Universidad Nacional del Centro de Perú. Huancayo, Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1213>
- García P. 2012. Estudio de la actividad antimicrobiana de extractos de naranja agria (*Citrus aurantium*) y lima dulce (*Citrus limetta risso*) sobre *Listeria monocytogenes* ATCC19114. XV Congreso Internacional Inocuidad de Alimentos Universidad de Guadalajara. 31 de Octubre al 01 de Noviembre. Guadalajara, Jalisco. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/273/1/Poster%20Estudio%20de%20la%20actividad%20antimicrobiana%20de%20extractos%20de%20naranja%20agria%20y%20lima%20dulce%20sobre%20Listeria%20monocyt.pdf>
- Go C, Pandav K, Sanchez M y Ferrer G. 2020. Papel potencial de la solución de aerosol nasal del extracto de semilla de pomelo Xylitol Plus en COVID-19: Serie de casos. Cureus 12(11): e11315. <https://doi.org/10.7759/cureus.11315>
- Huaman N. 2019. Efecto antibacteriano in vitro del extracto hidroalcohólico de las semillas de *Citrus limón* (L.) Osbeck (limón) en cepas *Staphylococcus aureus*. Tesis de grado. Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Lima, Perú. [http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/4988/CARATULA\\_HUAM%20c3%81N%20ALIAGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/4988/CARATULA_HUAM%20c3%81N%20ALIAGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Huang Y, Yang C, Xu X, Xu W and Liu S. 2020. Structural and functional properties of SARS-CoV-2 spike protein: potential antiviral drug development for COVID-19. Acta Pharmacologica Sinica 41: 1141-1149. <https://doi.org/10.1038/s41401-020-0485-4>
- Jiao-Jiao X, Xia W, Man-Mei L, Guo-Qiang L, Yi-Ting Y, Hu-Jie L, Wei-Huang H, Hau C, Wen-Cai Y, Guo-Cai W and Yao-Lan L. 2013. Antiviral activity of polymethoxylated flavones from “Guangchenpi”, the edible and medicinal pericarps of *Citrus reticulata* “Chachi”. Journal of Agricultural and Food Chemistry 63: 2182-2189. <https://doi.org/10.1021/jf404310y>
- Kampf G, Todt D, Pfaender S and Steinmann E. 2020. Corrigendum to “Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents”. The Journal of Hospital Infection 105: P587. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.06.001>
- Molina J y Abad-Corpa A. 2020. Desinfectantes y antisépticos frente al coronavirus: Síntesis de evidencias y recomendaciones. Enfermería Clínica 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2020.05.013>
- Narváez F, Barzola S, Fon-Fay F, Martínez M, Neira J y Sanchez S. 2017. Potencial antifúngico de *Citrus sinensis* y *Citrus nobilis* sobre el crecimiento de *Rhizopus stolonifer* y *Colletotrichum gloeosporioides* en papaya. Ciencia y Tecnología 10: 41-46. [https://www.researchgate.net/publication/318503161\\_Potencial\\_antifungico\\_de\\_Citrus\\_sinensis\\_y\\_Citrus\\_nobilis\\_sobre\\_el\\_crecimiento\\_de\\_Rhizopus\\_stolonifer\\_y\\_Colletotrichum\\_gloeosporioides\\_en\\_papaya](https://www.researchgate.net/publication/318503161_Potencial_antifungico_de_Citrus_sinensis_y_Citrus_nobilis_sobre_el_crecimiento_de_Rhizopus_stolonifer_y_Colletotrichum_gloeosporioides_en_papaya)
- Neto P, Guirola F, Mastrapa O, Cisneros N, Peláez R y Jomarrón M. 2020. El uso de desinfectantes durante la COVID-19 y su impacto en la salud. Retel Revista de Toxicología 1: 24-40. <https://www.sertox.com.ar/wp-content/uploads/2020/09/62002.pdf>
- Olvera B y Quiroz C. 2018. Elaboración de un producto derivado de los desechos de toronja (*Citrus paradisi*) con capacidad antimicrobiana: Tesis de grado. Universidad de Guayaquil, facultad de ciencias químicas. Guayaquil, Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/34634/1/BCIEQ-T-0330%20Olvera%20Baja%20c3%b1a%20Andrea%20Nicole%3b%20Quiroz%20Cabrera%20Joselyn%20Andrea.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2020. Limpieza y desinfección de las superficies del entorno inmediato en el marco de la COVID-19. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332168/WHO-2019-nCoV-Disinfection-2020.1-spa.pdf> Consultado el 12 de enero 2021.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2021. Preguntas y respuestas sobre la transmisión de la COVID-19. <https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted> Consultado el 09 de febrero 2021.
- Pérez M, Gómez J y Dieguez R. 2020. Características clínico-epidemiológicas de la COVID-19. Revista Habanera de Ciencias Médicas 19 (2):e\_3254. <http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v19n2/1729-519X-rhcm-19-02-e3254.pdf>
- Plasencia-Urizarri T, Aguilera-Rodríguez R y Almaguer-Mederos L. 2020. Comorbilidades y gravedad clínica de la COVID-19: revisión sistemática y meta-análisis. Revista Habanera de Ciencias Médicas 19: e3389. <http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v19s1/1729-519X-rhcm-19-s1-e3389.pdf>
- Ramírez P. 2013. Actividad antifúngica *in vivo* de extractos de *Citrus reticulata* Blanco y *Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle frente a *Passarola fulva* (Cooke) U. Braun & Crous: Tesis de grado. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Santa Clara Cuba. <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1817/A0019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez J. 2014. Proceso de obtención de extracto a partir de la semilla de toronja (*Citrus Paradisi*), y su aplicación en

- desinfección de vegetales o frutas y superficies planas: tesis de grado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7195/1/MACIAS.pdf>
- Romero N. 2013. Evaluación del efecto de desinfectantes y desengrasantes naturales en equipos de pasteurización de una planta de lácteos. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. <https://1library.co/document/z3dj26my-valoracion-efecto-desinfectantes-desengrasantes-naturales-equipos-pasteurizacion-lacteos.html>
- Scholten H, Quezada-Scholz V, Salas G, Barria-Asenjo N, Rojas-Jara, C., Molina R, García J, Jorquera M, Marinero A, Zambrano A, Gomez E, Cheroni A, Caycho-Rodriguez T, Reyes-Gallardo T, Pinochet N, Binde P, Uribe J, Bernal J y Somarriva F. 2020. Abordaje Psicológico del COVID-19: Una revisión narrativa de la experiencia latinoamericana. *Revista Interamericana de Psicología* 54(1): 1-24. <https://doi.org/10.30849/ripij.v54i1.1287>
- Trilla A. 2020. Un mundo, una salud: la epidemia por el nuevo coronavirus COVID-19. *Medicina Clínica* 154(5): 175-177. <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-pdf-S002577532030141X>
- Ulasli M, Gurses S, Bayraktar R, Yumrutas O, Oztuzcu S, Igci M, Ziya, M Cakmak E and Arslan A. 2014. The effects of *Nigella sativa* (Ns), *Anthemis hyaline* (Ah), and *Citrus sinensis* (Cs) extracts on the replication of coronavirus and the expression of TRP genes family. *Molecular Biology Reports* 41: 1703-1711. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24413991/>
- Utomo R, Ikawati M and Meiyanto E. 2020. Revealing the potency of *Citrus* and galangal constituents to halt SARS-CoV-2 Infection. *Preprints* 1: 2020030214. <https://www.preprints.org/manuscript/202003.0214/v1>
- Valero-Cedeño N, Mina-Ortiz J, Veliz-Castro T, Merchán-Villafuerte K y Perozo-Mena A. 2020. COVID-19: La nueva pandemia con muchas lecciones y nuevos retos. *Revisión Narrativa. Kasmera* 48(1): 1-10. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=373064123017>
- Yousaf T, Rafique S, Wahid F, Rehman S, Nazir A, Rafique J, Aslam K, Shabir G and Massod S. 2018. Phytochemical profiling and antiviral activity of *Ajuga bracteosa*, *Ajuga parviflora*, *Berberis lycium* and *Citrus lemon* against Hepatitis C virus. *Microbial Pathogenesis* 118: 154-158. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.03.030>

# SECTION 2

COVID-19 AND AGROFOOD  
SECURITY

\*

COVID-19 Y SEGURIDAD  
AGROALIMENTARIA



# Economy of the mexican agriculture sector in times of COVID-19

## Economía del sector agrícola mexicano en tiempos COVID-19

**Patricia Rivas-Valencia\***, Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Km 13.5 Carretera México-Texcoco, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, CP. 56230, México; **Leonardo Ángel Rosales-Rivas**, Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Avenida San Rafael Atlixco No. 186, Colonia Vicentina, Alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México, CP. 09340, México; **Graciela Dolores Ávila-Quezada**, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Calle Escorza 900, Chihuahua, Chihuahua CP. 31000, México; **Talina Olivia Martínez-Martínez**, Programa de Biotecnología, Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Km 6.5. Celaya, Guanajuato, CP. 38110, México. \*Corresponding author: rivas.patricia@inifap.gob.mx

Received: March 01, 2021.

Accepted: April 25, 2021.

Rivas-Valencia P, Rosales-Rivas LA, Ávila-Quezada GD and Martínez-Martínez TO. 2021. Economy of the mexican agriculture sector in times of COVID-19. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 218-232.  
DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-21>

**Abstract.** COVID-19, a pandemic disease caused by SARS-CoV-2, changed the production schemes and supply chains in all spheres of the world's economy. The agricultural sector in Mexico was no exception, although it has been so essential during the pandemic that its growth was higher than the other sectors of the Mexican economy and it stood out as a food supplier in the world in 2020. Farmers' vocations and the integration of productive food chains led to a surplus of 1.2 billion dollars, with an annual increase of 39.92%. The pandemic is a challenge and an opportunity for the Mexican countryside in terms of digital and technological

**Resumen.** COVID-19, enfermedad pandémica causada por SARS-CoV-2, cambió los esquemas de producción y cadenas de suministro en todos los ámbitos de la economía mundial. El sector agrícola en México no fue la excepción. Sin embargo, su esencialidad ante la pandemia representó un crecimiento positivo por encima de los otros sectores de la economía mexicana, destacándose como un gran proveedor de alimentos al mundo en 2020. La vocación de productores y la integración de cadenas productivas permitió un superávit de 12 347 millones de dólares con un incremento anual del 39.92%. La pandemia representa un reto y oportunidad para el agro mexicano en materia de innovación digital y tecnológica derivadas de investigación de frontera. Sin embargo, es necesario establecer políticas públicas y de planeación agrícola que permitan optimizar esta área de oportunidad enfocándose en nuevos modelos productivos y de comercio nacional e internacional, respondiendo de manera eficaz

innovation derived from border investigation. However, it is crucial to establish public agricultural planning policies to help optimize this area of opportunity by focusing on new production and national and international trade models, responding efficiently to national visions to benefit producers-consumers and guaranteeing food security in the framework of the UN's international policies for sustainable development, the IPCC's reduction of climate impact and ensuring human health by the WHO.

**Key words:** GDP, SARS-CoV-2, economic index, economic activity.

### COVID-19 and the mexican economy in 2020

Historic epidemics have taken place in Mexico with repercussions on the population and the economy of the country. Highlights include smallpox in 1520, a key event in the conquest of Mexico (Guevara-Flores, 2020), salmonella and typhus in 1545 and 1576, cholera in 1832, and the Spanish flu in 1918-19 (Malvido and Viesca, 1985). Recently, HIV has had its impact from 1985 to date, and Influenza A (H1N1) in 2009, the first pandemic of the 21<sup>st</sup> Century to be declared a public health emergency of international interest by the World Health Organization (WHO) (Córdova-Villalobos *et al.*, 2019). The influenza virus caused 67 thousand positive cases and 265 deaths in Mexico (SSA, 2011) with losses calculated in 40 billion pesos and a decline of 5.1% of the Gross Domestic Product (GDP). On the other hand, SARS-CoV-2, which caused the current COVID-19 world health crisis, reduced it by 8.5% in 2020 and to an estimated 4% for 2021 (INEGI, 2021). In the purchase of vaccines alone, Mexico had spent 1.7 billion pesos until May of 2021 ([a visiones nacionales de beneficio a productores-consumidores y garantizando la seguridad alimentaria en el marco de políticas internacionales de desarrollo sostenible de la ONU, reducción del impacto climático de la IPCC y la procuración de la salud humana de la OMS.](https://expansion.</a></p></div><div data-bbox=)

**Palabras clave:** PIB, SARS-CoV-2, índice económico, actividad económica.

### COVID-19 y la economía mexicana en 2020

En territorio mexicano han ocurrido históricas epidemias que ha repercutido en la población y economía. Destacan la viruela en 1520, evento clave en la conquista de México (Guevara-Flores, 2020), salmonella y tifo en 1545 y 1576, cólera en 1832, y la gripe española en 1918-19 (Malvido y Viesca, 1985). Recientemente, han incidido el VIH de 1985 a la fecha, y la Influenza A (H1N1) en 2009, primera pandemia del siglo XXI declarada emergencia de salud pública de interés internacional por la Organización Mundial de Salud (OMS) (Córdova-Villalobos *et al.*, 2019). El virus de la influenza causó 67 mil casos positivos y 265 fallecimientos en México (SSa, 2011) con pérdidas calculadas en 40 mil millones de pesos y una caída del 5.1% del Producto Interno Bruto (PIB). En contraste, SARS-CoV-2, causante de COVID-19, actual crisis sanitaria mundial lo redujo en 8.5% en 2020 y a 4% estimado para 2021 (INEGI, 2021). Tan solo en compra en vacunas, México había gastado 17 mil millones de pesos hasta mayo 2021 (<https://expansion.mx/economia/2021/05/03/mexico-ha-pagado-17-000-m-en-la-compra-de-vacunas-anti-covid>). La pobreza aumentó de 48.8 a 56.7%, uno de cada 4 mexicanos ahora padece pobreza extrema por ingreso y 24 entidades federativas exhibieron un incremento en la pobreza laboral, donde la mayor

mx/economia/2021/05/03/mexico-ha-pagado-17-000-m-en-la-compra-de-vacunas-anti-covid). Poverty rose from 48.8 to 56.7%, one of every 4 Mexicans now lives in extreme poverty due to low incomes and 24 federative entities presented an increase in labor poverty, with the highest impact observed in urban areas (CONEVAL, 2021). This document reviews the economic behavior of the agricultural sector in Mexico in a worldwide context in the first COVID-19 epidemic phase, between January of 2020, and March of 2021. The intention is to document the impact of COVID-19 on this sector and to offer an analysis that may contribute to the identification of opportunities. In addition, Mexico's effort to align to Goal 8 of the 2030 Agenda 2030 for Sustainable Development of the UN: *'Decent work and economic growth'*, is emphasized, along with the invaluable contribution of the work by agricultural producers and farmers to achieve Goal 2: *'Zero hunger'* (ONU, 2021).

### **Worldwide GDP and agricultural production in 2020**

In 2020, once the first COVID-19 pandemic wave had taken place along with lockdown and the resulting reduction of non-essential activities, including the complete shutdown of activities in some countries, the demand for agricultural products increased worldwide. In addition, awareness grew in regard to human health and diets based on fresh products to strengthen the immune system and to contribute towards balanced diets. Diets high in saturated fats, sugars and refined carbohydrates not only favor the prevalence of chronic diseases such as obesity and diabetes, but also activate the innate immune system and deteriorate the adaptive immunity, leading to chronic inflammation and an inefficient defense against viruses and other agents (Butler and Barrientos, 2020). Although

afectación se reflejó en el entorno urbano (CONEVAL, 2021). En este documento se revisa el comportamiento económico del sector agrícola de México en un contexto mundial durante la primera fase epidémica COVID-19 comprendida de enero 2020 a marzo 2021. La intención es documentar el impacto COVID-19 en este sector y ofrecer un análisis que pueda contribuir a identificar oportunidades. Además, se enfatiza el esfuerzo de México para alinearse al Objetivo 8 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la ONU: *'Trabajo decente y crecimiento económico'*, así como la contribución invaluable del trabajo de los productores y campesinos agrícolas para lograr el Objetivo 2: *'Hambre cero'* (ONU, 2021).

### **PIB mundial y producción agrícola en 2020**

En 2020, una vez establecida la primera ola pandémica COVID-19, el confinamiento y la consecuente reducción de actividades no esenciales y en algunos países el cese total de actividades, incrementó la demanda de productos agrícolas a nivel mundial. Además, se generó mayor conciencia por la salud y consumo de productos frescos para fortalecer el sistema inmunológico y coadyuvar a dietas balanceadas. Dietas altas en grasas saturadas, azúcares y carbohidratos refinados, además de favorecer la prevalencia de enfermedades crónicas como la obesidad y la diabetes, activan el sistema inmunológico innato y deterioran la inmunidad adaptativa, provocando inflamación crónica y una ineficiente defensa contra virus y otros agentes (Butler y Barrientos, 2020). Aunque el riesgo de contagio de productores y trabajadores agrícolas amenazó todos los procesos productivos y contrajo los mercados locales, principalmente centrales de abasto urbanos, la agricultura en general no sufrió los estragos económicos que el resto de la economía. En México, la agricultura fue declarada actividad

the risk of infection of farmers and agricultural workers threatened all productive processes and shrunk local markets, particularly urban wholesale food markets, agriculture in general did not suffer as much as the rest of the economy. In Mexico, agriculture was declared an essential economy, promoting the continuity of agricultural operations. However, later data show that the lethality of SARS-CoV-2 was higher in rural areas (12.4%) than in urban areas (8.4%) (Rodríguez, 2021), due largely to restrictions to primary and secondary health services.

In April of 2020, a fall in GDP was predicted, greater than any observed in decades (CEPAL, 2020). The International Monetary Fund (IMF) estimated a contraction of 3.5% for Latin America, 7.4% in the Caribbean and 8.5% in Mexico. This impact was even higher in developed economies such as the United Kingdom with 10% and Spain, 11.1%. During the entire pandemic, the Chinese economy stood out, since it maintained growth, albeit with a lower GDP than expected (2.3%) (Table 1) (IMF, 2021). The estimation of the Mexican economy in 2020 surpassed the fall of the 1932 Great Depression (Saldívar, 2021; Cruz-Vargas, 2021), and the 5.3% contraction caused by the Influenza A (H1N1) epidemic in 2009, as well as the one experienced by the ‘Tequila effect’ in 1995, with 6.9% (Morales, 2021).

In Mexico, with the motto ‘*The countryside won't stop*’, the continuity in the production of many basic products was promoted. However, worldwide demand and the SARS-CoV-2 mitigation and prevention strategies implied the modification of production, distribution and marketing schemes. For example, Guanajuato, one of the main farming states, increased its production of tomato, bell peppers, lettuce, broccoli, cauliflower, and others by 12%, whereas the export of frozen plant-based foods such as broccoli, mixed vegetables,

esencial propiciando la continuidad operativa de campo. No obstante, datos posteriores demostraron que la letalidad de SARS-CoV-2 en zonas rurales fue mayor (12.4%) que en zonas urbanas (8.4%) (Rodríguez, 2021), en gran medida por restricciones a servicios primarios y secundario de salud.

En abril del 2020 se proyectaba una caída mundial del PIB mayor a la observada en varias décadas (CEPAL, 2020). El Fondo Monetario Internacional (IFM, por sus siglas en inglés), estimó una contracción en 3.5% para América Latina, 7.4% en el Caribe y 8.5% en México. Este impacto fue incluso mayor en economías desarrolladas como Reino Unido con 10% y España 11.1%. Durante toda la pandemia destacó la economía China, la cual mantuvo crecimientos positivos, pero con PIB inferior al esperado (2.3%) (Cuadro 1) (IFM, 2021). La estimación de la economía mexicana en 2020 superó la caída de *Gran Depresión* en 1932 (Saldívar, 2021; Cruz-Vargas, 2021), y rebasó la contracción de 2009 por la epidemia Influenza A (H1N1) de 5.3% y la del ‘efecto tequila’ en 1995 con 6.9% (Morales, 2021).

En México bajo el lema ‘*el campo no se detiene*’, se promovió la continuidad de la producción de diversos productos de primera necesidad. Sin embargo, la demanda mundial y las estrategias de mitigación y prevención contra SARS-CoV-2 implicaron modificar esquemas de producción, distribución y comercialización. Por ejemplo, Guanajuato, una de las principales entidades productoras, incrementó la producción de jitomate, chile morrón, lechuga, brócoli y coliflor, entre otros, en 12%, en tanto la exportación de productos hortícolas congelados (brócoli, mezcla de verduras, fresas, etc.) alcanzó el 22% (COFOCE, 2021). Similarmente, aumentó la cosecha de arroz (23.3%; 302,000 t), frijol (35.6%, 1,000,193 t), maíz (3.9%, 28 000294 t) y trigo (17.5%, 1 000589 t) (SEGALMEX, 2020; Ramírez, 2021). En consecuencia, el PIB total de



**Table 1. Growth in GDP of the worldwide economy in 2020, and projections for 2021 and 2022 by regional average and for selected countries.**  
**Cuadro 1. Crecimiento PIB de la economía mundial en 2020 y proyecciones 2021 y 2022 por promedio regional y por países seleccionados.**

| País                                                | *2020       | 2021       | 2022       |
|-----------------------------------------------------|-------------|------------|------------|
| <b>Producto mundial</b>                             | <b>-3.5</b> | <b>5.5</b> | <b>4.2</b> |
| <b>Economías Desarrolladas</b>                      | <b>-4.9</b> | <b>4.3</b> | <b>3.1</b> |
| Estados Unidos                                      | -3.4        | 5.1        | 2.5        |
| Zona del euro                                       | -7.2        | 4.2        | 3.6        |
| Alemania                                            | -5.4        | 3.5        | 3.1        |
| Francia                                             | -9.0        | 5.5        | 4.1        |
| Italia                                              | -9.2        | 3.0        | 3.6        |
| España                                              | -11.1       | 5.9        | 4.7        |
| Japón                                               | -5.1        | 3.1        | 2.4        |
| Reino Unido                                         | -10.0       | 4.5        | 5.0        |
| Canadá                                              | -5.5        | 3.6        | 4.1        |
| Otras economías avanzadas                           | -2.5        | 3.6        | 3.1        |
| <b>Economías emergentes y en desarrollo mundial</b> | <b>-2.4</b> | <b>6.3</b> | <b>5.0</b> |
| <b>Economías emergentes y en desarrollo de Asia</b> | <b>-1.1</b> | <b>8.3</b> | <b>5.9</b> |
| China                                               | 2.3         | 8.1        | 5.6        |
| India                                               | -8.0        | 11.5       | 6.8        |
| ASEAN-5                                             | -3.7        | 5.2        | 6.0        |
| <b>Economías emergentes y en desarrollo EU</b>      | <b>-2.8</b> | <b>4.0</b> | <b>3.9</b> |
| Rusia                                               | -3.6        | 3.0        | 3.9        |
| <b>América Latina y el Caribe</b>                   | <b>-7.4</b> | <b>4.1</b> | <b>2.9</b> |
| Brasil                                              | -4.5        | 3.6        | 2.6        |
| México                                              | -8.5        | 4.3        | 2.5        |
| <b>Oriente medio y Asia Central</b>                 | <b>-3.2</b> | <b>3.0</b> | <b>4.2</b> |
| Arabia Saudita                                      | -3.9        | 2.6        | 4.0        |
| <b>África subsahariana</b>                          | <b>-2.6</b> | <b>3.2</b> | <b>3.9</b> |
| Nigeria                                             | -3.2        | 1.5        | 2.5        |
| Sudáfrica                                           | -7.5        | 2.8        | 1.4        |

\*Source: IFM (2021). / \*Fuente: IFM (2021).

strawberries, etc. reached 22% (COFOCE, 2021). Similarly, rice harvests increased (23.3%; 302,000 t), along with beans (35.6%, 1,000,193 t), maize (3.9%, 28 000294 t) and wheat (17.5%, 1 000589 t) (SEGALMEX, 2020; Ramírez, 2021). Consequently, the total GDP of the primary farming activities had a growth, being the only one with a positive balance in comparison with other sectors of the economy. Thus, in the first quarter of 2020, a stationary series of 586,608 million pesos was registered; in the second quarter, during the quarantine period, the figure increased

las actividades primarias agrícolas y pecuarias tuvo un crecimiento positivo siendo la única con balance positivo respecto a otros sectores de la economía. Así, en el primer trimestre de 2020 se registró una serie desestacional de 586,608 millones de pesos; en el segundo trimestre, durante el periodo de cuarentena fue de 589,431, y en el tercer trimestre el valor de las actividades primarias rebasó por 5.4% (636,317) lo esperado en la tendencia ciclo anual (INEGI, 2021). En promedio, la actividad primaria tuvo un crecimiento anual de 2.1% en ese año. El sector secundario registró una caída anual de

to 589,431 and in the third quarter, the value of primary activities surpassed expectations by 5.4% (636,317) for the annual cycle tendency (INEGI, 2021). On average, primary activities had an annual growth of 2.1% in that year. The secondary sector recorded an annual reduction of 10.2%, making it the most affected of the entire economy, due to the suspension of activities. The tertiary sector (tourism, trade and services) displayed an annual contraction of 7.9% (INEGI, 2021).

### Mexican remittances in 2020

It is important to point out that in 2020, remittances, an important source of income from Mexicans living abroad, reached a historic peak of 3.8% of the GDP, or 40.6 billion dollars, 11.4% higher than in 2019 (BANXICO, 2021) (Figure 1).

10.2%, siendo el más afectado de toda la economía por suspensión de actividades. El sector terciario (turismo, comercio y servicios) mostró una contracción anual de 7.9% (INEGI, 2021).

### Remesas mexicanas en 2020

Es importante destacar que las remesas en 2020, importante fuente de divisas, de mexicanos residentes en el extranjero llegó a su máximo histórico equivalente al 3.8% del PIB, lo que se traduce en \$ 40 606.60 millones de dólares, 11.4% mayor que en 2019 (BANXICO, 2021) (Figura 1). Sin embargo, lo anterior no es un logro de la economía mexicana, al ser una variante externa, debido al efecto que tuvieron los incentivos económicos productivos que favorecieron a los migrantes mexicanos por parte del gobierno de EUA (BBVA, 2021).

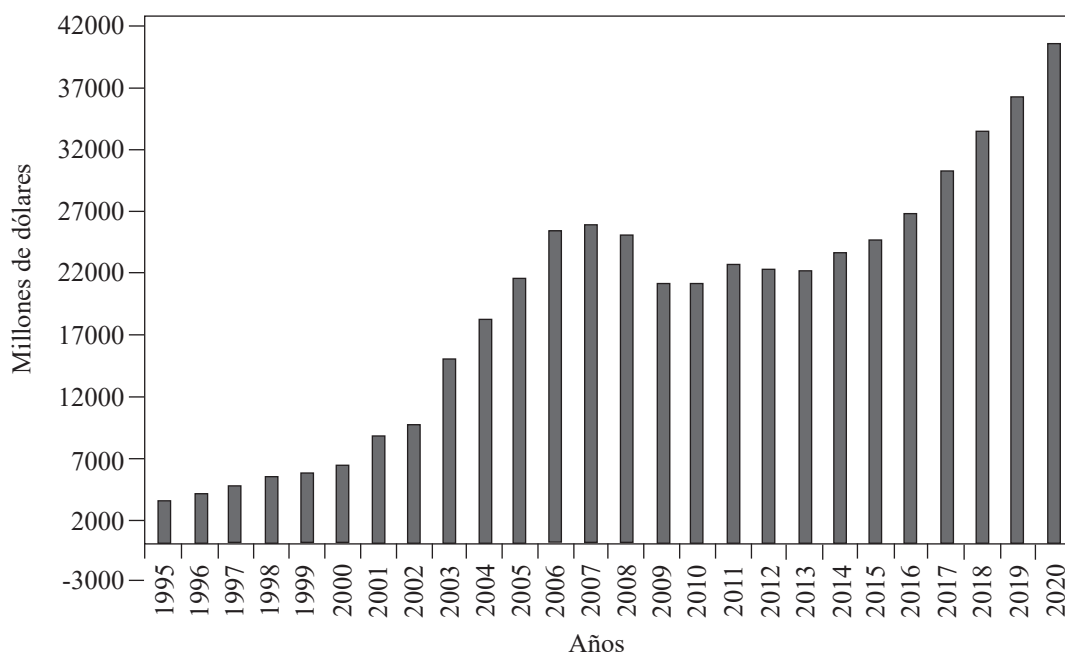


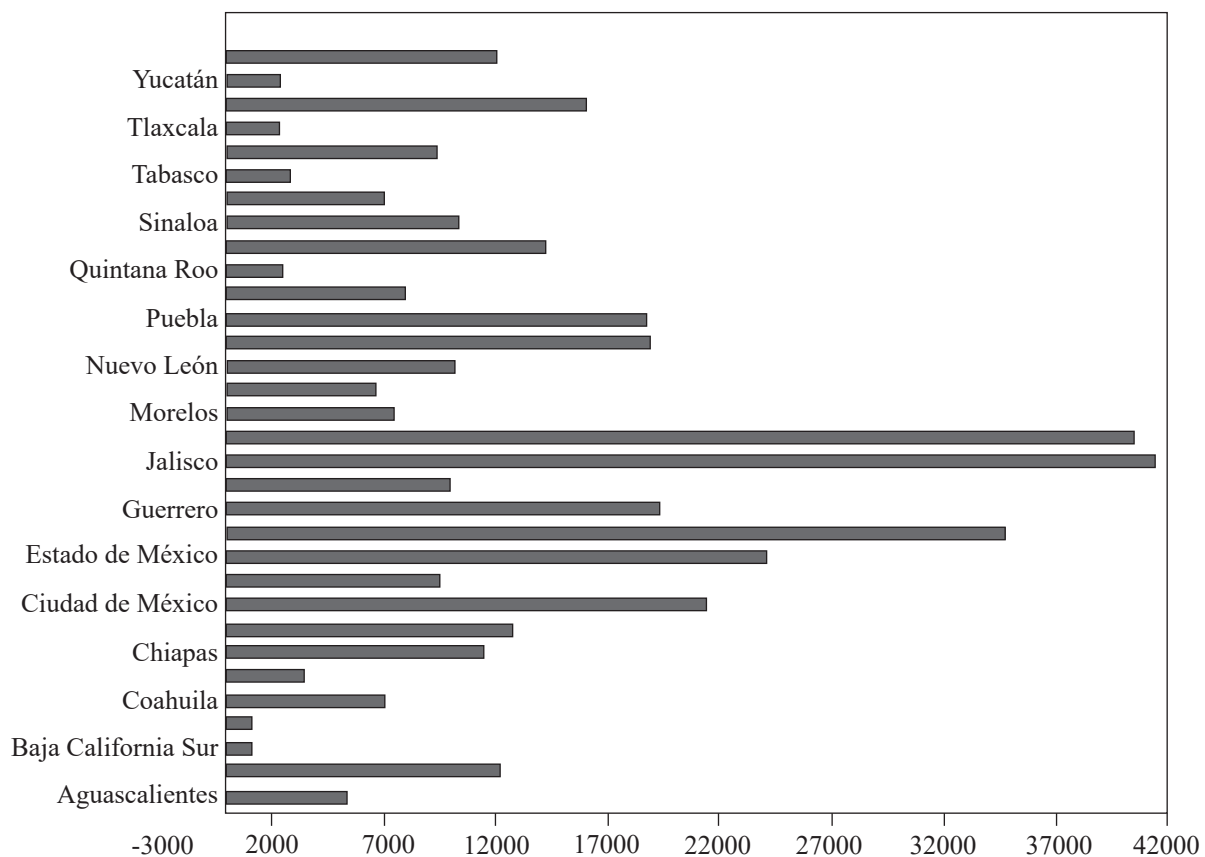
Figure 1. Workers' remittances sent to Mexico by Mexicans residing abroad during 1995-2020 Source: BANXICO.

Figura 1. Remesas enviadas a México por mexicanos residentes en el extranjero durante 1995-2020. Fuente: Banxico (2021).

However, this is not an achievement of the Mexican economy, since it is an outside variant, due to the effect of the productive economic incentives by the United States government that favored Mexican migrants (BBVA, 2021).

The Mexican families that benefitted from remittances, mainly from rural areas, contributed significantly to the reactivation of internal consumption (BBVA, 2021). A total of 17 federative entities received at least 1 million dollars, the states of Jalisco and Michoacán receiving the highest benefits (BANXICO, 2021) (Figure 2). It is estimated that in the US live 12.4 million first-

Las familias mexicanas que se beneficiaron de remesas, principalmente del medio rural, contribuyeron significativamente a reactivar el consumo interno (BBVA, 2021). Un total de 17 entidades federativas recibieron al menos 1 millón de dólares, siendo Jalisco y Michoacán los más beneficiados (BANXICO, 2021) (Figura 2). Se estima que en EUA residen cerca de 12.4 millones de migrantes mexicanos de primera generación, 12.8 de segunda y 13.9 de tercera (BBVA, 2021). Las primeras generaciones son principalmente trabajadores de campo desplazados que migraron para la búsqueda de mejores opciones de vida y trabajo.



**Figure 2.** Distribution of remittances in Mexico by federative entity in 2020. Figures in millions of dollars. Source: BANXICO (2021).

**Figura 2.** Distribución de remesas en México por entidad federativa in 2020. Montos en millones de dólares Fuente: BANXICO (2021).

generation, 12.8 million second-generation and 13.9 million third-generation Mexicans (BBVA, 2021). The first generation is composed mainly of displaced field workers that migrated in search of better life and work options.

### Merchandise trade balance of Mexico in 2020

The total merchandise trade balance in 2020 recorded a surplus of 476 billion dollars, in a period in which exports were 9.0% higher than imports, caused by the increase in the positive balance of non-petroleum products by 81%, after going from 26.773 billion dollars to 48.471 billion dollars in 2020 (SIAP, 2021). This period experienced a deficit in the oil merchandise trade balance of 13.995 billion dollars. Historically, the secondary sector has been the one with the highest gains, largely due to oil extraction. However, in 2020 it underwent a contraction of 33.5%. Primary activities advanced 1.65%, which counteracted by the performance of secondary activities, composed of the industry, which had an annual fall of 10.2%. Meanwhile, tertiary activities, composed of the service sector, presented a lower contraction of 7.9%.

Mexico is positioned as the 12th agricultural producer and 3rd in Latin America, which favored a positive balance in 2020 (SIAP, 2021). The agri-food products balance ended with a surplus of 12.347 billion dollars, which meant an increase in the annual rate of 39.9%. Agri-food exports produced incomes for the country of 39.525 billion dollars, which represents a growth of 5.2% in regard to 2019. Imports fell 5.47% in comparison with the previous year, adding 127.178 billion dollars. Global agri-food trade was of 66.703 billion dollars, 59.2% of which were sales made by Mexico (Villalobos-Arámbula, 2021). At the end of 2020, the value of Mexican farming and fishing exports was the highest in 28 years, since 1993 (SIAP, 2021).

### Balanza comercial mexicana en 2020

La balanza comercial total en 2020, registró un superávit de 34 mil 476 mmd (mil millones de dólares), periodo en el que las exportaciones fueron 9.0% mayores a las importaciones, originado por el aumento del saldo positivo de la balanza de productos no petroleros en 81%, al pasar de 26 773 mmd en 2019 a 48 471 mmd en 2020 (SIAP, 2021). En ese periodo se tuvo un déficit de la balanza petrolera en 13 995 mmd. Históricamente, el sector secundario ha sido el de mayores ganancias en gran medida por la extracción de petróleo. Sin embargo, en 2020 tuvo una contracción del 33.5%. Las actividades primarias registraron un avance de 1.65%, que fue contrarrestado por el desempeño de las actividades secundarias, integradas por la industria, que tuvieron una caída anual de 10.2%. Mientras tanto, las terciarias integradas por el sector de servicios presentaron una menor contracción del 7.9%.

México se posiciona como 12° Productor agropecuario y 3° en América Latina, lo cual favoreció la balanza positiva en 2020 (SIAP, 2021). El saldo de la balanza comercial de productos agroalimentarios cerró con un superávit de 12 347 mdd, lo que significó un incremento en la tasa anual de 39.9%. Las exportaciones agroalimentarias generaron ingresos al país por 39 525 mdd lo que equivale un crecimiento de 5.2% respecto a 2019. Las importaciones bajaron 5.47% en comparación con el año previo sumando 127 178 mdd. El comercio global agroalimentario fue de 66 703 mdd, 59.2% correspondió a ventas realizadas por México (Villalobos-Arámbula, 2021). Al finalizar 2020, el valor de las exportaciones agropecuarias y pesqueras de México fue la mayor en 28 años desde 1993 (SIAP, 2021).

Los productos frescos mexicanos con mayor valor de exportación en 2020 fueron el aguacate (*Persea americana*), jitomate (*Solanum lycopersicum*) y



The fresh Mexican products with the highest export value in 2020 were avocado (*Persea americana*), tomato (*Solanum lycopersicum*) and peppers (*Capsicum* sp.) with a value of 2.724, 2.186 and 1.279 billion dollars, respectively (Figure 3). These agricultural products come mainly from Michoacán (avocado), Sinaloa (tomato) and Chihuahua and Sinaloa (peppers) (SIAP, 2020). Other Mexican agricultural products that increased their value internationally were cucumbers (19%), green tomato (18.8%), cauliflower (18.0%), tomato (9.3%), broccoli (8.7%), zucchini (8.4%), onion (1.7%), asparagus (0.9%), chili pepper (0.9%) and carrot (0.2%) (Morales, 2020). Industrialized agricultural products that stand out are beer, with 4.685 billion dollars and tequila and mezcal,

pimiento (*Capsicum* sp.) con un valor de 2724, 2186 y 1279 mmd, respectivamente (Figura 3). Estos productos agrícolas provienen principalmente de Michoacán (aguacate), Sinaloa (jitomate) y Chihuahua y Sinaloa (pimientos) (SIAP, 2020). Otros productos agrícolas mexicanos que se incrementaron fueron el pepino (19%), tomate verde (18.8%), coliflor (18.0%), jitomate (9.3%), brócoli (8.7%), calabacita (8.4%), cebolla (1.7%), espárrago (0.9%), chiles (0.9%), y zanahoria (0.2%) (Morales, 2020). Como productos agrícolas industrializados destacan la cerveza con 4685 mmd, y tequila y mezcal con 2442 mmd (La Redacción, 2021). Los mayores incrementos en exportaciones agrícolas y derivados se registraron en café sin tostar con un aumento del 36%, seguido de jitomate (22.80%), cebollas y ajos

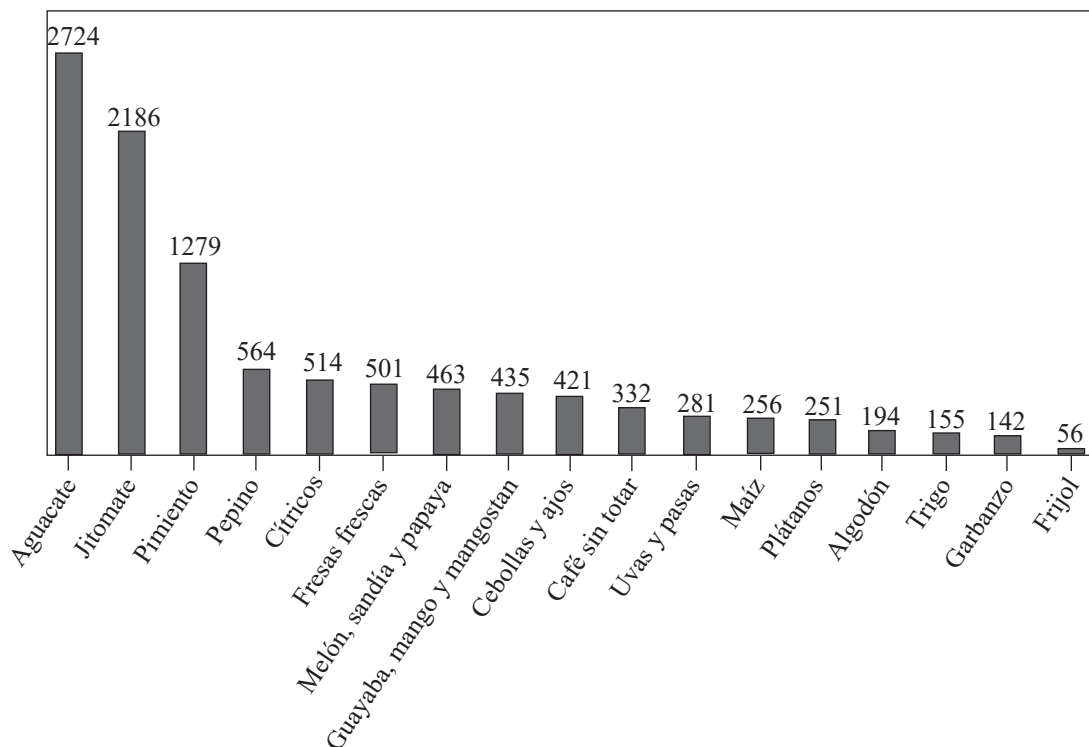


Figure 3. Mexican agricultural products with the highest export values in 2020. Units in millions of dollars. Source: SIAP, (2021).

Figura 3. Productos agrícolas mexicanos con mayor valor de exportación en 2020. Unidades en millones de dólares. Fuente: SIAP, (2021).

with 2.442 billion dollars (La Redacción, 2021). The highest increases in agricultural exports and its derivatives were in untoasted coffee, with an increase of 36%, followed by tomato (22.80%), onion and garlic (19.28%), strawberry and raspberry (18.54%) and cucumber (15.65%). Agroindustrial products such as tequila and mezcal grew by 24.33%, toasted and inflated 16.11%, water and soft drinks 15.33%, yeast 12.8% and bakery products 10.4% (Morales, 2021; SIAP, 2021). On the other hand, in 2020, the production of basic crops such as white maize and beans increased as predicted by SIAP. The production of beans in 2019 was 879,404 t and in 2020, 1,192,832. White maize went from 23,899,703 t in 2019 to 25,265,819 t in 2020 (SIAP, 2020).

### Plant health Politics

Mexico maintained its plant health policies, which focused on sustaining the health and innocuity of agricultural products, with an emphasis on basic products, during the period of pandemic in 2020 and 2021. Thus continued the Phytosanitary Epidemiological Surveillance Campaigns and Programs, crucial to reduce risks and productive losses, due to the effect of crop pests (<https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/>). These activities included actions and surveillance in over 35 pests of importance for reasons of economy and/or quarantine. Several of these activities determine the issuance of export certificates, which favors the international marketing of Mexican fresh produce. Along with these efforts, on February 28, 2020, a pilot program was announced for the phytosanitary electronic certification (ePhyto) to speed up the commercial trade between Mexico and the United States (<https://www.gob.mx/senasica/prensa/operan-mexico-y-estados-unidos-programa-piloto-de-certificacion-electronica-fitosanitaria-265245>).

(19.28%), fresas y frambuesas (18.54%), y pepino (15.65%). Los productos agroindustriales como el tequila y mezcal crecieron 24.33%, cereal tostado e inflado 16.11%, aguas y refrescos 15.33%, levadura 12.8% y productos de panadería 10.4% (Morales, 2021; SIAP, 2021). Por otra parte, en 2020, la producción de cultivos básicos, como maíz blanco y frijol, incrementó de acuerdo a las proyecciones del SIAP. La producción de frijol en el 2019 fue de 879404 t y en 2020 de 1,192832. El maíz blanco pasó de 23,899703 t en 2019 a 25,265819 t en 2020 (SIAP, 2020).

### Políticas fitosanitarias

México mantuvo su política fitosanitaria enfocada a sustentar la sanidad e inocuidad de productos agrícolas, con énfasis en cultivos básicos, durante el periodo epidémico 2020 y el actual 2021. Así, continuaron a nivel nacional las Campañas y Programas de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, fundamentales para reducir riesgos y pérdidas productivas por efecto de plagas de los cultivos (<https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/>). Estas actividades incluyeron acciones y vigilancia en más de 35 plagas de importancia económica y/o cuarentenaria. Varias de estas actividades determinan la emisión de certificados de exportación lo cual favorece el comercio internacional de productos frescos mexicanos. Aunado a estos esfuerzos, el 28 de febrero 2020 se anunció el programa piloto de certificación electrónica fitosanitaria (ePhyto) para agilizar el intercambio comercial entre México y Estados Unidos (<https://www.gob.mx/senasica/prensa/operan-mexico-y-estados-unidos-programa-piloto-de-certificacion-electronica-fitosanitaria-265245>). Adicionalmente, la Ventanilla Digital Mexicana de Comercio Exterior (VDMCE), creada en 2013, fue fundamental en esta etapa epidémica COVID-19 ya que ha permitido continuar con operaciones

Additionally, the Mexican Digital Counter for Foreign Trade (Ventanilla Digital Mexicana de Comercio Exterior - VDMCE), created in 2013, was crucial in this time of COVID-19 epidemic, since it has helped continue agricultural trade operations, improving the efficiency in the release of merchandise in points of entry. It was an instrument of the measures of the Mexican government to guarantee the trade and supply of foods, as well as contributing to prevent the spreading of SARS-CoV-2 by reducing the interaction between workers and users (<https://www.yumpu.com/es/document/view/47818261/ventanilla-digital-mexicana-de-comercio-exterior-vdmce>) (SENASICA, 2021).

### **GDP estimations in 2021**

Estimations for the Mexican and worldwide GDP in 2021 will depend largely on the advancement of vaccinations against SARS-CoV-2, which will allow total economic reactivation; however, recently approved fiscal and energy policies may decelerate growth, leaving an estimated GDP of 2.7 – 5.6% (Focus Economics, 2021) (Figure 4). Undoubtedly, a GDP growth of 4%, on average, will be attributable to the low GDP comparison in the same period of the previous year. At press time, with 2021 about to end and with 71,366,205 people vaccinated with at least one of the required doses, it is safe to claim that the economic deceleration forecast was not as expected and, in Mexico, is positioned higher than 5% (Editor's note).

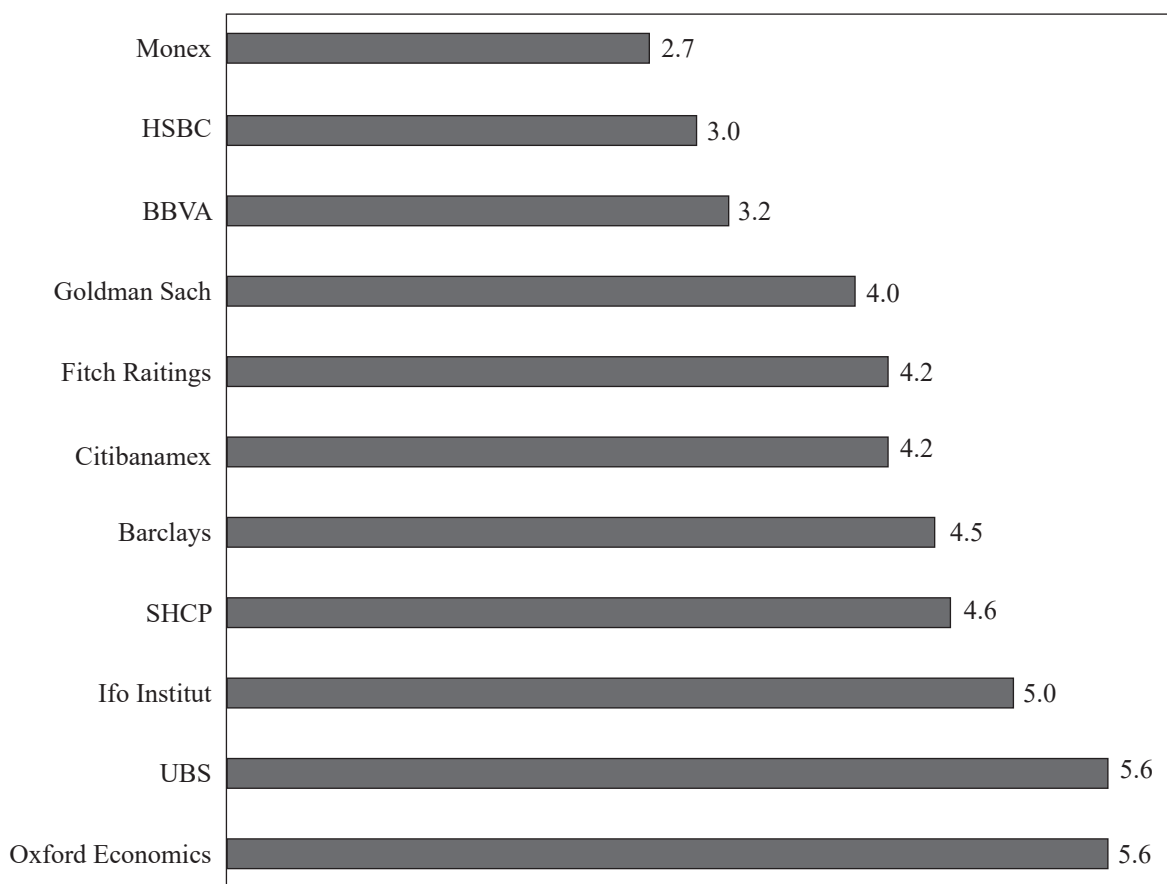
The repercussions of COVID-19 have impacted supply chains for food, inputs, services and workforce availability. By maintaining its productive activities, the countryside has posed challenges but also opportunities for innovation, such as digitalization in agriculture, communication and online trade. Regarding investigation opportunities, in this Special Edition,

comerciales agrícolas, mejorando la eficiencia de liberación de mercancías en puntos de ingreso. Fue un instrumento de las medidas del Gobierno de México para garantizar el comercio y abasto de alimentos, además de contribuir a la prevención de contagio SARS-CoV-2 al reducir la interacción entre los servidores públicos y los usuarios (<https://www.yumpu.com/es/document/view/47818261/ventanilla-digital-mexicana-de-comercio-exterior-vdmce>) (SENASICA, 2021).

### **Estimaciones del PIB en 2021**

Las estimaciones para el PIB mexicano en 2021 y el resto de mundo, dependerá en gran medida del avance de vacunación contra el SARS-CoV-2, lo cual permitirá la total reactivación económica; sin embargo, las políticas fiscales y las energéticas que recientemente se aprobaron pueden desacelerar el crecimiento dejando una estimación del PIB entre un 2.7 – 5.6% (Focus Economics, 2021) (Figura 4). Sin duda, el crecimiento del PIB, en 4 puntos porcentuales en promedio, será atribuible a la baja comparación del PIB en el mismo periodo del año previo. Al cierre de la edición, a punto de concluir el 2021 y con 71 millones 366 mil 205 personas vacunadas con al menos una dosis de dos requeridas, se puede afirmar que el pronóstico de desaceleración de la economía no fue el esperado y se posiciona en México por arriba de los 5 puntos (Nota del Editor).

Las repercusiones COVID-19 han impactado en las cadenas de suministro de alimentos, insumos, servicios y la disponibilidad de mano de obra. El campo, ha generado retos, pero también apertura de oportunidades para la innovación como la digitalización en agricultura, comunicación y comercio en línea. Respecto a oportunidades en investigación, en este Número Especial, varios trabajos señalan la importancia de impulsar una agricultura fundamentada



**Figure 4. Estimation by several institutions of the Mexican GDP in 2021. Source: Focus Economics (2021).**  
**Figura 4. Estimación por varias instituciones financieras del PIB 2021 mexicano. Fuente: Focus Economics (2021).**

several authors point out the importance of promoting an agriculture based on the optimization of agroecosystemic services, the conservation and use of native plant materials as an alternative to an agriculture with a strong environmental impact and dependence on imported inputs (Editor's note). Similarly, the World Bank (2021) suggests, in the light of the pandemic crisis, that "a measure with a possibly large impact will be to prioritize investment in ecological infrastructure projects with a high economic profitability. Promoting the adoption of environmentally sustainable technologies may support more growth, while mitigating the effects of climate change."

en la optimización de servicios agroecosistémicos, conservación y empleo de materiales vegetales nativos como una alternativa a una agricultura con fuerte impacto en el ambiente y fuerte dependencia de insumos de importación (Nota del Editor). En similar sentido, el Banco Mundial (2021) sugiere ante la crisis pandémica que "una medida con un posible gran impacto será priorizar la inversión en proyectos de infraestructura ecológica con una elevada rentabilidad económica. Promover la adopción de tecnologías ambientalmente sostenibles puede respaldar un mayor crecimiento mitigando al mismo tiempo los efectos del cambio climático".



## PERSPECTIVES

By March 6, 2020, the number of deaths caused by SARS-CoV-2 in the world is higher than 2.5 million people, out of which 519,075 took place in the United States, 262,770 in Brazil and 189,578 in Mexico, with an average lethality of 8.95% (SSA, 2021; WHO, 2021). At time press, these numbers have increased by almost 50% in the USA and Mexico and by 100% for Brazil, indicating that the health crisis continues to be global, despite the strong vaccination campaigns in most countries, including those mentioned (Editor's note). Mexican agriculture, as a primary essential activity, was the only one with a positive balance. Thus, the total GDP of the primary activities derived from Mexican agriculture increased with a surplus of 12.347 billion dollars and an annual increase of 39.92% in 2020. Global economic implications of COVID-19 affected the supply chains of foods and agricultural inputs. However, this 'new normality' has produced challenges and opportunities for the primary sector, mainly agriculture. Despite, Mexican agriculture having adopted Good Agricultural Practices (GAP) and Good Manufacturing Practices (GMP) in the 1990s, for the production and marketing of innocuous foods, and the current demand for healthy agricultural products not having been a challenge for the supply of healthy foods, it did imply operative innovations to guarantee the reduction in the risk of contagion between agricultural workers and the potential risk of spreading inoculants in fresh foods (Editor's note). This ability to adapt and the increase in the international demand for food can be of great benefit for agricultural producers. However, this area of opportunity for the Mexican countryside must quickly impact public policies and agricultural planning to maintain the productive rhythm while strengthening consumption and internal supply chains. Mexico has a diversity of

## PERSPECTIVAS

Al 6 de marzo de 2020, las defunciones causadas por SARS-CoV-2 en el mundo superan los 2.5 millones de personas de los cuales, 519 075 corresponden a Estados Unidos, 262 770 a Brasil y 189 578 a México, con un promedio de letalidad de 8.95% (SSA, 2021; WHO, 2021). Al cierre de esta edición, estas cifras se han incrementado casi un 50% en EUA y México, y 100% para Brasil, indicando que la crisis sanitaria mantiene su carácter global a pesar de las fuertes campañas de vacunación en la mayoría de los países incluyendo los países referidos (Nota del Editor). La agricultura mexicana como actividad primaria esencial fue la única que mantuvo un balance positivo. Así, el PIB total de las actividades primarias derivadas de la agricultura mexicana se incrementaron con un superávit de 12 347 mmd y un incremento anual de 39.92% en 2020. Las implicaciones económicas globales de COVID-19 afectaron las cadenas de suministros de alimentos e insumos agrícolas. Sin embargo, está 'nueva normalidad', ha generado retos y oportunidades al sector primario, principalmente la Agricultura. Si bien la agricultura mexicana adoptó desde los 90's las buenas prácticas de agrícolas BPA y de manufactura (BPM) para la producción y comercialización de alimentos inocuos, y la actual demanda de productos agrícolas sanos en el mundo no representó un reto para el suministro de alimentos sanos, si implicó innovaciones operativas para garantizar la reducción de riesgos de contagio entre trabajadores agrícolas y el potencial riesgo de dispersión de inóculo en alimentos frescos (Nota del Editor). Esta capacidad adaptativa y el incremento en la demanda internacional de alimento puede ser de gran beneficio para productores agrícolas. Sin embargo, esta área de oportunidad para el campo mexicano debe rápidamente incidir en política pública y planeación agrícola

production with small-, medium- and large-scale farmers, which supply anywhere from subsistence farming to the export of agricultural products, which translates into a large response potential in markets. It can also develop border investigation to achieve food security, which can be done with a greater efficiency, with more solid national policies.

## LITERATURE CITED

- Banco Mundial. 2021. Una recuperación moderada, con daños que reparar. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2021/01/05/global-economic-prospects>. Consulta 5 de enero 2021.
- BANXICO. 2021. Datos abiertos. <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadroAnalitico&idCuadro=CA11&sector=1&locale=es>
- BBVA (Fundación Bancomer, A.C. y Consejo Nacional de Población). 2021. Anuario de Migración y Remesas México 2020. (en línea). [https://www.bbvarsearch.com/wp-content/uploads/2020/10/Anuario\\_Migracion\\_y\\_Remesas\\_2020.pdf](https://www.bbvarsearch.com/wp-content/uploads/2020/10/Anuario_Migracion_y_Remesas_2020.pdf). Consulta marzo 2021.
- Butler MJ and Barrientos RM. 2020. The impact of nutrition on COVID-19 susceptibility and long-term consequences. Brain, behavior, and immunity. 87:53-54. doi: 10.1016/j.bbi.2020.04.040
- COFOCE, 2020. Coordinadora de Fomento al Comercio Exterior del Estado de Guanajuato. Crece exponencialmente la exportación de agroalimentos de Guanajuato. <https://cofoce.guanajuato.gob.mx/2020/09/07/crece-exponencialmente-la-exportacion-de-agroalimentos-de-guanajuato/>. Consulta febrero 2021.
- CONEVAL, 2021. Comunicado 2. El CONEVAL presenta información referente al índice de la tendencia laboral de pobreza (ITP) al cuarto trimestre de 2020. [https://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Comunicadosprensa/Documents/2021/COMUNICADO\\_02\\_ITLP\\_4to\\_TRIMESTRE\\_2020.pdf](https://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Comunicadosprensa/Documents/2021/COMUNICADO_02_ITLP_4to_TRIMESTRE_2020.pdf). Consulta febrero 2021.
- Córdova-Villalobos JA, Macías AE, Hernández-Ávila M, Domínguez-Cherit G, López-Gatell H, Alpuche-Aranda C y Ponce de León-Rosales S. 2019. La pandemia de 2009 en México: Experiencia y lecciones sobre políticas nacionales de previsión contra la influenza estacional y epidémica. 2019. Karger Kompass Neumology 1:7-14 DOI: 10.1159/000502070
- Cruz-Vargas JC. 2021. La economía de México tuvo su peor caída en 90 años. Proceso. La economía de México tuvo su peor caída en casi 90 años - Proceso. Consulta 25 de febrero 2021.
- Focus economics. 2021. Mexico economic outlook. <https://www.focus-economics.com/countries/mexico>. Consulta febrero 2021.
- para mantener el ritmo productivo fortaleciendo además las cadenas de consumo y de suministro interno. México posee una diversidad de producción con pequeños, medianos y grandes productores, que atienden desde el autoconsumo, hasta grandes volúmenes de exportación de productos agrícolas, lo que repercute en un gran potencial de respuesta en los mercados. Además, tiene capacidad para desarrollar investigación de frontera para lograr la seguridad alimentaria, lo cual se podrá lograr con más eficiencia con una política nacional sólida.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

Guevara-Flores S. 2020. Primera Pandemia del Nuevo Mundo: la viruela de 1520 en México Noticonquista. Número Especial: Epidemias de 1520 a 2020. Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM. <https://www.noticonquista.unam.mx/amoxtli/1951/1947>. Consulta enero 2021.

IFM. 2021. Perspectivas de la economía mundial. <https://www.imf.org/es/Publications/WEO/Issues/2021/01/26/2021-world-economic-outlook-update>. Consulta febrero 2021.

INEGI. 2021. Datos Abiertos. <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/#Tabulados>. Consulta febrero 2021.

La Redacción. 2021. Comercio Agroalimentario cerró 2020 con alza de casi 40%. La Jornada. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/02/14/economia/comercio-agroalimentario-cerro-2020-con-alza-de-casi-40/>. Consulta 14 de febrero 2021.

Malvido E y Viesca C. 1985. La epidemia de cocoliztli de 1576. Revista de la Dirección de Estudios Históricos del Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, D.F. Octubre-Diciembre 1985. <https://www.estudioshistoricos.inah.gob.mx/revistaHistorias/?p=1525>. Consulta enero 2021.

Morales R. 2021. Exportaciones tienen su peor caída en 11 años, pero cerraron 2020 al alza. El Financiero. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Exportaciones-tienen-peor-caida-en-11-anos-pero-cerraron-2020-al-alza-20210129-0019.html>. Consulta 29 de enero 2021.

Morales R. 2021. Crecen exportaciones mexicanas de hortalizas. El economista (01 de marzo de 2020). <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Crecen-exportaciones-mexicanas-de-hortalizas-20201229-0011.html>. Consulta marzo 2021.

Morales Y. 2021. En el 2020, el PIB de México se desplomó 8.5%. El Financiero <https://www.eleconomista.com.mx/economia/El-PIB-de-Mexico-se-desplomo-8.5-en-2020-la-peor-caida-desde-1932-20210225-0043.html>. Consulta 25 de febrero 2021.

- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2021. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://academicimpact.un.org/es/content/objetivos-de-desarrollo-sostenible>. Consulta febrero 2021.
- Rodríguez, P. 2021. Letalidad por covid-19 es mayor en zonas rurales: Secretaría de Salud. El Excelsior. <https://www.excelsior.com.mx/nacional/letalidad-por-covid-19-es-mayor-en-zonas-rurales-secretaria-de-salud/1432916>. Consulta 15 de febrero 2021.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2021. Operan México y Estados Unidos programa piloto de Certificación Electrónica Fitosanitaria. <https://www.gob.mx/senasica/prensa/operan-mexico-y-estados-unidos-programa-piloto-de-certificacion-electronica-fitosanitaria-265245>
- WHO. 2021. Weekly epidemiological update - 06 March 2021. <https://www.who.int/publications/m/item/covid-19-weekly-epidemiological-update> Consulta marzo 2021.
- Saldívar, B. 2021. Economía mexicana se contrajo 8.5% en el 2020; la mayor caída desde 1932. El Financiero. <https://www.eleconomista.com.mx/economia/Economia-mexicana-se-contrajo-8.5-en-el-2020-la-mayor-desde-1932-20210129-0033.html>. Consulta 29 de enero 2021.
- SEGALMEX (Seguridad Alimentaria Mexicana). 2020. Prevé agricultura producción favorable de los principales granos básicos en año agrícola 2020. <https://www.gob.mx/segalmex/articulos/preve-agricultura-produccion-favorable-de-los-principales-granos-basicos-en-ano-agricola-2020-253166?idiom=es#:~:text=La%20Secretar%C3%ADa%20de%20Agricultura%20y,ma%C3%ADz%20grano%20y%20trigo%20panificable>. Consulta marzo 2021.
- SSA (Secretaria de Salud). 2011. Panorama epidemiológico y estadístico de la mortalidad en México 2009 https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/267596/Mortalidad_2009.pdf. Consulta enero 2021.
- SIAP. 2020. Atlas Agroalimentario 2019. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Atlas-Agroalimentario-2019. Consulta febrero 2021.
- SIAP. 2021. Expectativas agroalimentarias Enero 2021. <https://www.gob.mx/siap/documentos/expectativas-de-produccion-agropecuaria-pesquera>. Consulta febrero 2021.
- Villalobos-Arámbula V. [@vmva1950]. Buena noticia el campo no se detiene [Tweet]. Tweeter. <https://twitter.com/vmva1950/status/1361100493758599174>. Consulta 14 de febrero 2021.

Microbial genetic resources in food security to face COVID-19 pandemic

Recursos genéticos microbianos en la seguridad alimentaria ante la pandemia COVID-19

Lily Xochilt Zelaya-Molina, ¹Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP. Boulevard de la Biodiversidad # 400. Rancho Las Cruces. C.P. 47600. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. **Sergio de los Santos-Villalobos**, Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de febrero 818 Sur, Colonia Centro, C.P. 85000. Ciudad Obregón, Sonora. **Ismael Fernando Chávez-Díaz**^{1*} **Liliana Carolina Córdova-Albores**, Escuela de Agronomía, Universidad De La Salle Bajío, Avenida Universidad 602. Colonia Lomas del Campestre C.P. 37150, León, Guanajuato.
*Corresponding author: chavez.fernando@inifap.gob.mx; refzaid@hotmail.com.

Received: February 02, 2021.

Accepted: March 30, 2021.

Zelaya-Molina LX, de los Santos-Villalobos S, Chávez-Díaz IF and Córdova-Albores LC. 2021. Microbial genetic resources in food security to face COVID-19 pandemic. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 233-260.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-7>

Abstract. COVID-19 has had an impact on the regional and worldwide agricultural value chain, jeopardizing food security. It is time to reassess the approach of the agri-food sector and to consider that the food supply and plant health, as agro-systemic services, must depend on strategies with a low impact on productive and environmental assets. One strategy is the use and optimization of microbial genetic resources (MGR) related to agroecosystems as a source of balance, functionality, productivity, inhibition of the impact of pests and pathogens, and contribution to the profitability of agri-food activity. It is necessary to strengthen

Resumen. La enfermedad COVID-19 ha impactado en la cadena de valor agrícola regional y mundial comprometiendo la seguridad alimentaria. Es momento de replantear el enfoque del sector agroalimentario y considerar que el abastecimiento de alimentos y la sanidad vegetal, como servicios agroecosistémicos, deben depender de estrategias de bajo impacto en los activos productivos y ambientales. Una estrategia es el empleo y optimización de recursos genéticos microbianos (RGM) asociados a los agroecosistemas como fuente de equilibrio, funcionalidad, productividad, inhibición del impacto de plagas y patógenos, y contribución a la rentabilidad de la actividad agroalimentaria. Es necesario potenciar y desarrollar sistemas agrícolas regionales que sean dinámicos, mitiguen daños ambientales y produzcan alimentos con características nutricionales y nutraceuticas que aseguren la salud humana. Las ciencias agrícolas están experimentando cambios de paradigmas científicos que beneficiarán el sector agroalimentario si

and develop regional agricultural systems that are dynamic, that mitigate damages to the environment and produce nutritional and nutraceutical foods that ensure human health. Agricultural sciences are undergoing changes in scientific paradigms that will benefit the agri-food sector if we are able to learn from the impacts of an extensive technological agriculture. Approaching agriculture from an agro-systemic point of view in which the crop-community is the functional biological unit of study and to preserve the MGR diversity are the greatest challenges to create sustainable and resilient strategies and technologies that contribute towards human health and help prevent risks during health crises such as the ongoing COVID-19 pandemic.

Key words: SARS-CoV-2, sustainable agriculture, holobiont, microbial diversity, biodiversity, conservation.

Agricultural production and the pandemic

Dr. Tedros Adhanom Ghebreyesus, Director General of the World Health Organization (WHO), declared the COVID-19 pandemic, caused by the SARS-CoV-2 virus as official on March 11th, 2020. The whole world adopted social distancing as the main measure for the prevention of contagion, and the lifestyles of millions of people changed drastically (Cucinotta and Vanelli, 2020). The social and economic sectors were the most affected; however, the greatest challenge has been for the health and agri-food sectors, since they are the engine of a world that seems to have been put on hold (Haleem and Javaid, 2020). The COVID-19 disease currently jeopardizes food security, due to its impact on regional agricultural value chains, causing an imbalance between the demand and availability of food (FAO, 2020a). The situation

somos capaces de aprender de los impactos de una agricultura tecnológica extensiva. Abordar la agricultura desde una visión agroecosistémica, donde el cultivo-comunidad sea la unidad biológica funcional de estudio, y conservar la diversidad RGM, constituyen los grandes retos para generar estrategias y tecnologías sustentables y resilientes que contribuyan a la salud humana y coadyuven a la prevención de riesgos ante crisis sanitarias como la actual pandemia COVID-19.

Palabras clave: SARS-CoV-2, agricultura sostenible, holobionte, diversidad microbiana, biodiversidad, conservación

La producción agrícola y la pandemia

El Dr. Tedros Adhanom Ghebreyesus, Director General de la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés), declaró oficial la pandemia COVID-19, causada por el virus SARS-CoV-2, el 11 de marzo de 2020. El mundo entero adoptó el distanciamiento social como medida principal de prevención de contagio y el estilo de vida de millones de personas cambió drásticamente (Cucinotta y Vanelli, 2020). El sector social y económico fueron los principales afectados; sin embargo, el mayor reto ha sido para los sectores de salud y agroalimentario ya que son el motor de un mundo que parece entró en pausa (Haleem y Javaid, 2020). La enfermedad COVID-19 actualmente compromete la seguridad alimentaria mundial al impactar sobre las cadenas de valor agrícola regionales, causando un desbalance entre demanda y disponibilidad de alimentos (FAO, 2020a). La situación se agrava si consideramos que el escenario del sistema agroalimentario actual no es sostenible y su debilitamiento constituye un factor de riesgo *per se* y respecto a la salud de los habitantes del planeta (FAO *et al.*, 2020).

worsens if we consider that the current agri-food system scenario is not sustainable and its weakening is a risk factor *per se* and in regard to the health of the world's inhabitants (FAO *et al.*, 2020).

Currently, agri-food production is based on the excessive use of synthetic and/or biologically manipulated inputs (Chávez-Díaz *et al.*, 2020; FAO, 2020b; FAO *et al.*, 2020; Francis, 2020; Siche, 2020), producing intense socioeconomic and environmental impacts that jeopardize food security and self-sufficiency:

- Imbalance in the microbial and plant biodiversity in agro-ecosystems, making food production difficult.
- Generation of resistance in phytopathogens, pests and weeds, and in human pathogens, which limit the yields of crops and puts human health at risk.
- Limitation in the mitigation and resilience to climate change.
- Continuous increase of the cost of agricultural inputs that directly affect the costs of fresh and processed foods, reducing the purchasing power of the world's population.
- Increase in the economic and social polarization in detriment to small-scale agriculture.
- Deficient diets with inadequate foods or with traces of agrochemicals (food innocuousness), putting several sectors of the population at risk.

The ongoing pandemic forces us to reflect upon the lifestyle humanity has adapted and the way in which we relate to nature and agro-ecosystems, as well as to implement alternatives that lead to environmental and social well-being. This document discusses a reassessment of the agri-food sector in the light of the world COVID-19 health crisis, based on the premise of food provision as an agro-ecosystemic service. It centers on plant

Actualmente la producción agroalimentaria se basa en la utilización excesiva de insumos sintéticos y/o biológicamente manipulados (Chávez-Díaz *et al.*, 2020; FAO, 2020b; FAO *et al.*, 2020; Francis, 2020; Siche, 2020), ocasionando fuertes impactos socio-económicos y ambientales que comprometen la seguridad alimentaria y autosuficiencia:

- Desbalance en la biodiversidad microbiana y vegetal en agroecosistemas, dificultando la producción de alimentos.
- Generación de resistencia en fitopatógenos, plagas y malezas, y en patógenos humanos, que limitan el rendimiento de los cultivos y pone en riesgo la salud humana.
- Limitación en la mitigación y resiliencia al cambio climático.
- Incremento continuo del costo de insumos agrícolas que directamente afectan el precio de alimentos frescos y procesados dañando el poder adquisitivo de la población mundial.
- Incremento en la polarización económica-social con detrimento de la agricultura de pequeña escala.
- Consumo de dietas deficientes, de alimentos inadecuados o con rastros de agroquímicos (inocuidad alimentaria), poniendo en riesgo a diversos sectores de la población.

La presente pandemia, nos obliga a reflexionar sobre el estilo de vida que ha adoptado la humanidad y la forma como nos relacionamos con la naturaleza y agroecosistemas e implementar alternativas que generen el bienestar ambiental y social. El presente documento discute un replanteamiento del sector agroalimentario frente a la crisis mundial de salud por COVID-19, partiendo de la premisa del abastecimiento de alimentos como un servicio agroecosistémico. Se centra en la fitosanidad, uno de las áreas tecnológica-científica fundamental en

health, one of the main technological and scientific areas in the wholesome production of food, and on the potential of microbial genetic resources (MGR) applied to biological control as a source of balance, functionality, productivity and profitability of agri-food activities.

The biological component in agri-food production

Agroecosystems, artificial ecosystems closely associated to the biological activity of the soil-related microbiota (Sahu *et al.*, 2017), and to plant microbiome, provide ecosystemic services such as pest regulation, pollination, nutrient cycling, climate regulation, soil conservation, supplying water, and the production of foods and materials, by means of a complex network of interactions between microorganisms, plants, animals, environmental conditions and agricultural practices (Power, 2010). This process, known as the functionality of agro-ecosystems, depends directly on the soil biodiversity (Saleem *et al.*, 2019) and ensures that, for each type of crop and its specific conditions, there is a key community of microorganisms in charge of the functionality of the agro-ecosystem. This is conceived as a microbiome (Whipps *et al.*, 1988). Currently, from an agri-food point of view, a microbiome is the set of microorganisms, their functional genetic material, ecological niches and the product of its interactions in an agri-food habitat, under certain conditions in a specific moment; understanding, however, that the ‘moment’ is a product of the complex relations established in time. The microbiomes have a close relation with the biotope that, under the influence of abiotic factors throughout time, result in a functional biological unit, or a holobiont (Berg *et al.*, 2020; Hassani *et al.*, 2018). Holobionts have co-evolved with their environment throughout

la producción sana de alimentos, y en el potencial de recursos genéticos microbianos (RGM) aplicados al control biológico como fuente de equilibrio, funcionalidad, productividad y rentabilidad de la actividad agroalimentaria.

El componente biológico en la producción agroalimentaria

Los agroecosistemas, ecosistemas artificiales estrechamente ligados a la actividad biológica de la microbiota asociada al suelo (Sahu *et al.*, 2017), y al microbioma de la planta, proporcionan servicios ecosistémicos como la regulación de plagas, polinización, ciclaje de nutrientes, regulación del clima, conservación del suelo, provisión de agua, y finalmente la generación de alimentos y materiales, mediante una red compleja de interacciones entre microorganismos, plantas, animales, condiciones ambientales y prácticas agrícolas (Power, 2010). Este proceso, conocido como funcionalidad de los agroecosistemas, depende directamente de la biodiversidad del suelo (Saleem *et al.*, 2019) y asegura que, para cada tipo de cultivo, y sus condiciones específicas, existe una comunidad clave de microorganismos que se encargan de la funcionalidad del agroecosistema. Esto es concebido como un microbioma (Whipps *et al.*, 1988). Actualmente, desde un punto de vista agroalimentario, un microbioma es el conjunto de microorganismos, su material genético funcional, sus nichos ecológicos, y el producto de sus interacciones en un hábitat agrícola-alimentario, bajo condiciones determinadas en un momento específico; entendiéndose, sin embargo, que ese ‘momento’ es producto de complejas relaciones establecidas a lo largo del tiempo. Los microbiomas tienen una estrecha interacción con el biotopo, que, bajo la influencia de los factores abióticos a través del tiempo, resultan en una unidad biológica funcional, es decir, un holobionte (Berg

time, adapting to adverse weather conditions and to pathogens, therefore their study represents a source of opportunities to achieve food security, mitigate and adapt to climate change and the control of diseases (Altieri and Nicholls, 2020; Dhar and Mohanty, 2020; Simon *et al.*, 2019; Thomashow *et al.*, 2018). However, a holobiont may be severely affected by agrochemicals and pesticides such as bromomethane (a banned biocide), glyphosate, carbamates and others. In this way, the productivity of the agri-food sector and the preservation of the means of production depend on the fine balance between the characteristics of the crop in association with its microbiome, based on the environmental conditions and the management of the agro-ecosystem (e.g., cultural practices, varieties used, etc.).

Human well-being and the microbial diversity in agro-ecosystems

Scientific evidence from the past 30 years correlates health conditions and diseases of human, animals and plants, and environmental deterioration with their respective microbial diversity (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2020; Trivedi *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Song *et al.*, 2019; Wei *et al.*, 2019; Park, 2018; Singh and Trivedi, 2017; Wall *et al.*, 2015; Cox *et al.*, 2013; Berendsen *et al.*, 2012; Heller and Zavaleta 2009; Turnbaugh *et al.*, 2007). The microbial diversity of agro-ecosystems has a direct impact on human health, since it is implied in multiple biological and productive processes and factors (Figure 1):

- It increases agricultural yield. It regulates plant growth factors, facilitates the acquisition of nutrients and favors resilience to adverse environmental conditions (Saleem *et al.*, 2019).
- It promotes plant health by regulating plant pathogen populations and stimulating the

et al., 2020; Hassani *et al.*, 2018). Los holobiontes han co-evolucionado con su ambiente a través del tiempo, adaptándose a condiciones climáticas adversas y a patógenos, por lo que su estudio representa una fuente de oportunidades para lograr la seguridad agroalimentaria, la mitigación y adaptación al cambio climático y el control de enfermedades (Altieri y Nicholls, 2020; Dhar y Mohanty, 2020; Simon *et al.*, 2019; Thomashow *et al.*, 2018). Sin embargo un holobionte puede ser severamente afectado por agroquímicos y pesticidas como el bromuro de metilo (un biocida ya prohibido), glifosato, carbamatos y otros, De esta manera la productividad del sector agroalimentario y la preservación de los medios de producción dependen del delicado equilibrio entre las características del cultivo en asociación con su microbioma, en función de las condiciones ambientales y el manejo del agroecosistema (p.e., prácticas culturales, variedades empleadas, etc.).

Bienestar humano y la diversidad microbiana en agroecosistemas

Las evidencias científicas de los últimos 30 años correlacionan los estados de salud y enfermedades humanas, animales, vegetales y el deterioro ambiental, con su respectiva diversidad microbiana (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2020; Trivedi *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Song *et al.*, 2019; Wei *et al.*, 2019; Park, 2018; Singh y Trivedi, 2017; Wall *et al.*, 2015; Cox *et al.*, 2013; Berendsen *et al.*, 2012; Heller y Zavaleta 2009; Turnbaugh *et al.*, 2007).

La diversidad microbiana de los agroecosistemas tiene un impacto directo sobre la salud humana al implicarse en múltiples procesos y factores biológicos y productivos (Figura 1):

- Incrementa el rendimiento agrícola. Regula factores de crecimiento vegetal, facilita la adquisición

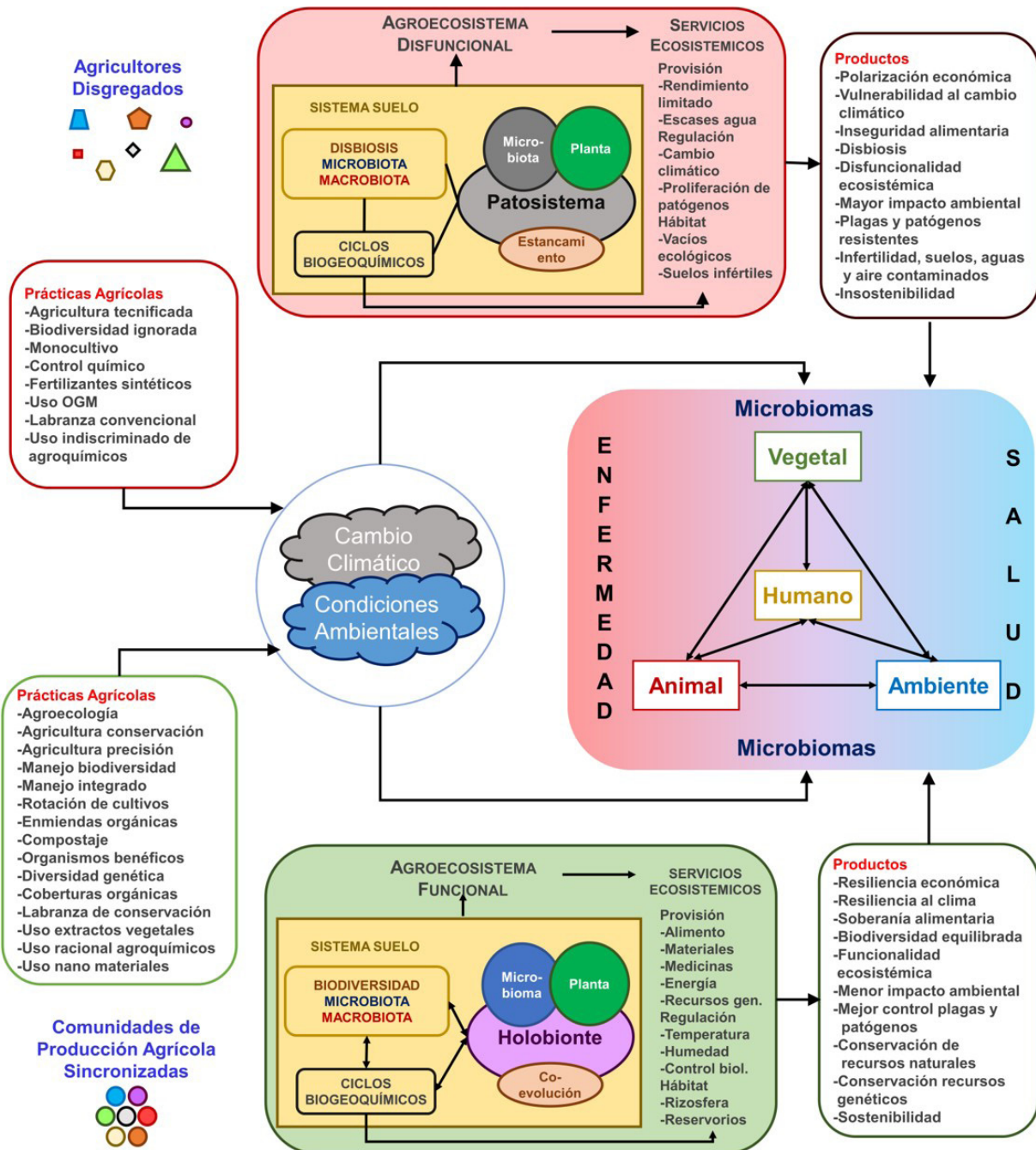


Figura 1. Impacto de biodiversidad y agricultura sostenible sobre la salud.
 Figure 1. Impact of biodiversity and sustainable agriculture on human health.

- defense system of plants (Trivedi *et al.*, 2020).
- It promotes the functionality of agro-ecosystems by improving the efficiency of nutrient cycles (Griebler and Avramov, 2015).
 - It conditions, improves and preserves the productive capacity and the functionality of soils (Saleem *et al.*, 2019; Wagg *et al.*, 2014).
 - Participating in the retention of water and having a direct bearing on the quality of soils, water and air for its ability to biodegrade toxic compounds (Subedi *et al.*, 2020; Wall *et al.*, 2015).
 - Limiting the microbial load or the proliferation of harmful pathogens to humans and animals in fresh foods. It can be established as a part of the gut microbiota, helping to modulate immune and inflammatory responses (Belkaid and Hand, 2014).
It has an impact on the nutritional and nutraceutical contents of foods (Chandra *et al.*, 2020).
 - It constitutes a source of molecules of biotechnological, pharmaceutical and industrial interest (Rana *et al.*, 2019).

The increase in the microbial diversity in agro-ecosystems related to yield and plant health (Singh *et al.*, 2020; Trivedi *et al.*, 2020), to the beneficial impact of probiotics (Infusino *et al.*, 2020; Song *et al.*, 2019; Cox *et al.*, 2013) and of foods with adequate nutritional and nutraceutical characteristics for human health (Mercado-Mercado *et al.*, 2020; Ramírez-Vega *et al.*, 2020; Stanisavljevic *et al.*, 2020) are strategies that can translate into resilience and stability for the prevention of diseases, and even against unfavorable contingencies such as the ongoing pandemic caused by the SARS-CoV-2 virus. Age, gender, chronic diseases, medications, and lifestyle are some of the risk factors for the state of COVID-19

- de nutrientes y favorece la resiliencia ante condiciones ambientales adversas (Saleem *et al.*, 2019).
- Promueve la salud vegetal al regular poblaciones de fitopatógenos y estimular el sistema de defensas de las plantas (Trivedi *et al.*, 2020).
 - Promueve la funcionalidad de agroecosistemas mejorando la eficiencia del ciclo de nutrientes (Griebler y Avramov, 2015).
 - Acondiciona, mejora y conserva la capacidad productiva y la funcionalidad de los suelos (Saleem *et al.*, 2019; Wagg *et al.*, 2014).
 - Participar en la retención de agua e incide directamente en calidad de suelos, agua y aire por su capacidad de biodegradar compuestos tóxicos (Subedi *et al.*, 2020; Wall *et al.*, 2015).
 - Limita en alimentos frescos la carga microbiana o proliferación de patógenos dañinos para humanos y animales. Se puede establecer como parte de la microbiota intestinal ayudando a modular respuestas inmune e inflamatorias (Belkaid y Hand, 2014).
 - Incide en la calidad nutricional y contenido nutracéutico de alimentos (Chandra *et al.*, 2020).
 - Constituye una fuente de moléculas de interés biotecnológico, farmacéutico e industrial (Rana *et al.*, 2019).

El incremento de la diversidad microbiana en los agroecosistemas asociado al rendimiento y salud vegetal (Singh *et al.*, 2020; Trivedi *et al.*, 2020), al impacto benéfico de probióticos (Infusino *et al.*, 2020; Song *et al.*, 2019; Cox *et al.*, 2013) y de alimentos con buenas características nutricionales y nutracéuticas sobre la salud humana (Mercado-Mercado *et al.*, 2020; Ramírez-Vega *et al.*, 2020; Stanisavljevic *et al.*, 2020), son estrategias que pueden traducirse en resiliencia y estabilidad para la prevención de enfermedades e incluso ante eventualidades desfavorables como la actual

to become serious (Chidambaram *et al.*, 2020). The nutritional state of people, derived from diets based on wholesome, quality foods along with nutritional supplements have been considered crucial in clinical responses to COVID-19, since they have a direct effect on the modulation of the immune system and inflammatory responses, weakening the impacts of the disease (Aman and Masood, 2020; Dhar and Mohanty, 2020; Infusino *et al.*, 2020; Rishi *et al.*, 2020). In this context, and in the light of the implications of chronic cardiovascular and metabolic diseases on the clinical seriousness of COVID-19, the National Public Health Institute, appointed by the Mexican Secretariat of Health, managed to promote the labelling of foods with a regulation that became effective on October 1st, 2020, as a strategy to promote healthy eating (Editor's note). It is therefore unquestionable that the agri-food sector and the production of foods play an essential part in human health, in preventing diseases and the mitigation of health emergencies such as the ongoing COVID-19 pandemic.

Dysbiosis in the technified agricultural model

Dysbiosis is a state in which microbiota is unbalanced, the key niches are not covered and the complex network of interactions of the agricultural ecosystem is not functional, leading to a state of illness (Olesen and Alm, 2016). In this context, technified agri-food production, based on the implementation of synthetic inputs to eliminate plant pathogens, has made the situation worse since, along with pest organisms, it also eliminates or affects the beneficial microbiota, and in many cases, it produces resistance in microorganisms it intends to eliminate (Thanner *et al.*, 2016). This strong disruption contributes to mutagenic processes in the microorganisms, which contributes, in some environmental conditions, to their abrupt

pandemia causada por el virus SARS-CoV-2. Se ha declarado que factores como la edad, genero, enfermedades crónicas, la medicación y el estilo de vida de los individuos, entre otros, son factores de riesgo para el desarrollo de un estado de gravedad ante COVID-19 (Chidambaram *et al.*, 2020). Se ha establecido que el estado nutricional de las personas, derivado de dietas basadas en alimentos sanos y de calidad complementadas con suplementos alimenticios, ha sido fundamental en las respuestas clínicas ante COVID-19, ya que estos inciden directamente en la modulación de las respuestas del sistema inmune e inflamatoria atenuando de los impactos de la enfermedad (Aman y Masood, 2020; Dhar y Mohanty, 2020; Infusino *et al.*, 2020; Rishi *et al.*, 2020). En este contexto, y ante la implicación de enfermedades metabólicas y cardiovasculares crónicas en la gravedad clínica del COVID-19, el Instituto Nacional de Salud Pública, adscrita a la Secretaria de Salud de México logró promover el etiquetado de alimentos con una normatividad que entró en vigor el 1 de octubre 2020 como una estrategia para fomentar el consumo de alimentos saludables (Nota del Editor). Así, es incuestionable que el sector agroalimentario y la producción de alimentos de calidad tiene un rol esencial en la salud humana, la prevención de enfermedades y la mitigación de emergencias sanitarias como la actual pandemia COVID-19.

Disbiosis en el modelo agrícola tecnificado

La disbiosis es un estado en el que la microbiota está en desequilibrio, no se cubren los nichos clave, y no es funcional la compleja red de interacciones del ecosistema agrícola, por lo que se conduce al estado de enfermedad (Olesen y Alm, 2016). En este contexto, el sistema de producción agroalimentario tecnificado, basado en la implementación de insumos sintéticos para la eliminación de fitopatógenos,

or explosive increase, leading to an environmental imbalance (Figure 2).

Hosts and microorganisms have coevolved in time to reach highly specialized symbiotic relations. Both symbionts, immersed in the evolutionary race, have developed “collaborative” or defense mechanisms (hosts) and mechanisms that help them adapt (microorganisms) as mutualists or pathogens (Hassani *et al.*, 2018; Matveeva *et al.*, 2018). This coevolution is limited or strengthened by environmental and anthropogenic conditions, and it has a considerable effect on the balance between populations with a higher degree of selective pressure. In this way, hosts, microorganisms and other living beings related to the ecological niche are subjected to a continuous adaptation, necessary to define their role in the agro-ecosystem (Thrall *et al.*, 2011) (Figure 2). The main element of the process of coevolution is genetic reciprocity; i.e., when an organism develops a trait as an adaptive response towards a factor that affects its biological aptitude, the biological counterpart will respond by generating another trait or traits which will allow them to adapt to the new trait developed by the first organism, and so on (McDonald, 2004). The generation of these traits or phenotypes is ruled by different evolutionary forces (Zhan, 2016; McDonald, 2004), thus hosts, microorganisms and other organisms related to agricultural systems coevolve, adapting to their surroundings if anthropomorphic action guarantees time as a factor of evolution. Under conditions of biodiversity and ecological balance, for every trait generated, other traits are produced which weaken it and a balance or state of health can be maintained. Under conditions of dysbiosis, such as the ones presented in a technified agricultural system, there are ecological gaps (e.g., those caused by agrochemicals), which cause the survival of a small group of individuals, which find ways to feed themselves, eventually

ha agravado la situación, ya que además de eliminar los organismos plaga también elimina o afecta la microbiota benéfica, y en muchos de los casos genera resistencia en aquellos microorganismos que pretende eliminar (Thanner *et al.*, 2016). Esta fuerte perturbación contribuye a procesos mutagénicos en los microorganismos, lo cual contribuye a que en algunas condiciones ambientales se incrementen de manera abrupta o explosiva originando un desbalance ecológico (Figura 2).

Hospederos y microorganismos han co-evolucionado a través del tiempo hasta establecer relaciones simbióticas altamente especializadas. Ambos simbioses, inmersos en la carrera evolutiva han desarrollado, por parte de los hospederos, mecanismos ‘colaborativos’ o de defensa, y por parte de los microorganismos mecanismos que les permiten adaptarse como mutualistas o como patógenos (Hassani *et al.*, 2018; Matveeva *et al.*, 2018). Esta coevolución esta limitada o potencializada por las condiciones ambientales y antropogénicas, y afectan notablemente el equilibrio entre las poblaciones mediante un mayor grado de presión selectiva. De esta manera, hospederos, microorganismos y otros seres vivos asociados al nicho ecológico estan sujetos a una adaptación continua necesaria para su definir su rol dentro del agroecosistema (Thrall *et al.*, 2011) (Figura 2). El proceso de coevolución tiene como elemento fundamental la reciprocidad genética; es decir, que cuando un organismo desarrolla un caracter como respuesta adaptativa hacia un factor que afecta su aptitud biológica, la contraparte biológica responderá generando otro carácter(es) que les permitirán adaptarse al nuevo caracter desarrollado por el primer organismo y así sucesivamente (McDonald, 2004). La generación de estos caracteres o fenotipos se rige por diferentes fuerzas evolutivas (Zhan, 2016; McDonald, 2004); así hospederos, microorganismos y otros organismos asociados a los sistemas agrícolas co-evolucionan

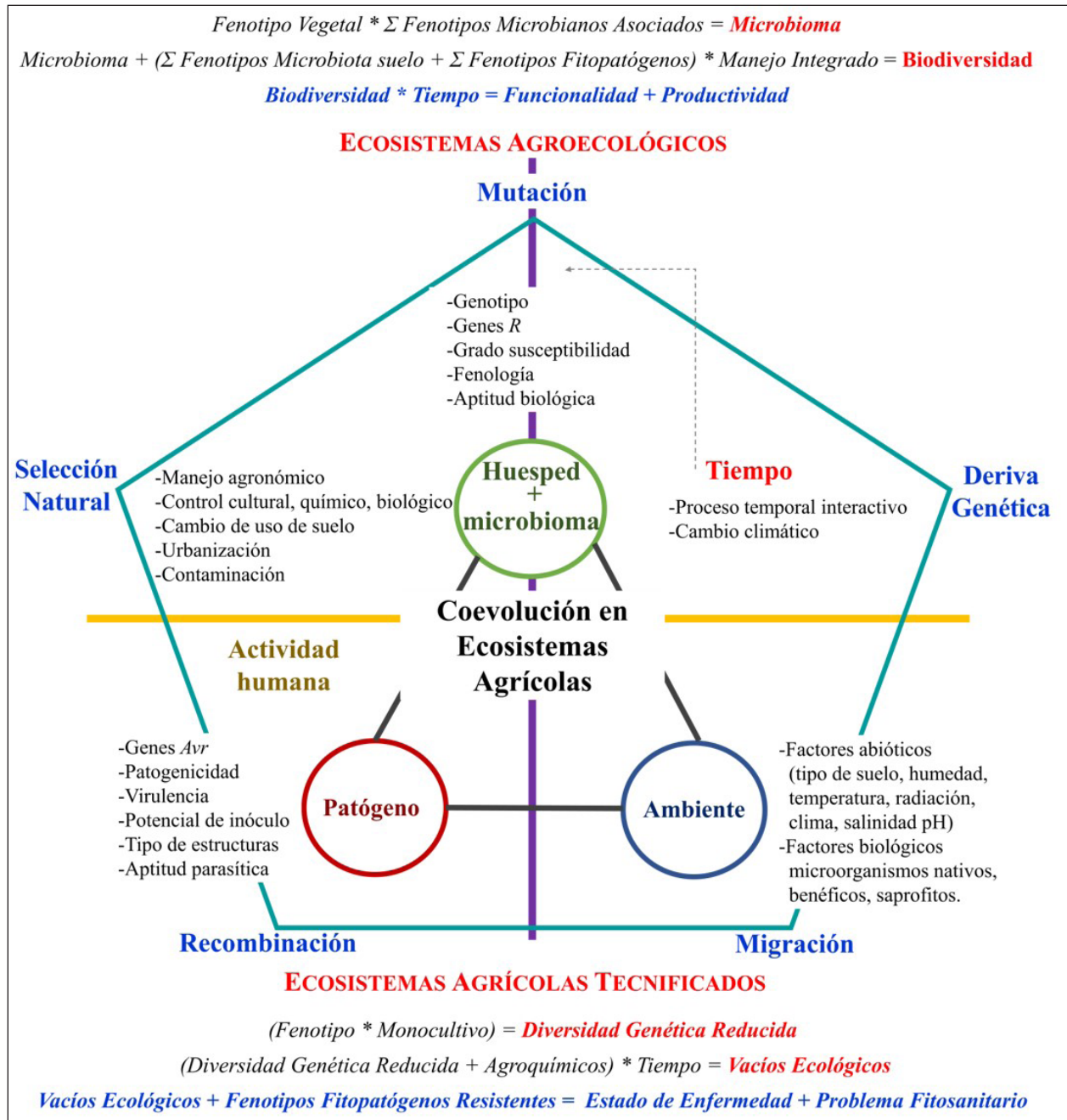


Figure 2. Effects of the co-evolution in the agroecosystems on the states of biodiversity and of dysbiosis. Figure produced by the author, based on the schemes by Zhan (2016) and Agrios (2005).

Figura 2. Efectos de la co-evolución en los agroecosistemas en estados de biodiversidad y de disbiosis. Figura de creación propia basada en los esquemas de Zhan (2016) y Agrios (2005).

leading to a state of imbalance or state of disease (Figure 2). In addition, cultural practices and the accelerated biological cycles of technified agriculture, along with the impact of urbanization, pollution and climate change on it exert great selective pressure on certain groups of beneficial organisms, making their establishment difficult in both micro and macroenvironments (Figure 2) (Tooker *et al.*, 2020). When analyzing the technified agri-food sector under this perspective, it is paradoxical to ask why there are currently human, animal and plant pathogens that are resistant to multiple factors, which become more and more difficult to control with every production cycle (Tooker *et al.*, 2020; Brown and Tillier, 2011). It is necessary to distinguish between technified productive systems, generally extensive monocultures, some of which have transgenic varieties (e.g. glyphosate-resistant soybeans or maize that has become pest-resistant due to the use of gene Bt) and traditional, subsistence or organic ones, which have a lower or null impact on soil and plant microbial systems (Editor's note).

Agri-food production models for nutrition and health

Since the so-called Green Revolution, agriculture has obtained higher yields using techniques that cause an economic and social imbalance (Chávez-Díaz *et al.*, 2020). Production yield has increased using water technologies, nutrients, weed and pathogen control, and the use of varieties that are generally resistant to biotic and abiotic factors. However, productivity and the development of agriculture to guarantee world food security (Ecker *et al.*, 2011) forces us to search for productive models and technologies based on the use of alternatives, which not only maintain the balance of the microbiota of the agrosystem, but also increase crop yields, inhibit the growth of

adaptándose a su medio, sí la acción antropomórfica garantiza el tiempo como factor de evolución. En condiciones de biodiversidad y equilibrio ecológico, por cada carácter generado, se generan otros caracteres que lo atenuan y pueden mantenerse un equilibrio, un estado de salud. En condiciones de disbiosis, como las que se presentan en un sistema agrícola tecnificado, existen vacíos ecológicos (p.e., los ocasionados por los agroquímicos), que ocasionan la sobrevivencia de un pequeño grupo de individuos, los cuales encontrarán formas de alimentarse y que eventualmente conducen a un estado de desequilibrio o estado de enfermedad (Figura 2). Además, las prácticas culturales y los ciclos biológicos acelerados de la agricultura tecnificada, y el impacto de la urbanización, contaminación y cambio climático sobre esta, ejercen una fuerte presión selectiva sobre ciertos grupos de organismos benéficos, dificultando su establecimiento a nivel micro y macroambiente (Figura 2) (Tooker *et al.*, 2020). Al analizar bajo este punto de vista al sector agroalimentario tecnificado, resulta paradójico cuestionar porque actualmente se encuentran patógenos de humanos, animales y plantas resistentes a múltiples factores, que ciclo con ciclo productivo resultan más difíciles de controlar (Tooker *et al.*, 2020; Brown y Tillier, 2011). Es necesario diferenciar los sistemas productivos tecnificados, generalmente monocultivos extensivos, algunos con variedades transgénicas (p.e. de soya resistente al glifosato o el maíz resistentes a plagas mediante el gen Bt) de aquellos tradicionales, subsistencia u orgánicos, los cuales tiene un menor o nulo impacto en los sistemas microbianos del suelo y vegetal (Nota del Editor).

Modelos de producción agroalimentaria para la nutrición y la salud

A partir de la llamada revolución verde, la agricultura ha obtenido mayores rendimientos utilizando

pests and diseases in plants, allow the conservation of natural productive assets, contribute to caring for the environment and benefit humanity from a comprehensive scheme, including respect for the productive knowledge and cultural values. These models include organic agriculture, synchronous agricultural production, polyculture or mixed crop systems, minimal tilling, no tilling, and the use of composting technology, the improvement of soils with beneficial microorganisms, biopesticides, nanoparticles or plant extracts, and others (Figure 2).

Synchronic farming communities offer a better management of resources, the conservation of means of production and the environment, and they are economically and socially responsible, since they provide local and international distribution chains with stability and resilience (Marsden and Smith, 2005). The pragmatic application of this approach is represented in rural cooperatives with variations, depending on the productive philosophy.

Organic agriculture avoids the use of synthetic inputs and is based mainly on crop rotations, the use of animal manure (e.g., chicken manure, bovine manure, etc.) and crop residues as soil improvement and nutrient-mobilizing and plant-protecting biological systems (Patle *et al.*, 2020).

Conventional tilling modifies the structure of the soil surface and the continuity of porous space and reduces the content of organic matter, therefore it drastically reduces microbiota related to the agricultural ecosystem (Alonso-Báez *et al.*, 2011). Other types of tilling have been evaluated to understand the benefits they provide to the stability of the soil microbiota; particularly minimum tilling, which maintains a greater richness and uniformity of the microbial community, as well as a functional diversity of microorganisms involved in biogeochemical cycles (Legrand *et al.*, 2018).

Composts are organic amendment that stimulate microbiological process for the decomposition of

técnicas que rompen el equilibrio de los agrosistemas y que provocan un desvalance económico y social (Chávez-Díaz *et al.*, 2020). El rendimiento productivo se ha incrementado mediante tecnologías del agua, nutrientes, control de malezas y fitopatógenos, y empleo de variedades generalmente resistentes a factores bióticos y abióticos. Sin embargo, la productividad y desarrollo de la agricultura para garantizar la seguridad alimentaria mundial (Ecker *et al.*, 2011), obliga a buscar modelos productivos y tecnologías basadas en el empleo de alternativas, que además de mantener el equilibrio de la microbiota del agrosistema, incrementen el rendimiento de los cultivos, inhiban el crecimiento de plagas y enfermedades vegetales, permitan la conservación de activos productivos naturales, contribuyan el cuidado del ambiente y beneficien a la humanidad desde un esquema integral, incluyendo el respeto a los saberes y valores culturales productivos. Dentro de estos modelos, destacan la agricultura orgánica, producción agrícola sincrónica, sistemas de policultivo o cultivos mixtos, labranza mínima, labranza cero, y el empleo de tecnologías de composteo, mejora de suelos con microorganismos benéficos, biopesticidas, nanopartículas o extractos vegetales, entre otras (Figura 2).

Las comunidades de producción agrícola sincrónicas, permiten tener un mejor manejo de los recursos, la conservación de los medios de producción y el ambiente, son económica y socialmente responsables al aportar estabilidad y resiliencia a las cadenas de distribución local e internacional (Marsden y Smith, 2005). La aplicación pragmática de este enfoque está representado en cooperativas de producción rural, con variantes según la filosofía productiva.

La agricultura orgánica evita el uso de insumos sintéticos y se basa principalmente en rotaciones de cultivos; uso de abonos de animales (p.e. gallinaza, bobinaza) y residuos de cultivos como mejoradores de suelo y sistemas biológicos de movilización

organic matter when used as a source of carbon and energy. The main benefits of carbon are the supply of nutrients, carbon sequestration, the induction of pest and pathogen suppressiveness, the improvement of soil structure, biodiversity, retention of soil moisture and reduction of soil erosion, and the increase of enzyme activity and microbial biomass, all of which contributes towards the increase of crop yields (Martínez-Blanco *et al.*, 2013). Regarding the use of secondary metabolites and nanoparticles as biological control products, there is imprecise or contrasting information on the effect of these products on the composition of microbiota related to the soil. However, one can assume that they exert some type of modification with a still unevaluated scope.

The integration of strategies is a logical alternative, but it requires the scientific backup to optimize the cost-benefit. The combination of conservation agriculture, bioproducts, composts, nanoparticles or plant extracts under an organic agriculture model has displayed promising effects. The study, validation and implementation of the combination of several alternative techniques in agricultural production is a field of action that can be developed to generate a sustainable form of agriculture, considering the nutritional and health needs of the population. However, public research planning and investment policies must foster technological development for sustainable agriculture, that is, creating or optimizing dynamic regional agricultural systems that mitigate or eliminate environmental damages related to technified agriculture and that prioritize the production of sufficient food with nutritional and nutraceutical characteristics that ensure human health (Goicochea and Antolín, 2017). The purpose is to position agriculture within a holistic context and recover its humanistic condition (Horrihan *et al.*, 2002). However, it is worth acknowledging

de nutrientes y protección de plantas (Patle *et al.*, 2020).

La labranza convencional es una práctica que modifica la estructura de la capa superficial del suelo, la continuidad del espacio poroso y reduce el contenido de materia orgánica, por lo que disminuye drásticamente la microbiota asociada al ecosistema agrícola (Alonso-Báez *et al.*, 2011). Otros tipos de labranza se han evaluado para conocer los beneficios que aportan a la estabilidad de la microbiota del suelo; específicamente la labranza mínima, la cual mantiene una mayor riqueza y uniformidad de la comunidad microbiana, así como diversidad funcional de microorganismos involucrados en ciclos biogeoquímicos (Legrand *et al.*, 2018).

Las compostas son enmiendas orgánicas que estimulan procesos microbiológicos para la descomposición de materia orgánica mediante su empleo como fuente de carbono y energía. Los principales beneficios de las compostas son el suministro de nutrientes, secuestro de carbono, inducción de supresividad de plagas y patógenos, mejora de la estructura del suelo, biodiversidad, retención de humedad del suelo y disminución de la erosión del suelo, e incremento en la actividad enzimática y biomasa microbiana, todo lo cual contribuye al incremento del rendimiento de cultivos (Martínez-Blanco *et al.*, 2013). En cuanto al empleo de metabolitos secundarios y nanopartículas como productos de control biológico, existe información imprecisa o contrastante sobre el efecto de estos productos en la composición microbioata asociada al suelo. Sin embargo, se puede suponer que ejercen algún tipo de modificación cuyo alcance no se ha evaluado.

La integración de estrategias es una alternativa lógica, pero requiere el soporte científico que permita optimizar el beneficio-coste. La combinación de labranza de conservación, bioproductos, compostas, nanopartículas o extractos vegetales bajo

the great political, governmental and geoeconomic challenges to be overcome on a global, national and local scale, for both the design and implementation of a more sustainable agri-food development (Antle and Ray, 2020).

Microbial genetic resources for a sustainable agriculture

One out of every nine people in the world (820 million) suffers from chronic starvation and over 2 million suffer nutritional deficiency (Usher *et al.*, 2020). In addition to this, the COVID-19 pandemic has further destabilized global food production and food security (Khan *et al.*, 2020). In this sense, the current interruption in the continuous food supply is an enormous problem, due to the risk of contagion of SARS-CoV-2 among the staff hired for the harvest, processing, transportation and distribution of food (Henry *et al.*, 2020). The same applies for people who operate the production and supply of inputs needed for agriculture, leading to shortages of such as glass, cardboard and wood needed for containers and packaging, as well as of fuels, fertilizers, herbicides, pesticides, seeds, etc. (Marlow *et al.*, 2020). This has led to reduced incomes for producers, fluctuations in prices and instability in the supply of basic foods, severely affecting nutrition worldwide, and a reduction of up to 22% of the global market.

Thus, the creation and use of easy-access, efficient, economically feasible, socially fair and sustainable agro-biotechnology developed by the same countries is decisive for the production of foods of high nutritional quality and the reduction of vulnerable groups, which would guarantee food security and national sovereignty. Among the most promising strategies are the use of the genetic and metabolic diversity of the microbial genetic resources (MGR) found in agro-ecosystems. This

un modelo de agricultura orgánica han evidenciado resultados prometedores. El estudio, validación e implementación de la combinación de varias técnicas alternativas en la producción agrícola es un campo de acción que puede desarrollarse para la generación de una agricultura sostenible considerando las necesidades nutricionales y de salud de la población. Sin embargo, las políticas públicas de planeación e inversión en investigación deben propiciar el desarrollo tecnológico para una agricultura sustentable. Esto es, crear u optimizar sistemas agrícolas regionales dinámicos que mitiguen o eliminen los daños ambientales asociados con la agricultura tecnificada y que tengan la prioridad de producir alimentos en cantidad suficiente con características nutricionales y nutracéutica que aseguren la salud humana (Goicochea y Antolín, 2017). El propósito es posicionar a la agricultura dentro de un contexto holístico y rescatar su contribución humanística (Horrigan *et al.*, 2002). Se debe reconocer, sin embargo, los grandes desafíos políticos, gubernamentales y geoeconómicos que deben superarse a nivel mundial, nacional y local, tanto para el diseño como para la implementación de las vías de desarrollo agroalimentario más sostenible (Antle y Ray, 2020).

Recursos genéticos microbianos para una agricultura sostenible

En el mundo, una de cada nueve personas, un total de 820 millones, sufre de hambre crónica y más de 2 millones sufre de deficiencia nutricional (Usher *et al.*, 2020). Aunado a esto, la pandemia COVID-19 ha desestabilizado aún más la producción de alimentos y la seguridad alimentaria global (Khan *et al.*, 2020). Actualmente, la interrupción del suministro continuo de alimentos es un fuerte problema debido a la reducción de actividades por riesgos de contagio del SARS-CoV-2 entre el per-

microbiota, as mentioned earlier, is an important component to maintain the chemical and biological fertility of the soil. Inside the microbiota is a group of Plant Growth-Promoting Microorganisms (PGPM) (Valenzuela-Aragon *et al.*, 2019), which interact with the crops through direct and/or indirect action mechanisms, regulating their growth, the production and quality of products by increasing the tolerance of plants to abiotic and biotic stress, improving their nutrition and generating antagonism against phytopathogens and some root pests.

Nowadays, and in the light of the ongoing pandemic, the use of PGPM is an efficient and sustainable alternative for the agricultural sector (Chávez-Díaz *et al.*, 2020). The beneficial effect of PGPM on crops is a result of several microbial interaction mechanisms with plants, the main ones of which are (Valenzuela-Ruiz *et al.*, 2018; Villarreal-Delgado *et al.*, 2018):

- The biological fixation of atmospheric nitrogen
- The solubilization of minerals
- The induction of plant growth regulators
- The mineralization of organic compounds
- The production of antibiotics
- The production of hydrolytic enzymes
- The biosynthesis of siderophores
- The production of exopolysaccharides
- The induction of systemic responses

The use of PGPM has been proven to lead to increases in the productivity and quality of foods, reducing economic and environmental costs produced by the increased use of synthetic agricultural inputs. For example, Adesemoye *et al.* (2009) inoculated a microbial consortium composed of *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. pumilus* and *Glomus intraradices* on tomato, (*Solanum* sp.) planted with 25% less than the

sonal empleado en cosecha, procesamiento, transporte y distribución de alimentos (Henry *et al.*, 2020). Así mismo, en el personal que opera la producción y suministro de insumos requeridos para la agricultura causando desabasto de vidrio, cartón y madera requeridos para recipientes y embalaje, y de combustibles, fertilizantes, herbicidas, plaguicidas y semillas etc. (Marlow *et al.*, 2020). Esto ha generado menores ingresos para productores, fluctuación de precios e inestabilidad en la provisión de alimentos básicos, afectando severamente la nutrición a nivel mundial, y una reducción de hasta un 22% del mercado global de alimentos.

La generación y aplicación de agro-biotecnologías desarrolladas por los propios países, fácilmente accesibles, eficientes, económicamente viables, socialmente justas, y sostenibles es determinante para la producción de alimentos de alta calidad nutricional y la reducción de los grupos vulnerables, lo que garantizaría la seguridad alimentaria y la soberanía nacional. Entre las estrategias promisorias destaca el aprovechamiento de la diversidad genética y metabólica de los recursos genéticos microbianos (RGM) presentes en los agroecosistemas. Esta microbiota, como ya se mencionó, es un componente importante para mantener la fertilidad química y biológica del suelo. Dentro la microbiota, existe un grupo de microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV) (Valenzuela-Aragon *et al.*, 2019), los cuales interactúan con los cultivos a través de mecanismos de acción directos y/o indirectos, regulando su crecimiento, producción y calidad de los productos al aumentar la tolerancia de las plantas al estrés abiótico y biótico, mejorar su nutrición y generar antagonismo contra fitopatógenos y algunas plagas de raíz.

La actual pandemia, el uso de MPCV representa una alternativa eficaz y sostenible para el sector agrícola (Chávez-Díaz *et al.*, 2020). El efecto benéfico de MPCV en los cultivos es resultado de

recommended amount of fertilizer with a similar effect to the conventional fertilization dose. This consortium improved crop growth, yield, and nutrient absorption (nitrogen and phosphorous). On the other hand, Bakhshandeh *et al.* (2017) reported that the inoculation of *Pantoea ananatis*, *Rahnella aquatilis* and *Enterobacter* sp. on rice (*Oryza* sp.) seeds significantly increased plant height, foliar biomass and potassium absorption in leaves, stem and root. Similarly, Robles-Montoya *et al.* (2020) reported that the inoculation of *Bacillus cabrialesii*, *B. paralicheniformis* and *B. subtilis* on wheat (*Triticum* sp.) seedlings significantly increased the length and dry weight of the aerial section, root length, stem diameter and the biovolume index. Similar results were found in *B. megaterium* and *B. paralicheniformis* (Rojas-Padilla *et al.*, 2020).

The use of the crop-related microbial biodiversity through the MGR of the planet is a sustainable alternative to boost food production with a high nutritional value, in the light of the problems related to the ongoing pandemic. In this sense, the preservation of MGRs is decisive to preserve the beneficial microbiota found in agroecosystems and to provide authentic, stable and biosafe biological material for the development of efficient microbial inoculants (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2021).

Conservation of microbial genetic resources

The conservation of microbial genetic resources (MGR) is crucial to provide relevant technological solutions to the problems faced by human society. The current and future use of these resources is the most important activity of conservation centers, germplasm banks and collections of macro and microorganisms, by means of *in situ*, *ex situ*, and *in-factory* conservation procedures and strategies, mainly in world crises such as the COVID-19

diversos mecanismos de interacción microbiana con las plantas, entre los que destacan (Valenzuela-Ruiz *et al.*, 2018; Villarreal-Delgado *et al.*, 2018):

- Fijación biológica del nitrógeno atmosférico
- Solubilización de minerales
- Inducción de reguladores de crecimiento vegetal
- Mineralización de compuestos orgánicos
- Producción de antibióticos
- Producción de enzimas hidrolíticas,
- Biosíntesis de sideróforos,
- Producción de exopolisacáridos,
- Inducción de respuesta sistémica

Se ha comprobado que el uso de MPCV incrementa la productividad y calidad de los alimentos, reduciendo costos económicos y ambientales, los daños directo a la salud humana generados por la aplicación excesiva de insumos agrícolas sintéticos. Por ejemplo, Adesemoye *et al.* (2009) inocularon un consorcio microbiano integrado por *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. pumilus* y *Glomus intraradices* a jitomate (*Solanum* sp.) cultivado requiriendo 25% menos del fertilizante recomendado con un efecto similar que la dosis de fertilización convencional. Este consorcio mejoró el crecimiento del cultivo, rendimiento y absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Análogamente, Bakhshandeh y colaboradores (2017) reportaron que la inoculación de *Pantoea ananatis*, *Rahnella aquatilis* y *Enterobacter* sp. en semillas de arroz (*Oryza* sp.) incrementó significativamente altura de planta, la biomasa foliar y la absorción de potasio por hojas, tallo y raíz. De manera similar, Robles-Montoya *et al.* (2020) reportaron que la inoculación de *Bacillus cabrialesii*, *B. paralicheniformis* y *B. subtilis* a plántulas de trigo (*Triticum* sp.) incrementó significativamente la longitud y peso seco del dosel aéreo, longitud de raíz, diámetro del tallo, y el índice de biovolumen. Similares resultados fueron encontrados

pandemic (Khoury *et al.*, 2010; Mishra *et al.*, 2020; Sung and Hwang, 2015). Mexico has made an effort, in the past 20 years, to establish conservation and investigation centers or laboratories with high-end, specialized human resources (Ayala-Zepeda *et al.*, 2021, in this section) (Figures 3, 4). This effort includes the National Genetic Resource Center of the National Forestry, Agriculture and Livestock Research Center (Centro Nacional de Recursos Genéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, or CNRG-INIFAP). The CNRG is the first center of its kind in Mexico with the mission of conserving and preserving the MGR of the country related to the agri-food sector to guarantee the well-being of present and future generations. It has been estimated that the CNRG will be the world's most complete beneficial microbe and plant germplasm bank in the world (SADER, 2016) (Figure 3).

The activities of the Microbial Genetic Resources Laboratory (*Laboratorio de Recursos Genéticos Microbianos*) of the CNRG-INIFAP include the constant search for microbial genetic resources of agricultural interest, which are characterized and identified using different microbiological techniques, valued for their possible agrobiotechnological use or as taxonomic reference material, and the study of biodiversity in the agroecosystems from the application of omic sciences.

Fifty percent of the planet's living biomass is said to be of microbial nature, and although its empirical use has existed for millennia, its systematic study began in the late 19th century with L. Pasteur, R. Koch, F. Cohn, A De Bary, G.A. Hansen and others, motivated by diseases and epidemics in plants, humans and animals (Mora-Aguilera *et al.*, 2021 in Section 1). The etiological transition to technology implied escalating the cultivation of microorganisms in specialized laboratories to

con *B. megaterium* y *B. paralicheniformis* (Rojas-Padilla *et al.*, 2020).

El uso de la diversidad microbiana asociadas a los cultivos, a través de los RGM del planeta, representa una alternativa sostenible para potenciar la producción de alimentos con alto valor nutricional, ante los problemas asociados a la pandemia actual. En este sentido, la conservación de los RGM es determinante para preservar la microbiota benéfica presente en los agroecosistemas y proveer material biológico auténtico, estable y bioseguro para el desarrollo de inoculantes microbianos eficientes (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2021).

Conservación de recursos genéticos microbianos

La conservación de los recursos genéticos microbianos (RGM) es crucial para proveer soluciones tecnológicas relevantes a los problemas de la sociedad humana. El uso actual y futuro de estos recursos es la actividad más importante de centros de conservación, bancos de germoplasma y los acervos de macro y microorganismos, mediante procedimientos y estrategias de conservación *in situ*, *ex situ*, e *in-factory*, principalmente en crisis mundiales como la pandemia COVID-19 (Khoury *et al.*, 2010; Mishra *et al.*, 2020; Sung and Hwang, 2015). México ha realizado un esfuerzo en los últimos 20 años por establecer centros o laboratorios de preservación e investigación con recurso humano especializado del más alto nivel (Ayala-Zepeda *et al.*, 2021, en esta Sección) (Figura 3, 4). Este esfuerzo incluye al Centro Nacional de Recursos Genéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (CNRG-INIFAP). El CNRG es el primer centro de su tipo en México con la misión de conservar y preservar RGM del país asociados al sector agroalimentario para garantizar el bienestar de las generaciones presentes y futuras. Se estima que el CNRG constituirá



Figure 3. The National Genetic Resource Center of the National Forestry, Agriculture and Livestock Research Center (Centro Nacional de Recursos Genéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, or CNRG-INIFAP), created to preserve and protect the beneficial microbe and plant biodiversity related to the Mexican agri-food sector. Researchers of the Microbial Genetic Resources Laboratory (*Laboratorio de Recursos Genéticos Microbianos*) working on the identification of agriculturally important fungi and the conservation of plant growth-promoting bacteria.

Figura 3. Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), creado para preservar y proteger la biodiversidad vegetal y microbiana benéfica asociada al sector agroalimentario mexicano. Investigadores del *Laboratorio de Recursos Genéticos Microbianos* trabajando en la identificación de hongos de importancia agrícola y la conservación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal.

generate biotechnological developments applicable to agriculture (Desmeth, 2017). In this context, an MGR can be defined as any microbial strain that is authenticated, taxonomically defined, physiologically characterized, with quality control, well-documented and with real or potential value (Sharma *et al.*, 2018) (Figure 4). The 758 collections registered in the World Data Center for Microorganisms (WDCM)(<http://www.wdcm.org/>) facilitate the study of MGRs, since they help find taxonomic reference material and systematize archives on microbial biological diversity in the wide symbiotic spectrum.

Most of these biological resource conservation centers follow the guidelines of the World Federation for Culture Collections (WFCC) (<http://www.wfcc.info/>), the practices of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (<https://www.oecd.org/>), and the regulations for the access and donation of biological organisms of the Nagoya Protocol on the Convention on Biological Diversity (CBD) (<https://www.cbd.int/abs/>), as well as depositing the inventories of their collections in the Global Catalogue of Microorganisms (GCM) (<http://gcm.wdcm.org/>) to promote the visibility and accessibility of the strains that these centers conserve (Pilling *et al.*, 2020).

The CBD, the international instrument for the conservation of biological diversity, acquires great relevance in these moments, considering that all evidence indicates that the ongoing biodiversity crisis is one of the main factors in the emergence of SARS-CoV-2 (Hossain *et al.*, 2020). Furthermore, the impact of the COVID-19 pandemic on the operation and the conservation status of genetic resources worldwide has undergone scarce evaluation and it is too soon to evaluate its effects (Neupane, 2020). However, both positive and negative consequences are expected, mainly on the inclusion of considerations on human health

el banco de germoplasma microbiano benéfico y vegetal más completo del mundo (SADER, 2016) (Figura 3).

Las actividades del *Laboratorio de Recursos Genéticos Microbianos* del CNRG-INIFAP incluyen la constante búsqueda de recursos genéticos microbianos de interés agrícola, los cuales son caracterizados e identificados por diversas técnicas microbiológicas, valorados para su posible aprovechamiento agrobiotecnológico o como material de referencia taxonómica, y el estudio de la biodiversidad en los agroecosistemas a partir de la aplicación de las ciencias ómicas.

Se estima que 50 por ciento de la biomasa viva del planeta es de naturaleza microbiana y aunque su uso empírico ha existido durante milenios, su estudio sistemático comenzó a fines del siglo XIX con L. Pasteur, R. Koch, F. Cohn, A. De Bary, G.A. Hansen y otros, incentivados por precisamente por enfermedades y epidemias en plantas, humanos y animales (Mora-Aguilera *et al.*, 2021 en Sección 1). La transición etiológica a la tecnológica implicó escalar el cultivo de microorganismos en laboratorios especializados para generar desarrollos biotecnológicos aplicables a la agricultura (Desmeth, 2017). En este contexto, un RGM se puede definir como cualquier cepa microbiana que este autenticada, definida taxonómicamente, caracterizada fisiológicamente, con control de calidad, bien documentada, y con valor potencial o real (Sharma *et al.*, 2018) (Figura 4). Las 758 colecciones registradas en el *Centro Mundial de Datos para Microorganismos* (WDCM, por sus siglas en inglés)(<http://www.wdcm.org/>) facilitan el estudio RGM ya que permite encontrar material de referencia taxonómica y sistematiza acervos de diversidad biológica microbiana en el amplio espectro simbiótico.

La mayoría de estos centros de conservación de recursos biológicos siguen las pautas de la *Federación Mundial de Colecciones de Cultivos* (WFCC,

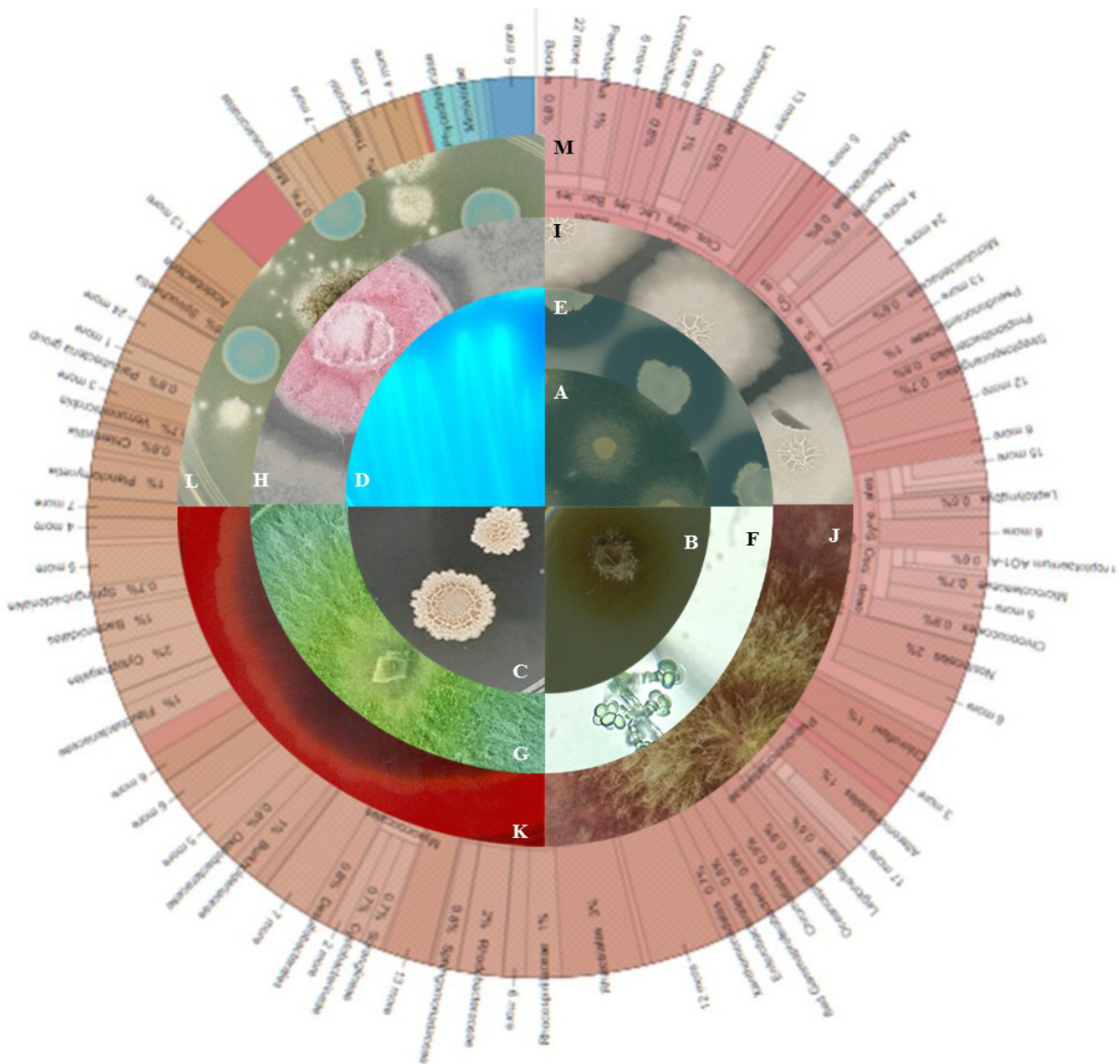


Figure 4. Mexican microbial strains in the process of characterization for their incorporation into the Collection of Microorganisms of the CNRG INIFAP. A) *Pseudomonas* sp. with lipolytic ability; B) *Trichoderma* sp. with lignolytic ability; C) culture of *Bacillus subtilis*; D) *Pseudomonas fluorescens* under ultraviolet light; E) *Pseudomonas protegens* with phosphate-solubilizing ability; F) Structures of *Trichoderma* sp. observed under the microscope; G) *Trichoderma* sp. with plant growth-promoting ability; H) *Bacillus* sp. reducing the growth of *Fusarium* sp; I) *Bacillus amilolyquefaciens*; J) *Fusarium boothii* culture; K) *Trichoderma* sp. with cellulolytic ability; L) *Pseudomonas* sp. reducing the growth of *Aspergillus* sp; M) Preliminary exploratory study of metatranscriptome related to chili pepper plants (*Capsicum* sp).

Figura 4. Cepas microbianas mexicanas en proceso de caracterización para su incorporación a la Colección de Microorganismos del CNRG INIFAP. A) *Pseudomonas* sp. con capacidad lipolítica; B) *Trichoderma* sp. con capacidad lignolítica; C) colonia de *Bacillus subtilis*; D) *Pseudomonas fluorescens* bajo luz ultravioleta; E) *Pseudomonas protegens* con capacidad solubilizadora de fosfatos; F) Estructuras de *Trichoderma* sp. observada al microscopio; G) *Trichoderma* sp. con capacidad promotora de crecimiento vegetal; H) *Bacillus* sp. reduciendo el crecimiento de *Fusarium* sp; I) *Bacillus amilolyquefaciens*; J) colonia de *Fusarium boothii*; K) *Trichoderma* sp. con capacidad celulolítica; L) *Pseudomonas* sp. reduciendo el crecimiento de *Aspergillus* sp; M) Estudio exploratorio preliminar de metatranscriptoma asociado a chile (*Capsicum* sp).

in the planning of land use, the strengthening of links between health and biological diversity to support preventive health approaches, as well as the development of biodiversity legislation, regulation and management aspects in the face of future crises (Bang and Khadakkar, 2020). For example, the diversity of coronaviruses in bats, as a strategy for the prevention of diseases in humans, has been studied for over 10 years, motivated by the emergence of zoonotic diseases SARS-CoV (2003) and MERS-CoV (2012). However, the importance of studies on diversity for human health is now unquestionable, therefore national and international programs for their study have been created or strengthened (Editor's note).

The COVID-19 pandemic puts into perspective the importance of preserving MGR with potential for food security, which involves *in vivo* microbiota and the genomic, proteomic and metabolomic archives. However, there are still knowledge gaps related to the diversity of microorganisms in agro-ecosystems, the identification and characterization of species of diverse taxonomic and functional groups, the biological mechanisms in interaction processes, the participation of MGRs in the supply of services in agro-ecosystems and agri-food production, as well as the effect of climate and microenvironmental changes produced by agricultural practices and the use of synthetic inputs (Sandoval-Cancino *et al.*, 2022; Córdova-Albores *et al.*, 2021; Pilling *et al.*, 2020). On the other hand, the biodiversity of MGRs is dwindling in agro-ecosystems due to the destruction of habitats, the inadequate use of pesticides, the effects of climate change, and others (FAO, 2019). In this context, MGR conservation centers provide valuable biological resources for agricultural, agro-industrial scientists and farmers, since they keep and provide strains or isolations of beneficial microorganisms for different agricultural crops and plantations, authentic reference strains

por sus siglas en inglés) (<http://www.wfcc.info/>), las prácticas de la *Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico* (OECD, por sus siglas en inglés) (<https://www.oecd.org/>), y las regulaciones para el acceso y donación de organismos biológicos del *Protocolo de Nagoya de la Convención sobre la Diversidad Biológica* (CBD, por sus siglas en inglés) (<https://www.cbd.int/abs/>), además de depositar los inventarios de sus colecciones en el *Catálogo Mundial de Microorganismos* (GCM) (<http://gcm.wdcm.org/>) para propiciar la visibilidad y accesibilidad de la cepas que conservan dichos centros (Pilling *et al.*, 2020).

La CBD, el instrumento internacional para la conservación de la diversidad biológica, toma gran relevancia en estos momentos, considerando que las evidencias señalan que la actual crisis de biodiversidad es uno de los factores principales en la emergencia del SARS-CoV-2 (Hossain *et al.*, 2020). Más aun, el impacto de la pandemia COVID-19 sobre la operación y estatus de conservación de recursos genéticos a nivel mundial ha sido poco evaluada y es demasiado pronto para valorar sus efectos (Neupane, 2020). Sin embargo, se esperan consecuencias positivas y negativas, principalmente sobre la inclusión de consideraciones sobre salud humana en la planificación del uso de la tierra, el fortalecimiento de los vínculos entre salud y diversidad biológica para apoyar enfoques preventivos de la salud, así como el desarrollo de aspectos de legislación, regulación y estrategias de manejo de la biodiversidad ante futuras crisis (Bang y Khadakkar, 2020). Por ejemplo, la diversidad de coronavirus en murciélagos, como estrategia de prevención de enfermedades en humanos, se ha estudiado desde hace más de 10 años incentivados por la emergencia de las enfermedades de origen zoonótico SARS-CoV (2003) y MERS-CoV(2012). Sin embargo, ahora es incuestionable la importancia de los estudios de diversidad para la salud humana

with taxonomic value for research purposes. The development of human resources with an expertise in classic and molecular microbiological management, as well as in the comprehension of plant-microorganism interactions is also a fundamental contribution (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2021; Soltanighias *et al.*, 2018).

Apart from the previsions implemented worldwide on the importance of the conservation of MGRs in emergencies such as the COVID-19 pandemic, dissemination on the role MGRs play in the food security of each country is necessary, implementing participatory channels throughout the productive, academic and commercial sectors involved in guaranteeing the regional agricultural produce. The *AgroEvent 'Productos biológicos; una herramienta para potenciar el campo mexicano' (Biological products; a tool to strengthen the Mexican countryside)*, organized by the INIFAP and the Technological Institute of Sonora (Instituto Tecnológico de Sonora) on November 27th, 2020, and its second edition *'Microorganismos para el Desarrollo sostenible del sector agropecuario de México' (Microorganisms for the Sustainable Development of the Mexican Agricultural Sector)* illustrates this strategy (<http://cmcnrg.inifap.gob.mx/agroevento/>; t.ly/RjAh). Its aim was to provide a space to connect and to disseminate information on the use of biological products in agriculture and the importance of effective cost-benefit technologies for the sustainable innovation of technified agricultural production in Mexico. The event, in its two editions, had the institutional participation of Mexican scientists involved in the development and conservation of organisms with a potential for biological control and the implementation of sustainable and profitable agrobiotechnologies for different productive actors. The dissemination of the event via different media led to an attendance of 1,582 people from eight Latin American countries.

por lo que se han creado o fortalecidos programas nacionales e internacionales para su investigación (Nota del Editor).

La pandemia COVI-19 pone en perspectiva la importancia de la conservación de RGM con potencial para la seguridad alimentaria, la cual involucra la microbiota *in vivo* y los acervos genómicos, proteómicos y metabolómicos. Sin embargo, aún existen lagunas de conocimiento relacionadas con la diversidad de microorganismos en agroecosistemas; la identificación y caracterización de especies de diversos grupos taxonómicos y funcionales; los mecanismos biológicos en los procesos de interacción; la participación que tiene los RGM en el suministro de servicios en agroecosistemas y la producción agroalimentaria; así como el efecto de los cambios climáticos y microambientales conferidos por prácticas agrícolas y el empleo de insumos sintéticos (Sandoval-Cancino *et al.*, 2022; Córdova-Albores *et al.*, 2021; Pilling *et al.*, 2020). Por otra parte, la biodiversidad de los RGM está disminuyendo en los agroecosistemas, por la destrucción del hábitat, el uso inadecuado de pesticidas y otros insumos agrícolas, los efectos del cambio climático, entre otros (FAO, 2019). En este contexto, los centros de conservación RGM proporcionan valiosos recursos biológicos para científicos agrícolas, agroindustria y agricultores, al mantener y proveer cepas o aislados de microorganismos benéficos para diferentes cultivos agrícolas y plantaciones, cepas de referencia auténticas con valor taxonómico para fines de investigación. El desarrollo de recursos humanos expertos en manejo microbiológico clásico y molecular, y en la comprensión de las interacciones planta-microorganismo también constituye un aporte esencial (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2021; Soltanighias *et al.*, 2018).

Además de las previsions implementadas a nivel mundial sobre la importancia de la conservación de los RGM ante emergencias como

This indicates the great interest and potential of MGR in agriculture and the vitality of this activity in times of COVID-19.

CONCLUSIONS

This document reassessed the role of the agri-food sector in the light of the current world crisis caused by the COVID-19 pandemic. Based on the premise that the supply of food for the world's population, along with plant health as an essential activity to achieve an optimum yield, are ecosystemic services that rely broadly on the microbiota of the soil and agro-ecosystems, we can argue that biodiversity translates into balance, functionality, productivity and health. Thus, the suppressiveness of plant pathogens is only one benefit of edaphic microbiota. On the other hand, some microorganisms in agroecosystems integrate into the human gut microbiota, contributing towards the prevention of diseases due to their implication in the modulation of responses of immune system and inflammatory responses. For several years, technified agriculture has been considered unsustainable due to the deterioration of the production assets (water, soil, plants) at a higher speed than that at which it can regenerate. The excessive dependence on synthetic inputs (pesticides, herbicides, fertilizers) leads to dysbiosis or a rupture in the complex biological systems, resulting in the degradation of the ecosystemic services. As a consequence, the management of pests, diseases and weeds is inefficient and unsustainable. The gaps produced in ecological niches make nutrient cycles difficult, impacting the infertility and conservation of the health of soils. This leads, both in pesticides as in fertilizers, to a vicious circular strategy with a high cost for the farmer, the environment and society. These unfavorable cycles could eventually

la pandemia de COVID 19, es necesario difundir el rol de RGM en la seguridad alimentaria de cada país, implementando canales participativos entre sectores productivo, empresarial, académico y comercial involucrados en garantizar la producción agrícola regional. El *AgroEvento 'Productos biológicos; una herramienta para potenciar el campo mexicano'*, organizado por INIFAP y el Instituto Tecnológico de Sonora el 27 de noviembre del 2020, así como su segunda edición *'Microorganismos para el desarrollo sostenible del sector agropecuario de México'* llevado a cabo el 30 de septiembre (<http://cmcnrg.inifap.gob.mx/agroevento/; t.ly/RjAh>) ilustra esta estrategia. Tuvieron como objetivo proporcionar un espacio para la vinculación y difusión sobre los beneficios del uso de productos de formulación biológica en la agricultura y la importancia de tecnologías beneficio-costo efectivas para la innovación sustentable de la producción agrícola tecnificada en México. El evento, en sus dos ediciones, ha tenido participación interinstitucional con investigadores mexicanos involucrados en el desarrollo y conservación de organismos con potencial de control biológico y la implementación de agrobiotecnologías sustentables y rentables para diferentes actores productivos. La difusión del evento a través de diferentes canales permitió la asistencia virtual de 1,582 participantes de ocho países latinoamericanos. Una afluencia que indica el gran interés y potencial de RGM en la agricultura y la vitalidad de esta actividad productiva en tiempos de COVID-19.

CONCLUSIONES

En esta revisión se replanteó el papel del sector agroalimentario frente a la actual crisis mundial de salud pública por la pandemia COVID-19. Se partió de la premisa que el abastecimiento global

jeopardize food security and self-sufficiency with a greater effect on communities and countries with a great dependence on external inputs. This became evident with the breakage of the supply chain of agricultural inputs and products due to the COVID-19 pandemic. It is still possible to argue that human health and agricultural productivity can depend on the functionality of agro-ecosystems and on the balance of its biodiversity. The mission of agri-food sciences is to face agriculture with a social and humanistic vision, and in our area of biotechnology, to preserve MGRs and contribute to plant health from an ecological point of view. The study approach must understand the agroecosystems as functional biological units or agricultural holobionts for the creation of sustainable and resilient biotechnology strategies to prevent production crises and to mitigate emerging impacts such as the ongoing pandemic caused by SARS-CoV-2. All countries must generate public policies and invest in research under this sustainable agricultural vision. It is our need and our duty in the face of the environmental deterioration worldwide.

Acknowledgements

The authors are deeply grateful to Dr. Gustavo Mora as editor since his comments and suggestions helped to strengthen this contribution.

LITERATURE CITED

- Adesemoye AO, Torbert HA, and Kloepper JW. 2009. Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial Ecology* 58 (4):921-929. <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9531-y>
- Alonso-Báez M, and Aguirre-Medina JF. 2011. Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana* 29 (2):113-121.
- Altieri MA, and Nicholls CI. 2020. Agroecology and the reconstruction of a post COVID-19 agriculture. *The Journal of Peasant Studies* 47:881-898. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1782891>

de alimentos para la población, al igual que la fitosanidad como actividad esencial para lograr una producción óptima en calidad y cantidad, son servicios ecosistémicos que dependen estrechamente de la microbiota del suelo de los agroecosistemas. Es posible argumentar que la biodiversidad se traduce en equilibrio, funcionalidad, productividad y en salud humana. Así, supresividad de fitopatógenos es solo uno de los beneficios de la microbiota edáfica. Por otra parte, algunos microorganismos de los agroecosistemas, al integrarse en la microbiota intestinal humana, contribuyen a la prevención de enfermedades por su implicación en la modulación de respuestas del sistema inmune e inflamatorio. Desde hace varios años, la agricultura tecnificada se ha considerado no sostenible debido al deterioro de los activos productivos (agua, suelo, planta) a una velocidad mayor que su regeneración natural. La dependencia excesiva de insumos sintéticos (plaguicidas, herbicidas, fertilizantes) genera disbiosis o ruptura de los sistemas biológicos complejos lo que resulta en el detrimento o eliminación de servicios ecosistémicos. En consecuencia, el manejo de plagas, enfermedades y malezas es ineficiente y no sustentable. Los vacíos generados en nichos ecológicos dificultan el ciclo de nutrientes impactando en la infertilidad y conservación de la salud de suelos. Esto conlleva, tanto con pesticidas como en fertilizantes, a una estrategia circular viciosa de alto costo para el productor, ambiente y sociedad. Estos ciclos desfavorables podrían eventualmente comprometer la seguridad y autosuficiencia alimentaria con mayor efecto en comunidades y países altamente dependientes de insumos externos. Esto quedó en evidencia con la ruptura del suministro de insumos y productos agrícolas debido a la pandemia COVID-19. Aún es posible argumentar que la salud humana, y la productividad agrícola pueden depender de la funcionalidad de los agroecosistemas y del equilibrio de su biodiversidad. La misión de

- Aman F, and Masood S. 2020. How nutrition can help to fight against COVID-19 pandemic. *Pakistan Journal of Medical Sciences* 36(COVID19-S4):S121-S123. 10.12669/pjms.36.COVID19-S4.2776
- Antle JM, and Ray S. 2020. Pathways to sustainable agricultural development. 167-201 p. *In* Barret C. (ed) Sustainable Agricultural Development. Palgrave Macmillan, Cham.
- Bakhshandeh E, Pirdashti H, and Shahsavarpour LK. 2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. *Ecological Engineering* 103:164-169. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.008>.
- Bang A, and Khadakkar S. 2020. Opinion: Biodiversity conservation during a global crisis: Consequences and the way forward. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117 (48):29995-29999. <https://doi.org/10.1073/pnas.2021460117>
- Belkaid Y, and Hand T. 2014. Role of the microbiota in immunity and inflammation. *Cell* 157:121-141. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.03.011>.
- Berg G, Rybakova D, Fische D, Cernava T, Vergés MCC, Charles T, Chen X, Cocolin L, Eversole K, Corral GH, Kazou M, Kinkel L, Lange L, Lima N, Loy A, Macklin JA, Maguin E, Mauchline T, McClure R, Mitter B, Ryan M, Sarand I, Smidt H, Schelkle B, Roume H, Kiran GS, Selvin J, de Souza RSC, van Overbeek L, Singh BK, Wagner M, Walsh A, Sissitsch A, and Schlöter M. 2020. Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome*. 8:1-22. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00875-0>
- Berendsen RL, Pieterse CMJ, and Bakker PAHM. 2012. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*. 17:478-486. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.001>
- Bhavani RV and Gopinath R. 2020. The COVID-19 pandemic crisis and the relevance of a farm-system-for-nutrition approach. *Food Security*. 12:881-884. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01071-6>
- Brown J, and Tillier A. 2011. Bridging the gap between genetics and ecology. *Annual Review of Phytopathology* 49:345-67. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-072910-095301>
- Chandra AK, Kumar A, Bharati A, Joshi R, Agrawal A, and Kumar S. 2020. Microbial-assisted and genomic-assisted breeding: a two way approach for the improvement of nutritional quality traits in agricultural crops. *3 Biotech* 10:2. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1994-z>
- Chávez-Díaz IF, Zelaya-Molina LX, Cruz-Cárdenas CI, Rojas-Anaya E, Ruíz Ramírez S, and de los Santos-Villalobos S. 2020. Considerations on the use of biofertilizers as a sustainable agro-biotechnological alternative to food security in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(6):1423-1436. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/publicaciones>. Consultado diciembre 2020.
- Chidambaram V, Tun NL, Haque WZ, Majella MG, Sivakumar RK, Kumar A, *et al.* 2020. Factors associated with disease severity and mortality among patients with COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 15(11): e0241541. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241541>
- Córdova-Albores LC, Zelaya-Molina LX, Ávila-Alistac N, Valenzuela-Ruiz V, Cortés-Martínez NE, Parra-Cota FI, las ciencias del sector agroalimentario es abordar la agricultura con una visión social y humanística, y en nuestra área biotecnológica, conservar la diversidad RGM y contribuir a la fitosanidad desde un punto de vista ecológico. El enfoque debe ser el estudio de los agroecosistemas como unidades biológicas funcionales integrales o holobiontes agrícolas para la generación de estrategias biotecnológicas sustentables y resilientes para la prevención de crisis productivas y para mitigar impactos emergentes como la actual pandemia causada por SARS-CoV-2. Todo país debe generar política pública e invertir en investigación bajo esta visión agrícola sostenible. Es un deber y una necesidad ante el deterioro global del medioambiente.
- ~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~
- Burgos-Canul YY, Chávez-Díaz IF, Fajardo-Franco ML and de los Santos-Villalobos S. 2021. Omics sciences potential on bioprospecting of biological control microbial agents: the case of the Mexican agro-biotechnology. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(1). <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2009-3>
- Cox MJ, Cookson WOCM, and Moffatt MF. 2013. Sequencing the human microbiome in health and disease. *Human Molecular Genetics*. 22:R88-R94. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddt398>
- Cucinotta D, and Vanelli M. 2020. WHO Declares COVID-19 a pandemic. *Acta Biomedica* 91(1):157-160. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i1.9397>
- Delgado-Baquerizo M, Riech PB, Trivedi C, Eldridge DJ, Abade S, Alfaro FD, Bastida F, Berhe AA, Cutler NA, Gallardo A, García-Velázquez L, Hart SC, Hayes PE, He JZ, Hseu ZY, Hu HW, Kirchmair M, Neuhauser S, Pérez CA, Reed SC, Santos F, Sullivan BW, Trivedi P, Wang JT, Weber-Grullon L, Williams MA, and Singh BK. 2020. Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nature Ecology & Evolution*. 4:210-220. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1084-y>
- Desmeth P. 2017. The Nagoya Protocol applied to microbial genetic resources. 205-217 p. *In* Kurtböke I. (ed). *Microbial Resources*. Academic Press-Elsevier, London, United Kingdom. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804765-1.00010-2>.
- Dhar D, and Mohanty A. 2020. Gut microbiota and COVID-19 possible link and implications. *Virus Research*. 285:198018. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198018>

- Díaz-Rodríguez AM, Salcedo-Gastelum LA, Félix-Pablos CA, Parra-Cota FI, Santoyo G, Puente ML, Bhattacharya D, Mukherjee J, de los Santos-Villalobos S. 2021. The current and future role of microbial culture collections in food security worldwide. *Frontiers in Sustainable Food Systems* in press. <http://dx.doi.org/10.3389/fsufs.2020.614739>
- Ecker O, Breisinger C and Pauw K. 2011. Chapter 6: Growth is good, but is not enough to improve nutrition 47-54 p. In: (Eds) Fan y Pandya-Lorch, Reshaping agriculture for nutrition and health. International Food Policy Research Institute (IFPRI). USA. <https://www.ifpri.org/publication/reshaping-agriculture-nutrition-and-health>. Consultado diciembre 2020.
- FAO. 2017. Towards zero hunger and sustainability. The FAO Multipartner Programme Support Mechanism. <http://www.fao.org/documents/card/es/c/fa6a801c-5bd4-4522-a2ff-bfbef1e56529/>. Consultado diciembre 2020.
- FAO. 2019. The state of the world's biodiversity for food and agriculture (Rome, Italy: FAO), 572p. <http://www.fao.org/3/CA3129EN/ca3129en.pdf>.
- FAO. 2020a. Novel Coronavirus (COVID-19). <http://www.fao.org/2019-ncov/q-and-a/en/>. Consultado diciembre 2020.
- FAO. 2020b. World Food Situation: FAO food price index. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/>. (Consulta, diciembre 2020).
- FAO. 2020c. Food systems and COVID-19 in Latin America and the Caribbean: Contingency plan for an eventual food supply crisis. Bulletin 6. Santiago, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9333en>. Consultado diciembre 2020.
- FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. 2020. Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9699es>. Consultado febrero 2021.
- Francis D. 2020. Agriculture, climate change and COVID-19. IICABlog. <https://blog.iica.int/en/blog/agriculture-climate-change-and-covid-19>. Consultado octubre 2020.
- Goicochea N and Antolín MC. 2017. Increased nutritional value in food crops. *Microbial biotechnology*. 10:1004-1007. doi: 10.1111/1751-7915.12764
- Griebler C, and Abramov M. 2015. Groundwater ecosystem services: a review. *Freshwater Science*. 34:355-367. <https://doi.org/10.1086/679903>.
- Haleem A, and Javaid M. 2020. Effects of COVID-19 pandemic in daily life. *Current Medicine Research and Practice* 10:78-79. <https://doi.org/10.1016/j.cmrp.2020.03.011>
- Hassani MA, Durán P, and Hacquard S. 2018. Microbial interactions within the plant holobiont. *Microbiome*. 6:1-17. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0445-0>
- Hossain I, Aktaruzzaman MM, Khan MH, and Mullick AR. 2020. A converse association: how biodiversity and wildlife connected with COVID-19. *European Journal of Pharmaceutical and Medical Research* 7 (10): 209-214. https://www.ejpmr.com/home/abstract_id/7326. Consultado enero 2021.
- Heller NE, and Zavaleta ES. 2009. Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation* 142:14-32. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006>
- Henry R. 2020. Innovations in agriculture and food supply in response to the COVID-19 pandemic. *Molecular Plant* 13:1095-1097. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2020.07.011>.
- Horrigan L, Lawrence RS, and Walker P. 2002. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environmental Health Perspectives* 110 (5):445-456. doi: 10.1289/ehp.02110445
- Infusino F, Marazzato M, Mancone M, Fedele F, Mastroianni CM, Severino P, Ceccarielli G, Sntinelli L, Cavarretta E, Marullo AGM, Miraldi F, Carnevale R, Nocella C, Biondi-Zoccai G, Pagnini C, Schiavon S, Pugliese F, Frati G, and d'Ettore G. 2020. Diet supplementation, probiotics, and nutraceuticals in SARS-CoV-2 Infection: A scoping review. *Nutrients* 12:1718. <https://doi.org/10.3390/nul2061718>
- Khan N, Naseem Siddiqui B, Khan N, Ullah N, Wali A, Uddin Khan I, Ismail S and Ihtisham M. 2020. Drastic impacts of COVID-19 on food, agriculture and economy. *Pure and Applied Biology* 10 (1):62-68. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2021.100008>
- Khoury C, Laliberte' B, and Guarino L. (2010) Trends in ex situ conservation of plant genetic resources: a review of global crop and regional conservation strategies. *Genetic Resources and Crop Evolution* 57 (4): 625-639. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9534-z>
- Lata RK, Divjot K, and Nath YA. 2019. Endophytic microbiomes: biodiversity, ecological significance and biotechnological applications. *Research Journal of Biotechnology* 14:143-162. <https://www.semanticscholar.org/paper/Paper-%3A-Endophytic-Microbiomes-%3A-Biodiversity-%2C-and-Lata-Divjot/b3845600266b2d2fad531f7e0a66d2da86f9d957>
- Legrand F, Picot A, Cobo-Díaz JF, Carof M, Chen W, and Le Floch G. 2018. Effect of tillage and static abiotic soil properties on microbial diversity. *Applied Soil Ecology* 132:135-145. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.08.016>
- Marsden T and Smith E. 2005. Ecological entrepreneurship: sustainable development in local communities through quality food production and local branding. *Geoforum*. 36(4):440-451. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2004.07.008>.
- Marlow S. 2020. COVID-19: Effects on the Fertilizer Industry. *IHS Market* 24(3): 2-6. <https://ihsmarkit.com/research-analysis/report-covid19-effects-on-the-fertilizer-industry.html>. Consultado diciembre 2020.
- Martínez-Blanco J, Lazcano C, Christensen TH, Muñoz P, Rieradevall J, Møller J, Antón A, and Boldrin A. 2013. Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33 (4):721-732. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0148-7>
- Matveeva, T., Provorov, N., and Valkonen, J. (2018). Editorial: Cooperative adaptation and evolution in plant-microbiome system. *Frontiers in Plant Science* 9 (1090). <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01090>

- McDonald B. 2004. Population genetics of plant pathogens. Zurich, Switzerland: Institute of Plant Science/Pathology. <https://doi.org/10.1094/PHI-A-2004-0524-01>
- Mercado-Mercado G, Blancas-Benítez F, Zamora-Gasga VM, and Sáyago-Ayerdi SG. 2020. Mexican traditional plant-foods: polyphenols bioavailability, gut microbiota metabolism and impact in human health. *Current Pharmaceutical Design* 25:3434-3456. <https://doi.org/10.2174/1381612825666191011093753>
- Mishra PK, Joshi S, Gangola S, Khati P, Bisht JK, and Pattanayak A. 2020. Psychrotolerant Microbes: Characterization, conservation, strain improvements, mass production, and commercialization. 227-246 p. *In* Goel R., Soni R. and Suyal DC (eds). *Microbiological Advancements for Higher Altitude Agro-Ecosystems & Sustainability*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1902-4_1
- Neupane D. 2020. How conservation will be impacted in the COVID-19 pandemic. *Wildlife Biology* 2020. <https://doi.org/10.2981/wlb.00727>
- Olesen SW, and Alm EJ. 2016. Dysbiosis is not an answer. *Nature Microbiology* 1:16228. <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.228>
- Park W. 2018. Gut microbiomes and their metabolites shape human and animal health. *Journal of Microbiology* 56:151-153. <https://doi.org/10.1007/s12275-018-0577-8>
- Patle GT, Kharpude SN, Dabral PP, and Kumar V. 2020. Impact of organic farming on sustainable agriculture system and marketing potential: A review. *International Journal of Environment and Climate Change* 10 (11): 100-120. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2020/v10i1130270>
- Pilling D, Bélanger J, Diulgheroff S, Koskela J, Leroy G, Mair G, and Hoffmann I. 2020. Global status of genetic resources for food and agriculture: challenges and research needs. *Genetic Resources* 1 (1):4-16. <https://doi.org/10.46265/genresj.2020.1.4-16>
- Power AG. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 365:2959-2971. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>
- Robles-Montoya RI, Chaparro-Encinas LA, Parra-Cota FI, and de los Santos-Villalobos S. 2020. Improving biometric traits of wheat seedlings with the inoculation of a consortium native of *Bacillus*. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas* 11(1): 229-235. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.2162>
- Rojas-Padilla J, Chaparro-Encinas LA, Robles-Montoya RI, and de los Santos-Villalobos S. 2020. Growth promotion on wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) by coinoculation of native *Bacillus* strains isolated from the Yaqui Valley, Mexico. *Nova Scientia* 12 (1): 1-27. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i24.2136>
- Sahu N, Vasu D, Sahu A, Lal N, and Singh SK. 2017. Strength of microbiomes in nutrient cycling: a key to soil health. 69-86 p. *In* Meena *et al.* (eds) *Agriculturally important microbes for sustainable agriculture*. Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5589-8_4
- Saleem M, Hu J, and Jousset A. 2019. More than the sum of its parts: microbiome biodiversity as driver of plant growth and soil health. *Annual Reviews of Ecology, Evolution and Systematics* 50:145-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062605>
- Sandoval-Cancino G, Zelaya-Molina LX, Ruíz-Ramírez S, Cruz-Cárdenas CI, Aragón-Magadán MA, Rojas-Anaya E, Chávez-Díaz IF. 2022. Agricultural genetic resources as a source of resilience in the face of the COVID-19 pandemic in Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 25(2022):006. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3841>. Consultado octubre 2021.
- Sharma SK, Singh SK, Ramesh A, Sharma PK, Varma A, Ahmad E, Khande R, Singh UB, and Saxena AK. 2018. Microbial genetic resources: status, conservation, and access and benefit-sharing regulations. 1-33 p. *In* Sharma SK and Varma A (eds). *Microbial Resource Conservation*. Soil Biology, vol 54. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96971-8_1
- Singh A, Kumari R, Yadav AN, Mishra S, Sachan A, and Sachan SG. 2020. Chapter 1: Tiny microbes, big yields: Microorganisms for enhancing food crop production for sustainable development. 1-15 p. *In* Rastegari *et al.* (eds). *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820526-6.00001-4>
- Singh BK, and Trivedi P. 2017. Microbiome and the future for food and nutrient security. *Microbial Biotechnology* 10 (1):50. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12592>
- Soltanighias T, Vaid RK, and Rahi P. 2018. Agricultural microbial genetic resources: application and preservation at microbial resource centers. 141-173 p. *In* Sharma SK and Varma A. (eds). *Microbial Resource Conservation*. Soil Biology, vol 54. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96971-8_
- Song SJ, Woodhams DC, Martino C, Allaband C, Mu A, Javorschi-Miller-Montgomery S, Suchodolski JS, and Knight R. 2019. Engineering the microbiome for animal health and conservation. *Experimental Biology and Medicine*, 244 (6):494-504. <https://doi.org/10.1177/1535370219830075>
- Stanisavljevic N, Bajic SS, Jovanovic Z, Matic I, Tolinacki M, Popovic D, Popovic N, Terzic-Vidojevic A, Golic N, Beskoski V, and Samardzic J. 2020. Antioxidant and antiproliferative activity of allium ursinum and their associated microbiota during simulated *in vitro* digestion in the presence of food matrix. *Frontiers in Microbiology* 11:601616. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.601616>
- Subedi R, Karki M, and Panday D. 2020. Food system and water-energy-biodiversity nexus in Nepal: A review. *Agronomy* 10 (8):1129. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081129>
- Sung B, and Hwang K. 2017. Promoting the utilization of plant, animal and microbial genetic resources for research and development in biotechnology: evidence on researchers'

- preferences for specific attributes from Korean genebanks. *Plant Genetic Resources* 15 (3):195-207. <https://doi.org/10.1017/S1479262115000520>
- Thanner S, and Drissner D, Walsh F. 2016. Antimicrobial resistance in agriculture. *MBio* 7:e02227-15. <https://doi.org/10.1128/mBio.02227-15>
- Thrall P, Oakeshott J, Fitt G, Southerton S, Burdon J, Sheppard A, Russell RJ, Zalucki M, Heino M, and Ford-Deison R. 2011. Evolution in agriculture: the application of evolutionary approaches to the management of biotic interactions in agroecosystems. *Evolutionary Applications* 4:200-215. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2010.00179.x>
- Thomashow LS, LeTourneau MK, Kwak YS, and Weller DM. 2019. The soil-borne legacy in the age of the holobiont. *Microbial Biotechnology* 12:51-54. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13325>
- Tooker J, O'Neal M, and Rodríguez-Saona C. 2020. Balancing disturbance and conservation in agroecosystems to improve biological control. *Annual Review of Entomology* 65 (2020):81-100. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025143>
- Turnbaugh PJ, Ley RE, Hamady M, Fraser-Liggett CM, Knight R, and Gordon JI. 2007. The human microbiome project. *Nature* 449:804-810. <https://doi.org/10.1038/nature06244>
- Trivedi P, Leach JE, Tringe SG, Sa T, and Singh BK. 2020. Plant-microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nature Reviews Microbiology* 18:607-621. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>
- Siche R. 2020. What is the impact of COVID-19 disease on agriculture? *Scientia Agropecuaria*. 11 (1):3-6. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.00>
- Simon JC, Marchesi JR, Mougél C, and Selosse MA. 2019. Host-microbiota interactions: from holobiont theory to analysis. *Microbiome*. 7:1-5. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0619-4>
- Usher K, Durkin J, and Bhullar N. 2020. The COVID-19 pandemic and mental health impacts. *International Journal of Mental Health Nursing* 29 (3): 3-15. <https://doi.org/10.1111/inm.12726>
- Valenzuela-Aragón B, Parra-Cota FI, Santoyo G, Arellano-Wattenbarger GL, and de los Santos-Villalobos S. 2019. Plant-assisted selection: a promising alternative for in vivo identification of wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) growth promoting bacteria. *Plant and Soil* 435: 367-384. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-03901-1>
- Valenzuela-Ruiz V, Ayala-Zepeda M, Arellano-Wattenbarger GL, Parra-Cota FI, García-Pereyra J, Aviña-Martínez GN, and de los Santos-Villalobos S. 2018. Microbial culture collections and their potential contribution to current and future food security. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 14 (1):18-25. <https://www.itson.mx/publicaciones/rln/Documents/v14-n1-3.pdf>. Consultado diciembre 2020.
- Villarreal-Delgado MF, Villa-Rodríguez ED, Cira-Chávez LA, Estrada-Alvarado MI, Parra-Cota FI, and de los Santos-Villalobos S. 2017. The genus *Bacillus* as a biological control agent and its implications in the agricultural biosecurity. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36 (1):95-130. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1706-5>
- Wagg C, Bender F, Widmer F, and van der Heijden MGA. 2014. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111:5266-5270. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>
- Wall DH, Nielsen UN, and Six J. 2015. Soil biodiversity and human health. *Nature* 528:69-76. <https://doi.org/10.1038/nature15744>
- Wei Z, Gu Y, Friman VP, Kowalchuk GA, Xu Y, Shen Q, and Jousset A. 2019. Initial soil microbiome composition and functioning predetermine future plant health. *Science Advances* 5:1-11. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw0759>
- Whipps J, Lewis K, and Cooke R. 2001. Mycoparasitism and plant disease control. 161-187 p. *In* Burge M (ed): *Fungi Biol Control Syst*. Manchester University Press.
- Zhan J. 2016. Population genetics of plant pathogens. *In* B. McDonald (ed.). eLS. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021269.pub2>
- Zhang J, van der Heijden MGA, Zhang F, and Bender F. 2020. Soil biodiversity and crop diversification are vital components of healthy soils and agricultural sustainability. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering* 7:236-242. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020336>

Benefic organisms in agricultural crops: Towards a safety and healthy food in response to COVID-19 and future syndemics

Organismos benéficos en cultivos agrícolas: Hacia una producción de alimentos sanos e inocuos en respuesta a COVID-19 y futuras sindemias

José Alfredo Samaniego-Gaxiola, Campo Experimental La Laguna, INIFAP. Blvd. Prof. José Santos Valdez # 1200 Pte. Colonia Centro. Matamoros, Coahuila. C.P. 27440. Corresponding author: samaniego.jose@inifap.gob.mx; jasg58@gmail.com.

Received: February 25, 2021.

Accepted: April 29, 2021.

Samaniego-Gaxiola JA. 2021. Benefic organisms in agricultural crops: Towards a safety and healthy food in response to COVID-19 and future syndemics. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 261-281.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-13>

Abstract. A population with an adequate immunity is key to reduce the effects of COVID-19. Moreover, a healthy diet and an innocuous environment are factors for an adequate immunity. Healthier and more innocuous foods could be obtained with the extensive use of beneficial organisms on agricultural crops, helping reduce the use of agrochemicals and increasing the tolerance of plants to stress caused by abiotic and biotic factors. Nitrogen-fixating bacteria or free-living bacteria, mycorrhizae, endosymbiotic microorganisms, endophytes, entomopathogenic fungi and bacteria, pest predators and parasitoids,

Resumen. Una población con buena inmunidad es clave para atenuar los efectos de COVID-19. A su vez, la alimentación sana y un ambiente inocuo son factores para una buena inmunidad. Alimentos más sanos e inocuos se podrían alcanzar con el uso extensivo de organismos benéficos en cultivos agrícolas permitiendo la reducción de agroquímicos e incrementando la tolerancia de plantas al estrés por factores abióticos y bióticos. Bacterias fijadoras de nitrógeno o de vida libre, micorrizas, microorganismos endosimbióticos, endófitos, hongos y bacterias entomopatógenas, depredadores y parasitoides de plagas, virus hiperparásitos de plagas y patógenos, son algunos de los organismos que pueden inducir la supresión natural de parásitos, fijar nitrógeno y optimizar la captura de nutrientes y agua, entre otros beneficios ecosistémicos. En esta revisión se exponen funciones y propiedades de organismos benéficos y se plantean propuestas para su aprovechamiento en beneficio de agricultores y consumidores.

hyper parasitic viruses of pests and pathogens are some of the organisms that can induce the natural suppression of parasites, fixate nitrogen and optimize the capture of nutrients and water, among other ecosystemic benefits. This revision presents functions and properties of beneficial organisms and proposals are made for their use to benefit farmers and consumers, with the intention of contributing to the productive processes towards a sustainable agriculture.

Key words. Biological control, endophytes, sustainable agriculture, SARS-CoV-2

INTRODUCTION

COVID-19, more than a pandemic, has been considered a syndemic or an infectious disease that interacts with biological, social and behavioral factors. In this way, understanding the effect of SARS-CoV-2 (Martín-Moreno *et al.*, 2021), the virus that causes the disease, clinically or epidemiologically, would require the interaction with non-transmissible chronic diseases, comorbidities, malnutrition, pollution, demography, urbanism, etc., which are a product, in many cases, of socioeconomic inequalities (Horton, 2020), but also of human recklessness. In 2020, during the first and second pandemic cycles, an attempt was perceived to acknowledge the backwardness of government health systems, even in developed nations, as well as the importance of reducing socioeconomic inequalities and strengthening preventive medicine (González-Salgado *et al.*, 2021; Martín-Moreno *et al.*, 2021). The World Health Organization (WHO) itself was criticized for its slow responses and the bureaucratization of its international management processes. Currently, at the end of this edition, mitigation efforts seem

Con lo anterior, se estaría contribuyendo a mejorar los procesos productivos hacia una agricultura sustentable.

Palabras clave. Control biológico, endófitos, agricultura sustentable, SARS-CoV-2

INTRODUCCIÓN

La enfermedad COVID-19, más que una pandemia, se ha considerado una sindemia o enfermedad infecciosa que tiene interacción con factores biológicos, sociales y conductuales. Así, comprender clínica y epidemiológicamente el efecto de SARS-CoV-2 (Martín-Moreno *et al.*, 2021), el virus causante, tendría que incluir la interacción con enfermedades crónicas no transmisibles, comorbilidades, desnutrición, contaminación, insalubridad, demografía, urbanismo, etc. que son producto, en muchos casos, de desigualdades socioeconómicas (Horton, 2020), pero también de la insensatez humana. En 2020, durante el primer y segundo ciclo pandémico se percibió un intento por reconocer los rezagos de sistemas de salud gubernamentales, incluso de países desarrollados, y la importancia de atenuar las desigualdades socioeconómicas y fortalecer la medicina preventiva (González-Salgado *et al.*, 2021; Martín-Moreno *et al.*, 2021). Incluso la misma OMS fue criticada por su lenta capacidad de reacción y burocratización de sus procesos de gestión internacional. En la actualidad, al cierre de la edición, los esfuerzos de mitigación parecen centrarse en los enfoques clínicos clásicos y en el impulso de programas de vacunación extensivos y globales con una fuerte preeminencia de la industria farmacéutica por lo que la prevención, como modelo sistémico de salud, parece relegado a intereses económicos (Nota del Editor).

to center on the classic clinical approaches and the promotion of extensive and global vaccination programs with a strong preeminence of the pharmaceutical industry, therefore prevention, as a systemic health model, seems reduced to economic interests (Editor's note).

However, farming activities in Mexico, from a Phytopathological point of view, propose the confrontation of COVID-19 and subsequent pandemics in a better way. One feasible vision is the use of microorganisms that benefit plants, to improve the efficiency of fertilizers, pest and disease management, and other crop stress factors. The use of microorganisms may help reduce the application of agrochemicals and increase tolerance to abiotic and biotic stress, which would increase the yield and the quality of agricultural products, reducing direct costs related to production and the environment. This approach would translate into better food for the human population, which could improve its response to non-infectious, infectious and degenerative diseases as a result of a strengthened immune system, as well as a higher quality of life, in general. The aim of this revision is to describe a sustainable approach to our agriculture, in which natural biological mechanisms gradually integrate into contemporary agriculture. We therefore suggest reinforcing the links between the sectors related to agriculture and defining priority research topics. This could help improve our pest and disease management systems, water use, pertinence of fertilizers and an adaptation to climate change, translating into sustainable agriculture.

Complex biological systems

In nature, all living organisms are complex systems. For example, a walnut tree (*Carya illinoensis*) that covers a surface of 100 m² (10

Sin embargo, desde la actividad agropecuaria en México y en el mundo se propone afrontar COVID-19 y subsecuentes pandemias de mejor manera. Una visión viable es el empleo de microorganismos benéficos para las plantas, que mejoren la eficiencia de fertilizantes, el manejo de plagas y enfermedades, y otros factores de estrés para cultivos. El uso de microorganismos puede ayudar a disminuir la aplicación de agroquímicos e incrementar la tolerancia al estrés abiótico y biótico, lo que incrementaría el rendimiento y calidad de los productos agrícolas disminuyendo costos directos asociados a la producción y al ambiente. Este enfoque redundaría en mejores alimentos a la población humana quienes podrían mejorar su respuesta a enfermedades no infecciosas, infecciosas y degenerativas como consecuencia de un sistema inmune fortalecido y mejor calidad de vida en general. El objetivo de esta revisión es describir un enfoque sostenible de nuestra agricultura, donde los mecanismos biológicos naturales se vayan integrando gradualmente a la agricultura contemporánea. Para ello, se sugiere reforzar la vinculación entre los sectores relacionados con la agricultura y definir temas prioritarios de investigación. Esto podría conducir a mejorar nuestros sistemas de manejo de plagas y enfermedades, uso del agua, pertinencia de fertilizantes y una adaptación al cambio climático, redundando en una agricultura sostenible.

Los sistemas biológicos complejos

En la naturaleza, todos los organismos vivos son sistemas complejos. Por ejemplo, un nogal (*Carya illinoensis*) que ocupa una superficie de 100 m² (10 x10 m) puede albergar tres mil o más especies, tomando en cuenta la diversidad de microorganismos del suelo, aquellos que viven en las ramas, el follaje, el tronco y las raíces del árbol, sobre y dentro de las malezas e insectos plaga o

x10 m) can harbor three thousand species or more, considering the diversity of microorganisms in the soil, those which live in the branches, foliage, the trunk and roots of the tree, on and inside the weeds and pest or beneficial insects. The *holobiont* and the *hologenome* are two terms that tell of the set of organisms and genes that make up an individual, respectively, which in turn is part of a population with a defined structure and function. Plants, animals and insects are hosts of many species of microorganisms with their respective genomes (*holobionts/hologenomes*). Thousands of microbial species, by the billions, live inside humans. Thus, other attributes of the complexity of biological systems are the communication between its elements (organisms-soil-atmosphere), where each one has a bearing on the others, they receive feedback and their responses are non-linear. In addition, no element has the total of information on the system. The system can change dramatically due to the effect of one or a few elements. Systems are open, meaning that they communicate with other systems that surround them and their evolutionary history determines their ability to adapt. Biological systems transform into agricultural systems, using large amounts of energy. Oftentimes, agriculture destroys ecosystems, pollutes soils and bodies of water, leading to 'unproductive lands'. The concept of 'unproductive' contains the anthropogenic element of 'profitability'; if it is not satisfied: a) the crop is changed, b) land use is changed, or c) the land, of agricultural use, is neglected. Approximately 2 million km² of agricultural lands have been neglected in recent decades (Mata-González, 2020).

The nature of plant-microorganism associations

Symbiotic associations between plants, insects and microorganisms have been allowed to exist for

benéficos. El *holobionte* y el *hologenoma* son dos términos que advierten el conjunto de organismos y genes que conforman un individuo, respectivamente, que a su vez es parte constitutiva de una población con una estructura y función definida. Las plantas, los animales y los insectos son hospederos de múltiples especies de microorganismos con sus respectivos genomas (*holobiontes/holgenomas*). Miles de especies microbianas, en miles de millones, viven dentro de los humanos. Así, otros atributos de la complejidad de los sistemas biológicos, son la comunicación entre sus elementos (organismos-suelo-atmósfera), donde unos inciden sobre otros, reciben retroalimentación y sus respuestas no son lineales. Además, ningún elemento tiene la información del sistema en su totalidad. El sistema puede cambiar dramáticamente por efecto de uno o pocos elementos. Los sistemas son abiertos, es decir, se comunican con otros sistemas que los rodean y su historia evolutiva determina su capacidad para adaptarse. Los sistemas biológicos se transforman a sistemas agrícolas, utilizando grandes cantidades de energía. A menudo, la agricultura destruye ecosistemas, contamina el suelo y cuerpos de agua, lo que provoca 'tierras improductivas'. El concepto de 'improductivo' tiene el elemento antropogénico de 'rentabilidad'; si no es satisfecho: a) se cambia de cultivo, b) se cambia el uso de la tierra, o c) se abandona ese suelo de la actividad agrícola. Aproximadamente 2 millones de km² de tierras agrícolas se han abandonado en las últimas décadas (Mata-González, 2020).

La naturaleza de las asociaciones planta-microorganismos

Las asociaciones simbióticas entre plantas, insectos y microorganismos les ha permitido coexistir en los últimos 400 millones de años (Poveda-Arias, 2019). Entre las interacciones microorganismos-

the past 400 million years (Poveda-Arias, 2019). Some of the microorganism-plant interactions worth highlighting are endophytic microorganisms, which live inside plants without causing any harm to them; other microorganisms can live in the rhizosphere (soil around the root), rhizoplane (on the root) and the phyllosphere (on the leaf) (Sharma *et al.*, 2019). Nitrogen-fixating symbiotic bacteria or free-living bacteria and mycorrhizal fungi can also be found. These organisms are usually limited by the management of agricultural crops, such as with the excess use of nitrogen, phosphorous and potassium in the soil, the immoderate use of pesticides, the type of tillage, monoculture and crop rotations (Guerra-Sierra, 2008). The high use of synthetic inputs in contemporary agriculture can lead to high yields in crops, but it generally undermines the benefit of organisms that interact with plants. By contrast, natural systems do the opposite. Both the natural systems and organic agroecosystems are more durable and sustainable than the intensive agriculture farming systems. The fragility of the ecosystems has been widely documented. For example, in areas in which certain nitrogen sources contaminate the soil and air, the growth of lichen species is limited, which are the diet of two endangered primate species (Wang *et al.*, 2020).

Bacteria-insect interactions

Inside insects, microorganisms such as bacteria, fungi, nematodes, phytoplasmas and viruses live inter or intracellularly; most of these are beneficial or not harmful, although some are pathogenic or parasitic. The bacteria *Wolbachia* are widely distributed in arthropods and nematodes and can kill and influence the reproduction of agricultural pest insects and vector insects for human and animal diseases (Rodríguez, 2013).

planta destacan los microorganismos endófitos, quienes viven dentro de las plantas sin dañarlas, otros microorganismos pueden vivir en la rizósfera (suelo aledaño a la raíz), rizoplane (sobre la raíz) y la filósfera (sobre la hoja) (Sharma *et al.*, 2019). También se pueden encontrar bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno o de vida libre y hongos micorrízicos. Estos organismos a menudo son limitados por el manejo de cultivos agrícolas, como la aplicación excesiva de nitrógeno, fósforo y potasio al suelo, el uso inmoderado de pesticidas, tipo de labranza, monocultivo y rotación de cultivos (Guerra-Sierra, 2008). El alto uso de insumos sintéticos en la agricultura contemporánea, puede generar altos rendimientos en los cultivos, pero en general desaprovecha el beneficio de los organismos que interactúan con las plantas. En contraste, los sistemas naturales hacen lo contrario. Tanto los sistemas naturales, como los agro-ecosistemas de manejo orgánico, son más perdurables y sostenibles que los sistemas de agricultura intensiva. La fragilidad de los ecosistemas ha sido ampliamente documentada. Por ejemplo, en áreas donde ciertas fuentes de nitrógeno contaminan el suelo y el aire, se restringe el crecimiento de especies de líquenes, los cuales son dieta de dos especies de primates en peligro de extinción (Wang *et al.*, 2020).

Interacción bacterias-insectos

Dentro de los insectos viven inter o intracelularmente microorganismos como bacterias, hongos, nematodos, fitoplasmas, además de virus; la mayoría son benéficos o no perjudiciales, pero algunos son patógenos o parásitos. La bacteria *Wolbachia* está ampliamente distribuida en los artrópodos y nematodos, ella puede matar, influenciar en la reproducción de insectos de plagas agrícolas y de insectos vectores de enfermedades de humanos y animales (Rodríguez, 2013). Al invadir el cerebro de insectos,

By invading the brains of insects, *Wolbachia* can affect their learning, memory, mating, feeding and aggregation; hence, its great potential to control insects is considered harmful to humans (Bi and Wang, 2020). For example, *Wolbachia* invades *Trichogramma*, a parasitoid wasp, and induces differentiated parthenogenesis, with the resulting development of an exclusively female population, which are a parasite to pest insects (Rodríguez, 2013). Beneficial insects can acquire pathogenic microorganisms, which can decimate their populations and persist in all the stages of their life cycle (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2019); likewise, pest insects can also be affected by microorganisms (Zimmermann *et al.*, 2013). The approach is to focus on finding and using organisms that affect harmful organisms in a negative way and beneficial organisms to agricultural crops in a positive way.

Genetics of crops

Crops were originally developed by humans, using selection processes (phenotypical criteria). Modern agriculture is based on the manipulation of plant genetics. However, three aspects make it difficult to use and understand the interaction between the environment and the genetic expression of plants: **a)** “Jumping genes” or transposons, DNA sequences that move and interact in the genome. In maize, they are found in approximately 80% (Eguiarte *et al.*, 2013); **b)** the pangenome, or genes different to the rest of the clade; in the case of the grass species *Brachypodium distachyon* (L.) Beauv., the genes of its population are 61 thousand and each individual has 30 thousand (Gordon *et al.*, 2017); **c)** a scarce understanding of the genetic regulation of plants in extreme environments, such as the conifers that survived the Chernobyl radiation (Geras'kin *et al.*, 2011). That is, cultivated and native plants still have an enormous potential to detect their genetic

Wolbachia puede afectar su aprendizaje, memoria, apareamiento, alimentación y agregación, de ahí su gran potencial para el control de insectos dañinos para el hombre (Bi y Wang, 2020). Por ejemplo, *Wolbachia* invade a *Trichogramma*, avispa parasitoide, e induce partenogénesis diferenciada, con el consecuente desarrollo de una población exclusiva de hembras, que son las que parasitan a los insectos plaga (Rodríguez, 2013). Los insectos benéficos pueden adquirir microorganismos patógenos, los cuales pueden diezmar su población y persistir en todos los estadios de su ciclo de vida (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2019; o bien, los insectos plaga también pueden ser atacados por microorganismos (Zimmermann *et al.*, 2013). El enfoque es centrarse en detectar y utilizar organismos que afecten negativamente a organismos perjudiciales y positivamente a organismos benéficos de cultivos agrícolas.

Genética de los cultivos

Los cultivos originalmente fueron desarrollados por procesos de selección empírica por el ser humano. Fue un proceso de selección con criterios fenotípicos. La agricultura moderna se fundamenta en manipular la genética de plantas. Sin embargo, al menos, tres aspectos dificultan aprovechar y entender la interacción entre el medio ambiente y la expresión genética de plantas: **a)** Los “genes flotantes” o transposones, secuencias de ADN que se mueven e interactúan en el genoma. En maíz se encuentran en aproximadamente un 80 % (Eguiarte *et al.*, 2013); **b)** el pangenoma, o genes distintos de todo el clado, en el caso de la gramínea *Brachypodium distachyon* (L.) Beauv., los genes de su población son 61 mil y de cada individuo 30 mil (Gordon *et al.*, 2017); **c)** poca comprensión de la regulación genética de las plantas en ambientes extremos, como el caso de las coníferas que sobrevivieron a la radiación de Chernóbil (Geras'kin *et*

and epigenetic characteristics to help them adapt to different types of biotic or abiotic stresses, or to new ways of doing agriculture. The benefit would be the use of local or regional genetic resources without depending on commercial varieties from foreign or multinational companies (H. Cortez in this Special Edition). COVID-19 displayed the danger of depending on inputs with the rupture of supply chains, and with that, the risk of food self-sufficiency.

Endosymbiosis, endophytes, mycorrhizae, parasites and pathogens

Larger organisms (animals, arthropods or plants) interact and host thousands of smaller ones (mainly microorganisms), conforming a unit or consortium called a *holobiome*, with its respective *hologenome*. As the knowledge on the interactions between organisms arises, the conceptual terms mix or are modified. Bacteria of the genus *Rhizobium* and their related species can be considered plant endosymbionts. However, endosymbiosis may indicate that an organism was integrated into another, such as chloroplasts and mitochondria, which integrated to become plant and animal cells, respectively; or bacteria that live inside insect cells (Espinosa, 2019). Likewise, some mycorrhizae (endomycorrhizae) can live inter or intracellularly in plant roots and can therefore be classified as endophytic fungi. When interactions between organisms are harmful to at least one of them, we say there is an *antagonism*. An insect can be the *parasite* of plants i.e., live at their expense, causing damage or transmitting viral diseases. Meanwhile, fungi, bacteria, nematodes, and weeds can be *phytoparasites* and/or *phytopathogens* (causing diseases) in plants. Animals, weeds and microorganisms themselves have their own *parasites* and/or *pathogens*. There is a very fine

al., 2011). Es decir, aún existe en las plantas cultivadas y nativas un enorme potencial para detectar sus características genéticas y epigenéticas que les permita adaptarse a diversos tipos de estrés abiótico o biótico, nuevas formas de hacer agricultura. El beneficio sería el empleo de recursos genéticos locales o regionales sin la dependencia de variedades comerciales de empresas foráneas o transnacionales (H. Cortez en este Número Especial). COVID-19 evidenció el peligro de la dependencia de insumos con la ruptura de cadenas de suministros y con ellos el riesgo de autosuficiencia alimentaria.

Endosimbiosis, endófitos, micorrizas, parásitos y patógenos

Los organismos de mayor tamaño (animales, artrópodos o plantas) interactúan y albergan cientos o miles de menor tamaño (principalmente microorganismos), conformando una unidad o consorcio denominada *holobioma*, con su respectivo *hologenoma*. Conforme se incrementa el conocimiento de las interacciones entre organismos, los términos se entremezclaron o modificaron. Las bacterias del género *Rhizobium* y sus especies relacionadas se pueden considerar endosimbiontes de plantas. Sin embargo, la endosimbiosis puede indicar que un organismo se integró dentro de otro, como podrían ser los cloroplastos y mitocondrias, que se integraron para formar células vegetales y animales, respectivamente; o las bacterias que viven dentro de células de insectos (Espinosa, 2019). Asimismo, algunas micorrizas (endomicorrizas), pueden vivir inter o intracelularmente en las raíces de plantas, por lo que se pueden clasificar como hongos endófitos. Cuando las interacciones entre organismos son perjudiciales, al menos para uno de ellos, decimos que existe un *antagonismo*. Un insecto puede ser *parásito* de plantas i.e., vivir a expensas de ellas, causándoles daño o transmitir enfermedades virales.

line between the levels of interaction of a *parasite* and/or *pathogen*, from not becoming one or to stop from being one; this is determined by the affecting organism (*parasite* or *pathogen*), the organism affected (host) and their surrounding environment (Chitnis *et al.*, 2020; Sugio *et al.*, 2015).

Endophytes in plants and insects

In nature, microorganisms often have more than one function in different moments. Thus, *Metarhizium* can be saprobic (feeding off organic residues), entomopathogenic (attacks and kills insects) and endophytic. In turn, *Trichoderma* can mycoparasitize *Rhizoctonia* and other plant pathogens, but can also be saprobic and endophytic; its metabolism changes in endophytes according to the role they play (Sugio *et al.*, 2015). The seed, the vegetative material, the rhizosphere and the phyllosphere are points of entry and propagation of endophytic microorganisms (Lata *et al.*, 2018). These endophytic microorganisms can help plants counteract different types of biotic stresses such as pests, diseases, predators, weeds and invading plants, on the one hand, and abiotic stresses such as temperature, salinity, drought, pH, nutrients and heavy metals on the other. Plants respond to this type of stress by changing their physiology, metabolism and morphology. This can happen when they associate with endophytes, which **a)** induce plant gene regulation, in a function known as *induced resistance* (Lata *et al.*, 2018); **b)** produce beneficial metabolites for plants and harmful to weeds, pests and pathogens; some of these metabolites are phytohormones, antioxidants, alkaloids, terpenoids, derivatives of isocoumarin, quinones, flavonoids, chlorinated metabolites, phenol, phenolic acids, and others (Kaur, 2020; Torres and White, 2010). Other changes caused by endophytes in or around plants are: **1)** they act as

Mientras que los hongos, bacterias, nematodos y malezas pueden ser *fitoparásitos* y/o *fitopatógenos* (causando enfermedad) en las plantas. Los animales, las malezas y los propios microorganismos tienen sus *parásitos* y/o *patógenos*. Hay una línea muy sutil entre los diferentes niveles de interacción de un *parásito* y/o *patógeno*, de no convertirse o dejar de serlo; esto está determinado por el organismo que afecta (*parásito* o *patógeno*), el afectado (hospedero) y el ambiente que los circunscribe (Chitnis *et al.*, 2020; Sugio *et al.*, 2015).

Endófitos en plantas e insectos

En la naturaleza, los microorganismos suelen tener más de una función en distintos momentos. Así, *Metarhizium* puede ser saprobio (se alimenta de residuos orgánicos), entomopatógeno (ataca y mata insectos) y endófito; mientras que *Trichoderma* puede micoparasitar a *Rhizoctonia* y otros fitopatógenos, pero también puede ser saprobio y endófito; su metabolismo cambia en los endófitos según el papel que desempeñen (Sugio *et al.*, 2015). La semilla, el material vegetativo, la rizósfera y la filósfera son puntos de entrada y propagación de microorganismos endófitos (Lata *et al.*, 2018). Estos microorganismos endófitos pueden ayudar a las plantas a contrarrestar diversos tipos de estrés biótico como plagas, enfermedades, depredadores, malezas y plantas invasoras; y estrés abiótico como temperatura, salinidad, sequía, pH, nutrientes y metales pesados. Las plantas responden a estos tipos de estrés al cambiar su fisiología, metabolismo y morfología. Esto puede ocurrir cuando se asocian con endófitos, los que: **a)** inducen regulación de los genes de la planta. Función reconocida como *resistencia inducida* (Lata *et al.*, 2018); **b)** producen metabolitos benéficos para las plantas y perjudiciales para malezas, plagas y fitopatógenos, algunos de esos metabolitos son fitohormonas,

antagonisms against plant-harming organisms such as fungi, nematodes, bacteria and insects (they parasitize, compete, lyse, inhibit, intoxicate, prey); **2**) they solubilize nutrients for the plant; **3**) degrade plant or crop residues, which improves structural properties (aggregates) and soil fertility.

Endophyte-insect associations can be beneficial or harmful to insects. The microbiota inside the insects is ten times as numerous as the cells of insects. Endophytic bacteria inside the intestines of insects are crucial to them, since they directly or indirectly provide essential nutrients, fixate nitrogen and even synthesize part of their pheromones and allomones, which they use to communicate (Poveda-Arias, 2019). Insects may host microorganisms and viruses, some of which are harmful, inside their intestines or intracellularly. A long list of harmful microorganisms is known to act as pests to agricultural crops, including the codling moth *Cydia pomonella*; its pathogens, viruses, bacteria, fungi, microsporidia and nematodes were found after analyzing over 20 thousand specimens between larvae, pupae and adults in the years between 1952 and 2012 (Zimmermann *et al.*, 2013). Insects can transfer part of their microbiota to plants (including endophytes) and vice versa, where a gene transfer can occur, to the plant and from the plants to insects (Sugio *et al.*, 2015).

Endophytes and their benefits

The plant *Dichanthelium lanuginosum* can survive temperatures between 38 and 65 °C when associated to the endophytic fungus *Curvularia protuberata* (Redman *et al.*, 2002). *Leymus mollis*, known as “American dune grass”, lives next to beaches. When the plant has an endophytic relation with the fungus *Fusarium culmorum*, it displays no symptoms of wilt when kept for 14 days in a 500 mM solution of NaCl (Rodríguez *et al.* 2008). The 300 thousand plant species have

antioxidantes, alcaloides, terpenoides, derivados de isocumarina, quinonas, flavonoides, metabolitos clorados, fenol y ácidos fenólicos, entre otros (Kaur, 2020; Torres y White, 2010). Otros cambios que los endófitos causan dentro o alrededor de las plantas son: **1**) antagonismo en contra de organismos perjudiciales de las plantas como hongos, nematodos, bacterias e insectos (parasitan, compiten, lisan, inhiben, intoxican, depredan); **2**) solubilizan nutrimentos para la planta; **3**) degradan residuos de plantas o cosechas, lo que mejora propiedades de estructura (agregados) y fertilidad de los suelos.

Las asociaciones endófitos e insectos pueden ser benéficos o perjudiciales para los insectos. La microbiota dentro de los insectos es diez veces más numerosa que las células del propio insecto. Las bacterias endófitas dentro del intestino de los insectos son indispensables para ellos, ya que proporcionan de manera directa o indirecta nutrimentos esenciales, fijan nitrógeno e incluso sintetizan parte de sus feromonas y alelomonas, con las que se comunican (Poveda-Arias, 2019). Los insectos pueden alojar microorganismos y virus dentro de su intestino o intracelularmente, algunos de ellos son perjudiciales. Una larga lista de microorganismos perjudiciales se conoce para plagas de cultivos agrícolas. Entre ellos destaca la palomilla del manzano *Cydia pomonella* L., donde se detectaron sus patógenos, virus, bacterias, hongos, microsporidios y nematodos, después de analizar más de 20 mil ejemplares entre larvas, pupas y adultos entre los años 1952 a 2012 (Zimmermann *et al.*, 2013). Los insectos pueden transferir parte de su microbiota a las plantas (incluyendo endófitos) y viceversa, en donde puede haber transferencia de genes a la planta y de la planta a los insectos (Sugio *et al.*, 2015).

Endófitos y su beneficio

La planta *Dichanthelium lanuginosum* (Ell.) Gould puede sobrevivir entre 38 a 65 °C al aso-

one to two main endophytic fungi (Kaur, 2020). Additional applications of endophytic fungi include **a**) bioremediation, since they accumulate, degrade and detoxify heavy metals in plants; **b**) biomedicine, from the production of anti-cancer compounds and antibiotics to nanoparticles; **c**) the production of biodiesel; and **d**) the production of industrial enzymes (Yan *et al.*, 2018). *Trichoderma* spp., in addition to being endophytic, produces hydrophobin-type proteins, which, paired with enzymes, degrade PET plastics, which are currently important pollutants worldwide (Druzhinina, 2017).

Trichoderma* and *Metarhizium

The species of *Trichoderma* are widely used since, among other beneficial characteristics to plants, their potential to produce plant hormones stands out for stimulating growth in agricultural crops (Guzmán-Guzmán *et al.*, 2019). Since the 1990s, the species of this fungal genus are widely used as a biological control since they inoculate seeds (Mukhopadhyay *et al.*, 1992). In association with *Trichoderma harzianum*, over 278 volatile compounds were identified, some with a potential for fumigation (Siddiquee *et al.*, 2012). The genus *Trichoderma* has been estimated to have 400 species, some of which blend all the characteristics of endophytes mentioned, including the characteristics of growth-promoting bacteria (Sharma *et al.*, 2019). Another fungus with a potential for pest control is *Metarhizium* spp., which has a wide variety of species and is entomopathogenic to a wide variety of insects in Mexico and many other countries (Brunner-Mendoza *et al.*, 2019; Hernández-Rosas *et al.*, 2019). *Metarhizium anisopliae* has been used extensively and successfully for pests as important as locusts (*Schistocerca gregaria*) and grasshoppers (*Zonocerus variegatus*). With 2.5×10^{12} conidia/

ciarse con el hongo endófito *Curvularia protuberata* Nelson (Redman *et al.*, 2002). *Leymus mollis* (Trin.) Pilg., conocida como “la hierba de duna”, habita aledaña a las playas. Cuando la planta mantiene una relación endófitica con el hongo *Fusarium culmorum* Wm.G.Sm., no muestra síntomas de marchitez al permanecer en una solución de NaCl 500 mM durante 14 días (Rodríguez *et al.* 2008). Las 300 mil especies de plantas poseen entre uno a dos hongos endófitos principales (Kaur, 2020). Algunas aplicaciones adicionales de los hongos endófitos son: **a**) biorremediación, pues acumulan, degradan y desintoxican metales pesados en plantas; **b**) biomedicina, desde producción de compuestos anticancerígenos, antibióticos hasta nanopartículas; **c**) producción de biodiésel; y **d**) producción de enzimas industriales (Yan *et al.*, 2018). *Trichoderma* spp., además de ser endófito, produce proteínas tipo hidrofobinas, que acopladas a enzimas degradan plásticos PET, que actualmente representan contaminantes importantes a nivel mundial (Druzhinina, 2017).

Trichoderma* y *Metarhizium

Las especies de *Trichoderma* son utilizadas ampliamente debido a que, entre otras características benéficas para las plantas, destaca su potencial para producir hormonas vegetales que estimulan el crecimiento de los cultivos agrícolas (Guzmán-Guzmán *et al.*, 2019). Desde los años 90s, las especies de este género de hongo son ampliamente utilizadas como control biológico al inocular semillas (Mukhopadhyay *et al.*, 1992). En asociación con *Trichoderma harzianum* Rifai, fueron identificados más de 278 compuestos volátiles, algunos con potencial fumigante (Siddiquee *et al.*, 2012). Se calcula que el género *Trichoderma* podría tener 400 especies, y que algunas de ellas conjuntan todas las características de los endófitos mencionadas,

ha, *S. gregaria* can be controlled under moderate temperatures and in the nymph state of the insect (Van der Valk, 2007).

Beneficial organisms and agricultural sustainability

In addition to the problem of neglecting arable land, there is soil contamination and erosion. Every year, the worldwide use of pesticide *per capita* is one pound. Alongside this, in Mexico, highly dangerous pesticides are still used which are illegal in other countries that have more rigorous control systems (Bejarano, 2018). The successful use of beneficial organisms in agriculture undoubtedly brings us closer to sustainability. To reach such a goal, the ways of practicing science and technology and their application must be improved. A research agenda is also necessary to use endophytes, nitrogen fixators, insects for pest control and other beneficial organisms for agriculture and human activity. In Mexico, information on entomopathogens for agricultural and forest crops was recently reviewed (Pacheco Hernández *et al.*, 2019). Information was also reviewed for specific genera such as *Metarhizium* (Brunner-Mendoza *et al.*, 2019; Hernández-Rosas *et al.*, 2019) and *Trichoderma* (Guzmán-Guzmán *et al.*, 2019). Additionally, Mexico has a National Agri-food Health, Safety and Quality Service (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria) which has technical and biological information in the National Biological Control Reference Center (Centro Nacional de Referencia de Control Biológico), which has an important collection of entomopathogenic fungi. Recently, SADER established a National Genetic Resource Center with microbiological collections of interest to agriculture (Zelaya-Molina and Col. in this Special Edition). Mexico, a leader in

incluyendo características de las bacterias promotoras del crecimiento (Sharma *et al.*, 2019). Otro hongo con un potencial para el control de plagas es *Metarhizium* spp., quien tiene una amplia diversidad de especies y es entomopatógeno de una amplia gama de insectos en México y muchos países (Brunner-Mendoza *et al.*, 2019; Hernández-Rosas *et al.*, 2019). *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin se ha utilizado extensivamente y con éxito para plagas tan importantes como la langosta (*Schistocerca gregaria* Forsskål) y el saltamontes (*Zonocerus variegatus* L.). Con 2.5×10^{12} conidios/ha se puede controlar *S. gregaria* en temperatura moderada y estadio de ninfa del insecto (Van der Valk, 2007).

Organismos benéficos y la sostenibilidad agrícola

Adicional al problema del abandono de la tierra cultivable, está la contaminación y erosión del suelo. Cada año, el consumo a nivel mundial per cápita de pesticidas es de una libra; En adición, en México aún se utilizan pesticidas altamente peligrosos y prohibido en otros países con sistemas más rigurosos de control (Bejarano, 2018). El uso exitoso de organismos benéficos para la agricultura sin duda nos acercaría a la sustentabilidad. Para alcanzar tal fin, se debe mejorar las formas de hacer ciencia, tecnología y su aplicación. También es necesaria una agenda de investigación para utilizar endófitos, fijadores de nitrógeno, insectos para el control de plagas y demás organismos benéficos para la agricultura y la actividad humana. En México, la información de entomopatógenos benéficos para cultivos agrícolas y forestales se revisó recientemente (Pacheco Hernández *et al.*, 2019). También se ha revisado para géneros específicos como *Metarhizium* (Brunner-Mendoza *et al.*, 2019; Hernández-Rosas *et al.*, 2019) y *Trichoderma* (Guzmán-Guzmán *et al.*, 2019). Adicionalmente, nuestro país

Latin America in the application of the biological control in its official pest management model, has a directory of biological control agent-reproducing and commercializing laboratories in Mexico (SENASICA, 2020). Thus, Mexico has over 70 laboratories that produce beneficial organisms for agriculture and their number can be higher if low-scale artisanal productions are included. Ten years ago, the increase in the use of beneficial organisms for agricultural crops in Mexico was envisaged (García de León and Mier, 2010). In Mexico, the activities of the Mexican Biological Control Society (*Sociedad Mexicana de Control Biológico*), with over 500 members, display the relevance of this sustainable approach: 43 National Conferences in over 30 cities throughout the country; 6,500 talks; 51 national courses and 200 workshops in which over 6 thousand technicians and farmers have been trained (R. Lomelí. 2020. Personal communication). Cotes (2018) analyzes the current view of the status and potential in the use of beneficial organisms for plants with success stories in pest and disease control, as well as the challenges for the consolidation of biological control.

The current and potential impact of beneficial organisms

The massive adoption and economic impact of beneficial organisms (predator insects, parasitoids, growth-promoting bacteria, entomopathogens and endophytes) are limited in the world, although there are exceptions, such as the forage endophytes in New Zealand, which provide 200 million dollars a year; likewise, the number of patents of beneficial organisms is limited (Chitnis *et al.*, 2020). Mexico has successfully applied biological control with beneficial insects and fungi, the most outstanding of which are the control of locusts

cuenta con un Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria donde se tiene información técnica y biológica en el Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, el cual posee un importante acervo de hongos entomopatógenos. Recientemente, SADER estableció un Centro Nacional de Recursos Genéticos con acervos microbiológicos de interés para la agricultura (Zelaya-Molina y Col. en este Número Especial). México, líder en Latinoamérica en la aplicación del control biológico en su modelo oficial de manejo de plagas, cuenta con un directorio de laboratorios reproductores y comercializadores de agentes de control biológico en México (SENASICA, 2020). Así, México cuenta con más de 70 laboratorios que producen organismos benéficos para la agricultura y su número puede ser más si se incluyen producciones artesanales en baja escala. Desde hace 10 años se vislumbraba el crecimiento del uso de organismos benéficos para cultivos agrícolas en México (García de León y Mier, 2010). En México, las actividades de la *Sociedad Mexicana de Control Biológico*, con más de 500 socios, muestra la vigencia de este enfoque sustentable: 43 Congresos Nacionales en más de 30 ciudades del país; 6500 ponencias; 51 cursos nacionales y 200 talleres en los que se han capacitado más de 6000 técnicos y agricultores (R. Lomelí. 2020. Comunicación Personal). Cotes (2018), analiza el panorama actual del estatus y potencial del uso de organismos benéficos para las plantas con casos exitosos en el control de plagas y enfermedades, así como los retos para consolidar el control biológico. Similarmente, la Sociedad Mexicana de Control Biológico

Impacto actual y potencial de organismos benéficos

La adopción masiva y el impacto económico de los organismos benéficos (insectos depredadores,

Schistocerca piceifrons piceifrons and of the fruit fly *Ceratitis capitata* Wiedemann. In 2013, Mexico stood out for being the country with the third highest production of *Trichogramma* spp., but particularly for its megadiversity of beneficial insects, some of which were successfully used to control pests in other countries (Williams *et al.*, 2013). Some of which we can highlight are the genera of the bacteria *Wolbachia* and of the fungus *Trichoderma*. The former is strategic for the development of the biological control of pest insects (Bi and Wang, 2020) and the latter stands out for its habitat distribution and versatility for use in agriculture, biotechnology and bioremediation (Hu *et al.*, 2020; Guzmán-Guzmán, *et al.*, 2019; Sharma *et al.*, 2019). Appropriately and massively detecting, selecting and using beneficial organisms for cultivated plants would have an impact on one or more of the following components: **a)** mitigating different types of stress (biotic or abiotic); **b)** optimization of the use of water and fertilizers; **c)** reduction in the use of pesticides and fertilizers; **d)** increase in yield. All this would help reduce damages caused by new weeds, pests and diseases (invasive), as well as the effects of climate change; it would reduce pollution caused by agricultural activities and, in sum, agriculture would become increasingly sustainable (Chitnis *et al.*, 2020; Kaur, 2020; Sharma *et al.*, 2019; Cotes *et al.*, 2018; Poveda, 2018; Williams *et al.*, 2013).

Generation of knowledge and innovation

To escalate the beneficial functional relations towards a worldwide sustainable agriculture it is necessary to redirect investigation towards the production of knowledge that helps implement technology that is innovative and applicable to an agriculture, whether of traditional production or

parasitoides, bacterias promotoras del crecimiento, entomopatógenos y endófitos) son limitados en el mundo, aunque hay excepciones, como los endófitos de forrajes en Nueva Zelanda que benefician en 200 millones de dólares anualmente; asimismo, el número de patentes de organismos benéficos es limitado (Chitnis *et al.*, 2020). México ha aplicado exitosamente el control biológico con insectos y hongos benéficos. Destacan el control de la langosta *Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker y la mosca de la fruta *Ceratitis capitata* Wiedemann. En 2013, México destacó por ser el tercer país con más producción de *Trichogramma* spp.; pero, sobre todo, por su megadiversidad de insectos benéficos, algunos de ellos utilizados exitosamente para el control de plagas en otros países (Williams *et al.*, 2013). De manera significativa, destacan los géneros de la bacteria *Wolbachia* y del hongo *Trichoderma*; la primera, se erige como estratégica para un desarrollo del control biológico de insectos plaga (Bi y Wang, 2020); el segundo, sobresale por su distribución de hábitat y versatilidad para aplicarse en agricultura, biotecnología y biorremediación (Hu *et al.*, 2020; Guzmán-Guzmán, *et al.*, 2019; Sharma *et al.*, 2019). Al detectar, seleccionar y utilizar apropiada y masivamente organismos benéficos para las plantas cultivadas, se impactaría en uno o más de los siguientes componentes: **a)** mitigar diversos tipos de estrés (bióticos o abióticos); **b)** optimización del uso de agua y fertilizantes; **c)** disminución del uso de pesticidas y fertilizantes; **d)** incremento del rendimiento. Todo ello, ayudaría a reducir los daños por nuevas malezas, plagas y enfermedades (invasoras), así como los efectos del cambio climático; atenuaría la contaminación por la actividad agrícola y, en suma, se migraría hacia una agricultura sostenible (Chitnis *et al.*, 2020; Kaur, 2020; Sharma *et al.*, 2019; Cotes *et al.*, 2018; Poveda, 2018; Williams *et al.*, 2013).

an intensive and extensive production agriculture. The laboratory model that currently prevails must be complemented with work on the fields. In the context of COVID-19, the window of opportunity amidst the world's need for food, as well as the sustainability and food security facing the crisis of supply of inputs required mainly by middle and high technology agriculture must be used to create an agriculture of the future in line with the enormous climate, food and health challenges. Investigation for an avant-garde and sustainable agriculture must include: **a)** systemic studies of the beneficial organisms-plant relations at a field level; **b)** a scientific clarification of how such relations work; **c)** if they work, is it as a holobiom?; **d)** How does the environment affect functional relations?; **e)** How is the original holobiom of plants affected by the beneficial organisms-plant relations? And what would be the consequences for plants?; **f)** Identification of highly specific organisms, beneficial to plants, considering the integration of plant genomes in its genome; **g)** How would agricultural practices impact the beneficial organisms-plant relations? (Chitnis *et al.*, 2020; Sharma *et al.*, 2019; Cotes *et al.*, 2018; Williams *et al.*, 2013).

Perspectives

Mexico lacks a national beneficial organisms database for agriculture, although the vast official collections are merit worthy (SENASICA, 2020). They could be set up to optimize the study and application of beneficial organisms. Ecological studies at a national scale on beneficial organisms are also necessary, similar to those carried out in China for *Trichoderma* spp. (Hu *et al.*, 2020). The isolations or strains of microorganisms (including viruses that attack insects), as well as specimens of parasitoid and predatorial insects, should be

Generación de conocimiento e innovación

Para escalar las relaciones funcionales benéficas hacia una agricultura sostenible a nivel mundial es necesario reenfocar la investigación a generar conocimiento que permita la implementación tecnológica innovadora y aplicable a una agricultura, tanto de producción tradicional, como a una de producción intensiva y extensiva. El modelo de laboratorio que actualmente prevalece debe complementarse con el campo. En el contexto COVID-19, la ventana de oportunidad ante la necesidad mundial de alimentos, la sustentabilidad y seguridad alimentarias ante la crisis de suministros de insumos requeridos principalmente por la agricultura de mediana y alta tecnología debe aprovecharse para construir una agricultura del futuro acorde con los grandes retos climáticos, alimentación y salud. La investigación para una agricultura vanguardista y sustentable debe incluir: **a)** estudios sistémicos de las relaciones organismos benéficos-planta a nivel de campo; **b)** esclarecer científicamente ¿Cómo funcionan dichas relaciones?; **c)** si tales relaciones funcionan ¿Lo hacen como un holobioma?; **d)** ¿Cómo influye el ambiente en las relaciones funcionales?; **e)** ¿Cómo el holobioma original de las plantas se afecta por las relaciones de organismos benéficos-planta? y ¿Cuáles serían las consecuencias para las plantas?; **f)** Identificar organismos benéficos altamente específicos para las plantas tomando en cuenta la integración en su genoma de genes de la planta; **g)** ¿Cómo impactan las prácticas agrícolas en las relaciones organismos benéficos-planta? (Chitnis *et al.*, 2020; Sharma *et al.*, 2019; Cotes *et al.*, 2018;; Williams *et al.*, 2013).

Perspectivas

México carece de una base de datos nacional de organismos benéficos para la agricultura, aunque son

recorded in a national database with agronomic and ecological information attached to each record. The way to generate investigation, technology and the adoption of farming technology must be consolidated. In this sense, India sets the example with the ‘*National Agricultural Innovation Project*’, constituted in 2014 with a fund of 257 million dollars and which gathered 850 work groups (investigators, technologists, extensionists and producers). A part of the project focused on species for the biological control of pests and diseases such as *Trichogramma*, *Chrysoperla*, *Trichoderma* and *Pseudomonas*. The finding of *Chrysoperla zastrowi sillemi* is worth highlighting, since endophytic bacteria and fungi were found which had the ability to confer resistance to insecticides, desiccation and temperature (Hemalatha *et al.*, 2014; Hemalatha, 2015). With four *C. zastrowi sillemi* larvae in a greenhouse, the amount of *Myzus persicae* per tomato plant was kept at 0.5 or less, as well as one whitefly *Bemisia tabaci* or less (Nair *et al.*, 2020).

Communication between researchers, producers and marketers of biological agents is crucial, and particularly the exchange of experiences, microorganisms and beneficial insects between researchers. This would require a regulation of the rights that researchers and institutions may have on the organisms. In addition to organisms that are beneficial to agriculture, organisms useful to other areas such as medicine, bioremediation, etc. must also be explored. The creation of public policies that lead to a national research agenda where public and private institutions and producers participate is also urgent. Internationally, there is a growing interest towards promoting comprehensive research and development systems that transcend academic interest. Only in this way will there ever be an impact on sustainable agriculture models (Chitnis *et al.*, 2020; Sharma *et al.*, 2019; Cotes *et al.*, 2018; Williams *et al.*, 2013).

meritorias las vastas colecciones oficiales (SENASICA, 2020). Esta podría habilitarse para optimizar el estudio y aplicación de organismos benéficos. Es también necesario estudios ecológicos a nivel nacional sobre organismos benéficos, semejantes a los realizados en China para *Trichoderma* spp. (Hu *et al.*, 2020). Los aislados o cepas de microorganismos (incluyendo virus que atacan insectos), así como ejemplares de insectos parasitoides y depredadores, deberían ser registrados, en una base de datos nacional, con información agronómica y ecológica asociada a cada registro. La forma de generar investigación, tecnología y la adopción de tecnología agropecuaria debe consolidarse. Al respecto, la India ejemplifica con el proyecto ‘*National Agricultural Innovation Project*’, constituido en 2014 con un fondo de 257 millones de dólares, conjuntó 850 grupos de trabajo (investigadores, tecnólogos, extensionistas y productores). Una parte del proyecto, se enfocó en especies útiles para el control biológico de plagas y enfermedades como *Trichogramma*, *Chrysoperla*, *Trichoderma* y *Pseudomonas*. Destaca la obtención de *Chrysoperla zastrowi sillemi* (Esben-Petersen), donde se encontraron bacterias y hongos endófitos capaces de conferir resistencia a insecticidas, desecación y temperatura (Hemalatha *et al.*, 2014; Hemalatha, 2015). Con cuatro larvas de *C. zastrowi sillemi* en invernadero, se logró mantener en 0.5 o menos individuos de *Myzus persicae* (Sulzer) y una o menos mosquita blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) por planta de tomate (Nair *et al.*, 2020).

Es imprescindible la comunicación entre investigadores, productores y comercializadores de agentes biológicos. Particularmente fomentarse el intercambio de experiencias, microorganismos e insectos benéficos entre investigadores. Para ello, habrá que regular los derechos que los investigadores e instituciones tengan sobre los organismos. Además de organismos benéficos a la agricultura,

Final considerations

At a field or greenhouse level, we can realize the impact of a stress factor on crops and how they affect their relations with pests and diseases (Polack, 2008; Samaniego *et al.*, 2008). Therefore, gathering information on crop management is crucial to apply and improve biological control and obtain other benefits from organisms with endophytic abilities. We may have to consider gene modification and expression (epigenetic) induced by endosymbionts, as well as its impact in the holobiont microorganisms-insects-plant (Chitnis *et al.*, 2020; Poveda, 2019; Sugio *et al.*, 2015). For example, the bacteria that live intracellularly in aphids, inside cells called bacteriocytes, lose a large portion of their genome (Espinosa, 2019). In rice, pea, pigeon pea, chickpea, maize, soybean, tomato and wheat, over 100 genera of beneficial endophytic fungi have been found. Up to 60% of them were found in one crop and 8% (*Alternaria*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Piriformospora* and *Trichoderma*) in all eight crops. In this way, there is a combination of specific fungi *versus* generalists (Rana *et al.*, 2019). Therefore, it is common to find beneficial or generalist endophytes, generally common soil fungi, except for *Piriformospora indica* (Liu *et al.*, 2020). This fungus has a wide variety of host plants that it protects from phytopathogens, this could be evaluated in Mexico as a beneficial endophyte, likewise *Trichoderma* spp. isolations from different collections in the country. The specificity of endophytes goes beyond their ability to associate with plants; it represents an enzymatic functional diversity, typical of an adaptation to a plant lifestyle (Knapp *et al.*, 2018). The experience of our laboratory suggests that we can find large amounts of endophytes, most of which are abundant in some soils. A quick way of

también se debe explorar organismos útiles en otras áreas como medicina, biorremediación, etc. Urge general política pública orientada a direccionar una agenda de investigación nacional donde participen instituciones públicas, privadas y productores. A nivel internacional existe un creciente interés por impulsar sistemas integrales de investigación y desarrollo que trascienda el interés académico. Solo así se podrá impactar en modelos sostenibles agrícolas (Chitnis *et al.*, 2020; Sharma *et al.*, 2019; Cotes *et al.*, 2018; Williams *et al.*, 2013).

Consideraciones finales

A nivel de campo o invernadero, nos podemos percatar del impacto que tienen un factor de estrés en cultivos y cómo afectan su relación con plagas y enfermedades (Polack, 2008; Samaniego *et al.*, 2008). Por consiguiente, recabar información de manejo del cultivo es crucial, para aplicar y mejorar el control biológico y obtener otros beneficios de organismos con capacidad endófito. Habrá que tomar en cuenta la modificación de genes y su expresión (epigenética) inducida por endosimbiontes, así como su impacto entre el holobionta microorganismos-insectos-planta (Chitnis *et al.*, 2020; Poveda, 2019; Sugio *et al.*, 2015); por ejemplo, las bacterias que viven intracelularmente en los pulgones, dentro de células llamadas bacteriocitos, pierden gran parte de su genoma (Espinosa, 2019). En los cultivos de arroz, chícharo, frijol gandú, garbanzo, maíz, soya, tomate y trigo se han encontrado más de 100 géneros de hongos endófitos benéficos. Hasta 60% de ellos en un solo cultivo y 8% (*Alternaria*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Piriformospora* y *Trichoderma*) en los ocho cultivos. Así, se tiene una combinación de hongos específicos *versus* generalistas (Rana *et al.*, 2019). Por tanto, es común encontrar endófitos benéficos específicos o generalistas, por

knowing if they have a possible relation with roots is to make them grow in a conventional medium (PDA) and then place seeds. The seeds with an affinity to the fungus germinate and grow roots in the culture medium (Figure 1). In this way, we would find a large number of fungi with an affinity to cultivated plants in a country as megadiverse as Mexico. Seeds and seedlings can be inoculated with the selected fungi, which would provide a very large number of plant responses. At the end of the cultivation cycle, it would be possible to isolate an inoculated fungi if it has an endophytic activity. (Figura 2) (J. Samaniego. Data not published),

The beneficial interactions model of the organisms should be emulated among all the sectors interested in this alternative. Researchers should be able to exchange isolations, experiences and support regional collaboration models. Businesses that reproduce microorganisms for biological control and biofertilizers could sell them. All this within a framework that protects copyrights. The final purpose of the investigation is to generate technology for the farmer. Perseverant and cooperative work in research usually results in an economic impact. The entomopathogen *Ophiocordyceps sinensis*, possesses properties in medicine, which makes its value worth 1.2 million pesos per kilogram, additionally, it benefit the scientific and industrial sectors (Li *et al.*, 2019).

The sustainability aims to maintain human health, that would allow a better facing of this and further pandemics, by producing food that strengthen the immune system. Moreover, the food production would require less supplies or a better management of these attenuate the abiotic and biotic stresses, all of these through the association of beneficial organisms to the plants.

lo general hongos comunes del suelo, excepto *Piriformospora indica* (Liu *et al.*, 2020). Este hongo tiene una amplia gama de plantas hospederas a las que protege de fitopatógenos. Podría evaluarse en México como endófito benéfico al igual que aislados de *Trichoderma* spp. provenientes de distintas colecciones del país. La especificidad de los endófitos va más allá de su capacidad de asociarse con las plantas; representa una diversidad funcional enzimática, propia de una adaptación al estilo de vida de las plantas (Knapp *et al.*, 2018). La experiencia de nuestro laboratorio sugiere que podemos encontrar multitud de endófitos, muchos de ellos también abundantes en algunos suelos. Una manera rápida de saber si tiene una posible relación con las raíces, es hacerlos crecer en medio convencional (PDA) y luego colocar semillas. Las semillas afines al hongo, logran germinar y enraizar en el medio de cultivo (Figura 1). De esta manera, detectaríamos una multitud de hongos afines a plantas cultivadas, en un país megadiverso como México. Posteriormente, se pueden inocular semillas y plántulas con los hongos seleccionados, en cuyo caso se obtendrían multitud de respuestas en planta. Al final del ciclo del cultivo, se podrá reaislar el hongo inoculado si posee una propiedad endófito (Figura 1) (J. Samaniego. Datos No publicados).

El modelo de interacciones benéficas de los organismos debería emularse entre todos los sectores interesados en esta alternativa. Los investigadores podrían intercambiar aislamientos, experiencias y apoyar modelos de colaboración regionales. Las empresas que reproducen microorganismos para control biológico y biofertilizantes podrían comercializarlos. Todo ello, en un marco que proteja los derechos de autoría. La finalidad última de la investigación es generar tecnología para el agricultor. El

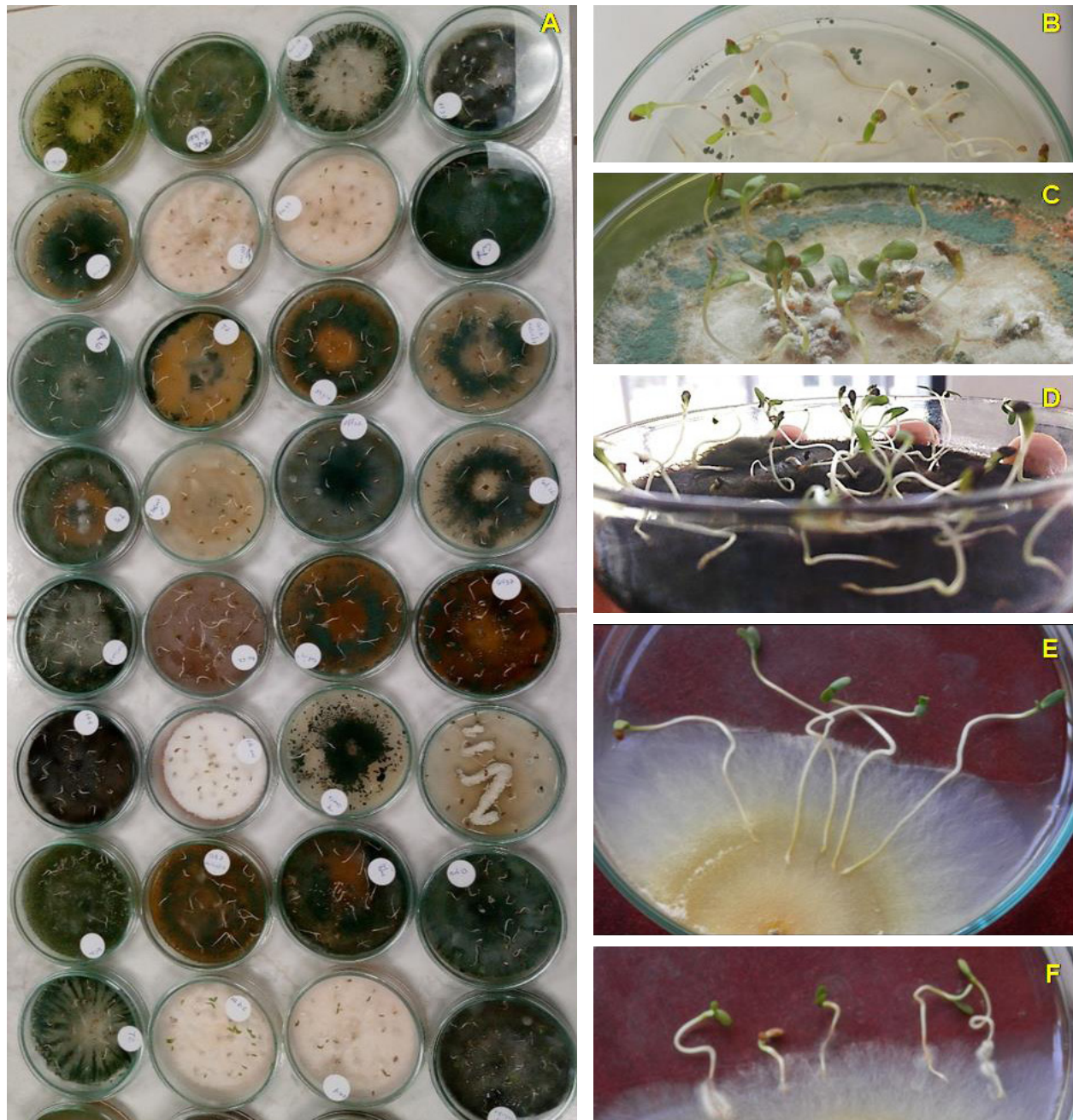


Figure 1. Evaluation of endophytic fungi in germination of alfalfa (*Medicago sativa*) and watermelon (*Cucumis melo*) seeds in PDA media. A. Germination of the alfalfa and watermelon seeds on different fungi colonies. B. Germination of alfalfa on colonies of *Trichoderma* sp. in water-agar. C. Alfalfa seedlings on fungi colonies with root growth on the media. E. Germination of alfalfa seeds, without previous disinfection with NaOCl. F. Germination of disinfected seed.

Figura 1. Evaluación de hongos endofíticos en germinación de semillas de alfalfa (*Medicago sativa*) y melón (*Cucumis melo*) en medio PDA. A. Germinación de semillas de alfalfa y melón sobre diferentes colonias de hongos; B. Germinación de alfalfa junto a colonias de *Trichoderma* sp. en agua-agar; C. Plántulas de alfalfa sobre colonias de *Trichoderma* sp. en aparente interacción positiva; D. Plántulas de alfalfa sobre colonias del hongo con crecimiento radicular en el medio; E. Germinación de semillas de alfalfa, sin previa desinfección con NaOCl; F. Germinación de semilla desinfectada.

ACKNOWLEDGMENT

I thank Daniela Samaniego-Castruita (University of California San Diego/La Jolla Institute for Immunology), for her suggestions and revision to this manuscript.

LITERATURE CITED

- Bejarano González F (Ed.). 2018. Los plaguicidas altamente peligrosos en México. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, AC RAPAM. <https://www.rapam.org/wp-content/uploads/2017/09/Libro-Plaguicidas-Final-14-agst-2017sin-portada.pdf>
- Bi J, and Wang YF. 2020. The effect of the endosymbiont *Wolbachia* on the behavior of insect hosts. *Insect science* 27(5):846-858. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1744-7917.12731>
- Brunner-Mendoza C, Reyes-Montes, MDR, Moonjely S, Bidochka McJ, and Toriello C. 2019. A review on the genus *Metarhizium* as an entomopathogenic microbial biocontrol agent with emphasis on its use and utility in Mexico. *Biocontrol Science and Technology* 29(1): 83-102. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1531111>
- Chitnis VR, Suryanarayanan TS, Nataraja KN, Prasad SR, Oelmüller R, and Shaanker RU. 2020. Fungal Endophyte-Mediated Crop Improvement: The Way Ahead. *Frontiers in Plant Science* 11: Article 561007. <https://pdfs.semanticscholar.org/5960/ce0d67c3fe5291735fe7d87e7568cef64caf.pdf>
- Cotes AM, (Ed.). 2018. *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros*. Vol. 1 y 2. Editorial AGROSAVIA. Mosquera, Colombia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/33829>
- Druzhinina, I. 2017. Using mother nature to help clean up mother nature. *Scientia.global* 113: 93-96. <https://www.scientia.global/wp-content/uploads/2017/04/Irina-Druzhinina-single-pages.pdf>
- Eguarte LE, Aguirre-Liguori JA, Jardón-Barbolla L, Aguirre-Planter E, and Souza, V. 2013. Genómica de poblaciones: nada en Evolución va a tener sentido si no es a la luz de la genómica, y nada en genómica tendrá sentido si no es a la luz de la evolución. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 16(1): 42-56. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revespciequibio/cqb-2013/cqb131e.pdf>
- Espinosa JC. 2019. *Aproximación teórica a la evolución de los endosimbiontes bacterianos de los áfidos*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid España. <https://eprints.ucm.es/60084/1/T41866.pdf>
- García de León S y Mier T. 2010. Visión general de la producción y aplicación de bioplaguicidas en México. *Sociedades Rurales, Producción Y Medio Ambiente* 10 (20): 37-63. <https://biblat.unam.mx/hevila/dadesruralesproduccionymedioambiente/2010/vol10/no20/2.pdf>
- Geras'kin S, Oudalova A, Dikareva N, Spiridonov S, Hinton T, Chernonog E, and Garnier-Laplace J. 2011. Effects of

trabajo perseverante y cooperativo en investigación, suele tener como resultado un impacto económico. El entomopatógeno *Ophiocordyceps sinensis*, con propiedades adicionales en medicina, se cotiza en 1.2 millones de pesos por kilogramo beneficiando al sector científico e industrial (Li *et al.*, 2019).

La sostenibilidad tiene como objetivo mantener la salud humana, que permitiría enfrentar mejor esta y otras pandemias, mediante la producción de alimentos que fortalezcan el sistema inmunológico. Además, la producción de alimentos requeriría menos insumos o un mejor manejo de estos atenuando los estreses abióticos y bióticos, todo ello mediante la asociación de organismos benéficos a las plantas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Daniela Samaniego-Castruita (Universidad de California en San Diego / Instituto La Jolla de Inmunología), por sus sugerencias y revisión de este manuscrito.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- radioactive contamination on Scots pines in the remote period after the Chernobyl accident. *Ecotoxicology* 20: 1195-1208. <http://www.ecoradmod.narod.ru/rus/publication2/Geraskin2011.pdf>
- González-Salgado IL, Rivera-Navarro J, Padilla-Bernáldez J, y Gullón-Tosio P. 2021. Epidemocracia. Nadie está a salvo si no estamos todos a salvo. *Gaceta Sanitaria*. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.11.007>
- Gordon SP, Contreras-Moreira B, Woods DP, Des Marais DL, Burgess D, Shu S,.... and Vogel JP. 2017. Extensive gene content variation in the *Brachypodium distachyon* pan-genome correlates with population structure. *Nature Communications* 8 (1):1-13. <https://www.nature.com/articles/s41467-017-02292-8.pdf?origin=ppub>
- Guerra-Sierra, B. E. 2008. Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Revista Tecnología En Marcha*, 21(1):191-201. [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/1352](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1352)
- Guzmán-Guzmán, P, Porrás-Troncoso, MD, Olmedo-Monfil V, and Herrera-Estrella, A. 2019. *Trichoderma* species: versatile plant symbionts. *Phytopathology* 109(1): 6-16. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHYTO-07-18-0218-RVW>



- Hemalatha BN, Venkatesan T, alali SK, and Reetha B. 2014. Distribution and characterization of microbial communities in *Chrysoperla zastrowi sillemi*, an important predator of sap sucking insect pests. African Journal of Microbiology Research 814:1492-1500. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6506>
- Hemalatha BN. 2015. Studies on characterization of endosymbionts of *Chrysoperla zastrowi sillemi* Esben Peterson and their role on the fitness attribute. PhD Thesis. University of Mysore, India. <http://hdl.handle.net/10603/62254>
- Hernández-Rosas F, García-Pacheco LA, Figueroa-Rodríguez, KA, Figueroa-Sandoval B, Salinas Ruiz J, Sangerman-Jarquín DM y Díaz-Sánchez EL. 2019. Análisis de las investigaciones sobre *Metarhizium anisopliae* en los últimos 40 años. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 22(3):155-166. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10nspe22/2007-0934-remexca-10-spe22-155-en.pdf>
- Horton R. 2020. Offline: COVID-19 is not a pandemic. Lancet, 396(10255), 874. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32000-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32000-6)
- Hu J, Zhou Y, Chen K, Li J, Wei Y, Wang Y,.... and Denton, MD. 2020. Large-scale *Trichoderma* diversity was associated with ecosystem, climate and geographic location. Environmental Microbiology 22(3):1011-1024. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14798>
- Kaur, T. 2020. Fungal Endophyte-Host Plant Interactions: Role in Sustainable Agriculture. Sustainable Crop Production 211. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.92367>
- Knapp DG, Németh JB, Barry K, Hainaut, M., Henrissat, B, Johnson J,.... and Ohm RA. 2018. Comparative genomics provides insights into the lifestyle and reveals functional heterogeneity of dark septate endophytic fungi. Scientific reports 8(1):1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24686-4>
- Lata R, Chowdhury S, Gond SK, and White Jr JF. 2018. Induction of abiotic stress tolerance in plants by endophytic microbes. Letters in applied microbiology 66(4):268-276. <https://doi.org/10.1111/lam.12855>
- Li X, Liu Q, Li W, Li Q, Qian Z, Liu X, Dong C. 2019. A breakthrough in the artificial cultivation of Chinese cordyceps on a large-scale and its impact on science, the economy, and industry. Critical Review Biotechnology 39(2):181-191. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07388551.2018.1531820>
- Liu Y, Jin-Li CAO, Zou YN, Qiang-Sheng WU, and Kamil KUČA. 2020. *Piriformospora indica*: a root endophytic fungus and its roles in plants. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 48(1):1-13. <https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/11761/8880>
- Martín-Moreno JM, Arenas A, Bengoa R, Borrell C, Franco M, García-Basteiro A,.... y Vives-Cases, C. 2021. Reflexiones sobre cómo evaluar y mejorar la respuesta a la pandemia de COVID-19. Gaceta Sanitaria. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.11.008>
- Mata-González R. 2020. Cambio Climático e Impacto Ambiental. Memoria XVI Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas. Durando, México. (En prensa). <https://congresorebiza.mx/>
- Mukhopadhyay AN, Shrestha SA and Mukherjee PK. 1992. Biological seed treatments for control of soil borne plant pathogens. Plant Protection Bulletin. FAO 40 3:21-30. [https://books.google.com.mx/books/about/FAO\\_Plant\\_Protection\\_Bulletin.html?id=XiZHp7LyolsC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.mx/books/about/FAO_Plant_Protection_Bulletin.html?id=XiZHp7LyolsC&redir_esc=y)
- Nair IJ, Sharma S, and Kaur R. 2020. Efficacy of the green lace wing, *Chrysoperla zastrowi sillemi* Esben-Peterson Neuroptera: Chrysopidae, against sucking pests of tomato: an appraisal under protected conditions. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 30(1):1-6. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00277-2>
- National Agricultural Innovation Project, Final Report 2014. An Initiative towards Innovative Agriculture. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi, India. <https://naip.icar.gov.in/download/nai-final-reports.pdf>
- Pacheco Hernández, M, Reséndiz Martínez, J, and Arriola Padilla, V. J. 2019. Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: Una revisión. Revista mexicana de ciencias forestales 10(56):4-32. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.496>
- Polack, LA. 2008. Interacciones tritróficas involucradas en el control de plagas de cultivos hortícolas Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Argentina. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/4388/Documento\\_completo\\_.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/4388/Documento_completo_.pdf?sequence=1)
- Poveda-Arias, J. 2019. Los microorganismos asociados a los insectos y su aplicación en la agricultura. Revista Digital Universitaria 20 (1): 1-15. <https://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a2>
- Rana KL, Kour D, Sheikh I, Dhiman A, Yadav N, Yadav AN, ... and Saxena AK. 2019. Endophytic fungi: biodiversity, ecological significance, and potential industrial applications. In Recent advancement in white biotechnology through fungi pp. 1-62. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10480-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10480-1_1)
- Redman RS, Sheehan KB, Stout RG, Rodriguez RJ. and Henson JM. 2002. Thermotolerance generated by plant/fungal symbiosis. Science 298(5598):1581-1581. <https://www.howplantswork.com/hotplants/PDF/Redman.pdf>
- Rodriguero, MS. 2013. *Wolbachia*, una pandemia con posibilidades. Revista de la Sociedad Entomológica Argentina 72(3):117-137. <https://www.redalyc.org/pdf/3220/322030024001.pdf>
- Rodriguez, RJ, Henson J, Van Volkenburgh E, Hoy M, Wright L, Beckwith F, Kim YO, and Redman RS. 2008. Stress tolerance in plants via habitat-adapted symbiosis. The ISME journal 24:404-416. <https://www.nature.com/articles/ismej2007106/>
- Samaniego-Gaxiola JA, Pedroza-Sandoval A, Bravo A, Sánchez JF, Peña-Chora G, Mendoza-Flores D, Chew-Madinaveitia Y y Gaytán-Mascorro A. 2019. Fumigación con ácidos acéticos y antimicrobianos para disminuir mortalidad de *Chrysoperla carnea* por infección indeterminada. Revista mexicana de ciencias agrícolas 10(5):973-986. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n5/2007-0934-remexca-10-05-973-en.pdf>
- Samaniego-Gaxiola, J. A, Ramírez-Delgado, M, Pedroza-Sandoval, A, and Nava-Camberos, U. 2008. Asociación

- entre pudrición texana *Phymatotrichopsis omnivora* e insectos barrenadores del nogal *Carya illinoensis*. *Agricultura Técnica en México* 34:21-32. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v34n1/v34n1a3.pdf>
- SENASICA. 2020. <https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/acciones-estrategicas-de-sanidad-vegetal>
- Sharma S, Kour D, Rana KL, Dhiman A, Thakur S, Thakur P,... and Yadav AN. 2019. *Trichoderma*: biodiversity, ecological significances, and industrial applications. In *Recent advancement in white biotechnology through fungi* pp. 85-120. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10480-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10480-1_3)
- Siddiquee S, Cheong E, Taslima K, Hossain K, and Hasan M. 2012. Separation and Identification of volatile compounds from liquid cultures of *Trichoderma harzianum* by GC-MS using three different capillary columns. *Journal of Chromatographic Science* 50:358-367. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123275901>
- Sugio A, Dubreuil G, Giron D, and Simon JC. 2015. Plant-insect interactions under bacterial influence: ecological implications and underlying mechanisms. *Journal of Experimental Botany* 66(2):467-478. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01312942/>
- Torres MS, White JF. 2010. Grass Endophyte-Mediated Plant Stress Tolerance: Alkaloids and Their Functions. In: Seckbach J, Grube M. eds *Symbioses and Stress. Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology*, Vol. 17. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9449-0\\_24](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9449-0_24)
- Van der Valk, H. 2007. Review of the efficacy of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* against the desert locust. Desert Locust Technical Series. FAO, Rome. <http://www.fao.org/ag/locusts/common/ecg/1295/en/TS34e.pdf>
- Wang CH, Hou R, Wang M, He G, Li BG, and Pan RL. 2020. Effects of wet atmospheric nitrogen deposition on epiphytic lichens in the subtropical forests of Central China: Evaluation of the lichen food supply and quality of two endangered primates. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 190:110128. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110128>
- Williams T, Arredondo-Bernal HC, and Rodríguez-del-Bosque LA. 2013. Biological pest control in Mexico. *Annual Review of Entomology*, 58:119-140. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153552>
- Yan L, Zhao H, Zhao X, Xu X, Di Y, Jiang C,... and Jin M. 2018. Production of bioproducts by endophytic fungi: chemical ecology, biotechnological applications, bottlenecks, and solutions. *Applied Microbiology and Biotechnology* 102(15):6279-6298. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9101-7>
- Zimmermann, G Huger AM, and Kleespies RG. 2013. Occurrence and Prevalence of Insect Pathogens in Populations of the Codling Moth, *Cydia pomonella* L.: A Long-Term Diagnostic Survey. *Insects* 43:425-446. <https://doi.org/10.3390/insects4030425>



# Mexican native varieties and plant health in the context of COVID-19: The case of *Solanum lycopersicum*

## Variedades nativas mexicanas y fitosanidad en el contexto del COVID-19: Caso *Solanum lycopersicum*

Hipolito Cortez-Madriral\*, Rineaud Nord, Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Michoacán, Justo Sierra # 28 Colonia Centro, CP 59510, Jiquilpan, Michoacán, México; Edgar Villar-Luna, CONACYT, CIIDIR Unidad Michoacán. \*Corresponding author: hcortezm@ipn.mx.

Received: March 01, 2021.

Accepted: March 30, 2021.

Cortez-Madriral H, Nord R and Villar-Luna E. 2021. Mexican native varieties and plant health in the context of COVID-19: The case of *Solanum lycopersicum*. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 282-292. DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-19>

**Abstract.** The importance of native Mexican varieties in agricultural food production is analyzed, discussed and reflected upon, particularly regarding emergency situations such as the pandemic caused by the SARS-CoV-2 virus. The main example used is the tomato, *Solanum lycopersicum*, comparatively with commercial varieties. Evidence is provided of the higher tolerance of native varieties to pests and diseases. When grafted onto commercial varieties, they maintained their tolerance, but also increased their yield. Before and perhaps during the pandemic, native tomato varieties have been an important food source for several marginalized communities in Mexico. The analysis suggests that the agricultural food production based on native varieties may help solve problems in the

**Resumen.** Se analiza, discute y reflexiona sobre la importancia de las variedades nativas mexicanas en la producción agroalimentaria, particularmente en situaciones de emergencia como la pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2. Se ejemplifica con el jitomate, *Solanum lycopersicum*, comparativamente con variedades comerciales. Se muestran evidencias de mayor tolerancia de variedades nativas a plagas y enfermedades. Cuando se injertaron con variedades comerciales, mantuvieron su tolerancia; pero, además, incrementaron su rendimiento. Antes y probablemente durante la pandemia, las variedades nativas de jitomate han sido fuente importante de alimento para numerosas comunidades marginadas de México. El análisis sugiere que la producción agroalimentaria basada en variedades nativas puede subsanar problemas en la cadena de suministros de insumos agrícolas de importación reduciendo además la dependencia de agroquímicos, fertilizantes y variedades comerciales y favorecer la producción familiar de alimentos. Una menor dependencia de insumos industrializados coadyuvaría a la autosuficiencia y soberanía

supply chain of imported agricultural inputs, while also solving the dependency on agrochemicals, fertilizers and commercial varieties, and promoting family-produced foods. A lower dependence on industrialized inputs would contribute towards self-sufficiency and food sovereignty, with nutritious and innocuous foods. In times of a pandemic, the family production model in marginalized rural settings would help reduce the mobility of people and the risk of contagion, increase food security and reduce SARS-CoV-2 risk factors due to the incidence of chronic diseases, particularly metabolic diseases.

**Key words:** wild tomato, pest, diseases, SARS-CoV-2.

### The productive agricultural paradigm

Unlike the wide diversity of varieties adapted to the environment, the modern agricultural paradigm has produced the idea of putting the environment at the service of the genotype (Sarandón, 2014). Thus, worldwide food production is based on reduced number of varieties, highly productive yet eventually vulnerable to pests, diseases and other environmental factors such as water stress or frosts. As a response, the modern agricultural production model uses high amounts of energy in the form of organo-synthetic pesticides (Altieri and Nicholls, 2010). Pest control in Mexico and in many areas of the world is characterized by being more 'calendarized' than predictive, resulting in programmed pesticide applications, regardless of the type of pest, disease or weed. In the end, it becomes a vicious circle, highly dependent on pesticide agroecosystems: the environment at the service of the genotype. Problems caused by the irrational use of pesticides have been widely

alimentaria, con alimentos nutritivos e inocuos. En tiempo de pandemia, el modelo familiar productivo en entornos rurales marginados favorecería menor movilidad de personas y riesgos de contagio, seguridad de alimentos y reducción de factores de riesgo al SARS-CoV-2 por la incidencia de enfermedades crónicas en particular las metabólicas.

**Palabras clave:** Jitomate silvestre, plagas, enfermedades, SARS-CoV-2.

### El paradigma agrícola productivo

A diferencia de la amplia diversidad de variedades nativas adaptadas al medio, el paradigma agrícola moderno ha generado la idea de poner el ambiente al servicio del genotipo (Sarandón, 2014). Así, la producción mundial de alimentos se basa en un reducido número de variedades, altamente productivas pero eventualmente vulnerables a plagas, enfermedades y otros factores ambientales como estrés hídricos o heladas. Como respuesta, el modelo de producción agrícola moderno utiliza altas cantidades de energía en forma de plaguicidas órgano-sintéticos (Altieri y Nicholls, 2010). El control de plagas en México, y muchas partes del mundo, se caracteriza por ser más 'calendarizada' que predictiva resultando en aplicaciones programadas de plaguicidas independientemente del nivel plaga, enfermedad o maleza. Al final, opera un círculo vicioso, con alta dependencia de agroecosistemas de los plaguicidas: el ambiente al servicio del genotipo. Los problemas derivados del uso irracional de plaguicidas han sido ampliamente documentados (Devine *et al.*, 2008); pero quizá el más importante, sea el daño a la salud humana (Seefoó, 2005).

Cuando ocurren emergencias nacionales como la pandemia COVID-19 que nos afecta desde

documented (Devine *et al.*, 2008), but perhaps the most important one is the damage caused to human health (Seefoó, 2005).

When national emergencies occur, like the COVID-19 pandemic that has affected us all since 2020, the limitations of the modern agricultural model become more evident. As confirmed, the global economy has become seriously slumped, and the effect on agriculture as a primary economic activity was no exception (CEPAL, 2020; World Bank, 2020). The high dependency on agrochemicals, of which have been imported, as well as on many other inputs due to the deterioration of the supply chains, has affected food production and distribution (CEPAL, 2020). Should the pandemic be extended, with affected supply chains and the weakening of production units, the yield of monoculture varieties would be highly affected by the incidence of pests and diseases. In addition, the effect of climate change would enhance its negative impact on modern agricultural systems (Salcedo and Guzmán, 2014). Two of the most widely accepted strategies to reduce the use of pesticides in agriculture are the ecological management of pathosystems and integrated pest management with plant resistance as the main strategy (Kogan, 1990; Robinson, 1996). The main source of resistance to pests and diseases is in the ‘endemic parents of cultivated plants’ and in ‘creole varieties’ (Labate *et al.*, 2007), both hereinafter referred to as ‘native varieties.’

The aim of this text is to analyze, discuss and reflect upon the importance that native varieties of cultivated plants have on food production, and the role they play in situations such as the pandemic caused by the virus SARS-CoV-2. The example used is the tomato *Solanum lycopersicum* for three main reasons: along with maize, it is one of the crops with the most genetic manipulation; it has several plant health problems (Blancard, 2012;

2020, las limitantes del modelo agrícola moderno se hacen más evidentes. Como se ha constatado, la economía global ha sido seriamente deprimida y el efecto en la agricultura como actividad económica primaria, no fue la excepción (CEPAL, 2020; World Bank, 2020). La alta dependencia de agroquímicos, en su mayor parte importados, así como de muchos otros insumos por el deterioro de las cadenas de suministro, ha afectado la producción y distribución de alimentos (CEPAL, 2020). De prolongarse la pandemia, con cadenas de suministros afectadas y depauperación de unidades de producción, el rendimiento de variedades monocultivadas sería fuertemente afectado por incidencia de plagas y enfermedades. Adicionalmente, el efecto del cambio climático potenciará su impacto negativo en los sistemas agrícolas modernos (Salcedo y Guzmán, 2014). Dos de las estrategias más aceptadas para reducir el uso de plaguicidas en la agricultura son el manejo ecológico de patosistemas y el manejo integrado de plagas con la resistencia vegetal como estrategia fundamental (Kogan, 1990; Robinson, 1996). La principal fuente de resistencia a plagas y enfermedades se encuentra en los ‘parientes silvestres de plantas cultivadas’ y en las ‘variedades criollas’ (Labate *et al.*, 2007), denominadas ambas en lo sucesivo como ‘variedades nativas’.

El objetivo del escrito es analizar, discutir y reflexionar sobre la importancia que las variedades nativas de plantas cultivadas tienen en la producción alimentaria, y su rol en situaciones como la pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2. Se ejemplifica con el jitomate *Solanum lycopersicum* por tres razones fundamentales: Con el maíz, es uno de los cultivos con mayor manipulación genética; posee diversos problemas fitosanitaria (Blancard, 2012; King y Saunders, 1984; Pérez *et al.*, 1987); y tiene fuerte arraigo cultural en México.

King and Saunders, 1984; Pérez *et al.*, 1987); and it is deeply culturally ingrained in Mexico.

### Native tomato varieties and plant health

The cultivated tomato is one of the crop with the greatest phytosanitary problems, with more than 13 pest species and diseases that include practically the entire spectrum of pathogens. Several of these are transmitted by insects (King and Saunders, 1984; Blancard, 2012). Although it is not the center of origin, it is widely agreed that the tomato was first domesticated in Mexico (Labate *et al.*, 2007), and it has a wide diversity of native varieties (Lobato-Ortiz *et al.*, 2012). These may play an important part in the healthy and sustainable production of tomato, particularly in the natural regulation of pests and diseases.

The closest endemic relative of the tomato is *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, which is an important source of resistance to pests such as the silverleaf whitefly *Bemisia tabaci* (Hem: Aleyrodidae) and the red spider mite *Tetranychus* spp. (Acari: Tetranychidae) (Pérez *et al.*, 1987; Sánchez-Peña *et al.*, 2006). In western Mexico, this relative of the tomato is locally known as ‘tinguaraque’ (Figure 1A). Explorations in this region documented a wide diversity of morphotypes, with a reduced presence of phytophagous insects (Alvarez-Hernández, 2009). Under the conditions of the Chapala swamp, in Michoacán, Mexico, regarding a commercial variety, the tinguaraque displayed tolerance to the silverleaf whitefly *B. tabaci*, the potato psyllid *Bactericera cockerelli* (Hem: Triozydae) and vegetable leaf miners *Liriomyza* spp. (Dip: Agromyzidae) (Cortez-Madrigal, 2010), as well as to the pathogens *Phytophthora* sp. and *Rhizoctonia* sp. (Arellano *et al.*, 2013).

Mexican farmers have produced a wide variety of creole varieties, adapted to local environments (Figure 1B) (Vera-Sánchez *et al.*, 2016). Thus, Nord *et al.*, (2020) recorded a lower incidence of

### Variedades nativas de jitomate y fitosanidad

El jitomate cultivado presenta más de 13 especies plaga y similar número de enfermedades que incluyen prácticamente todo el espectro de patógenos. Varios de estos son transmitidos por insectos (King y Saunders, 1984; Blancard, 2012). Aunque no es centro de origen, hay consenso de que el jitomate fue domesticado en México (Labate *et al.*, 2007), el cual tiene una amplia diversidad de variedades nativas (Lobato-Ortiz *et al.*, 2012). Estas podrían tener un rol importante en la producción saludable y sustentable de jitomate, particularmente, en la regulación natural de plagas y enfermedades.

El pariente silvestre más cercano del jitomate es *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, y es fuente importante de resistencia hacia plagas como la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Hem: Aleyrodidae) y la araña roja *Tetranychus* spp. (Acari: Tetranychidae) (Pérez *et al.*, 1987; Sánchez-Peña *et al.*, 2006). En el Occidente de México, este pariente del jitomate es conocido localmente como ‘tinguaraque’ (Figura 1A). Exploraciones en esa región documentaron una amplia diversidad de morfotipos, con reducida presencia de insectos fitófagos (Alvarez-Hernández, 2009). En las condiciones de la Ciénega de Chapala, Michoacán, México, respecto a una variedad comercial, el tinguaraque registró tolerancia a mosca blanca *B. tabaci*, paratrioza *Bactericera cockerelli* (Hem: Triozydae) y minadores *Liriomyza* spp. (Dip: Agromyzidae) (Cortez-Madrigal, 2010), así como a los patógenos *Phytophthora* sp. y *Rhizoctonia* sp. (Arellano *et al.*, 2013).

Los campesinos mexicanos han generado una amplia diversidad de variedades criollas, adaptadas a ambientes locales (Figura 1B) (Vera-Sánchez *et al.*, 2016). Así, Nord *et al.*, (2020) registraron menor incidencia de plagas en variedades silvestres, criollas y comerciales, en ese orden. Lo cual confirma la relación inversa entre resistencia a plagas y el grado de manipulación genética (Rozenthal y Dirzo, 1997).





**Figure 1.** Native Mexican varieties of tomato (*Solanum lycopersicum*). A. Wild cherry-type, called tinguaraque. B. Kidney-type variety beside a commercial one (smooth fruit on top). Archive photos by the author.

**Figura 1.** Variedades nativas mexicanas de jitomate (*Solanum lycopersicum*). A. Tipo cereza silvestre llamado tinguaraque. B. Variedad tipo riñón junto a una comercial (fruto liso sobrepuesto). Fotos archivo del autor.

pests in wild, creole and commercial varieties, in that order, indicating the reverse relationship between pest resistance and the degree of genetic manipulation (Rozenhal and Dirzo, 1997).

Apart from insect-pests, damages caused by fungi and nematodes are another problem that requires solving. With the prohibition of methyl bromide as a biocide, frequently used to sanitize soils in seedbeds and fields, the native tomato varieties are an alternative (Labate *et al.*, 2007). For example, the severity of foliar fungal diseases was 20 to 40% less, respectively, than the one observed in a commercial variety (Figure 2A). The severity caused by the nematode *Meloidogyne* sp. was 5% in endemic varieties and only 3% in creole varieties (Figure 2B). The phytosanitary response of the native varieties was related to the production, generally higher than in the commercial variety.

### Native varieties in production systems

In Mexico, the agricultural production of related crops between diverse plants, wild and/

Además de insectos-plaga, los daños por hongos y nematodos son otros problemas a resolver. Con la prohibición del bromuro de metilo como biocida, frecuentemente usado para sanitizar suelos de almácigos y siembra, las variedades nativas de jitomate son una alternativa (Labate *et al.*, 2007). Por ejemplo, la severidad de enfermedades fúngicas foliares en variedades criollas y silvestres fue entre 20 y 40% menos, respectivamente, que la observada en una variedad comercial (Figura 2A). La severidad causada por el nematodo *Meloidogyne* sp. fue del 5% en variedades silvestres, y solo del 3% en las criollas (Figura 2B). La respuesta fitosanitaria de las variedades nativas estuvo relacionada con la producción, generalmente superior a la variedad comercial.

### Variedades nativas en sistema de producción

En México, la producción agrícola de cultivos asociados entre diversas plantas, silvestres y/o domesticadas, (*i.e.* milpa) es común en pequeños productores (Ayala *et al.*, 2019). Estos agroecosistemas

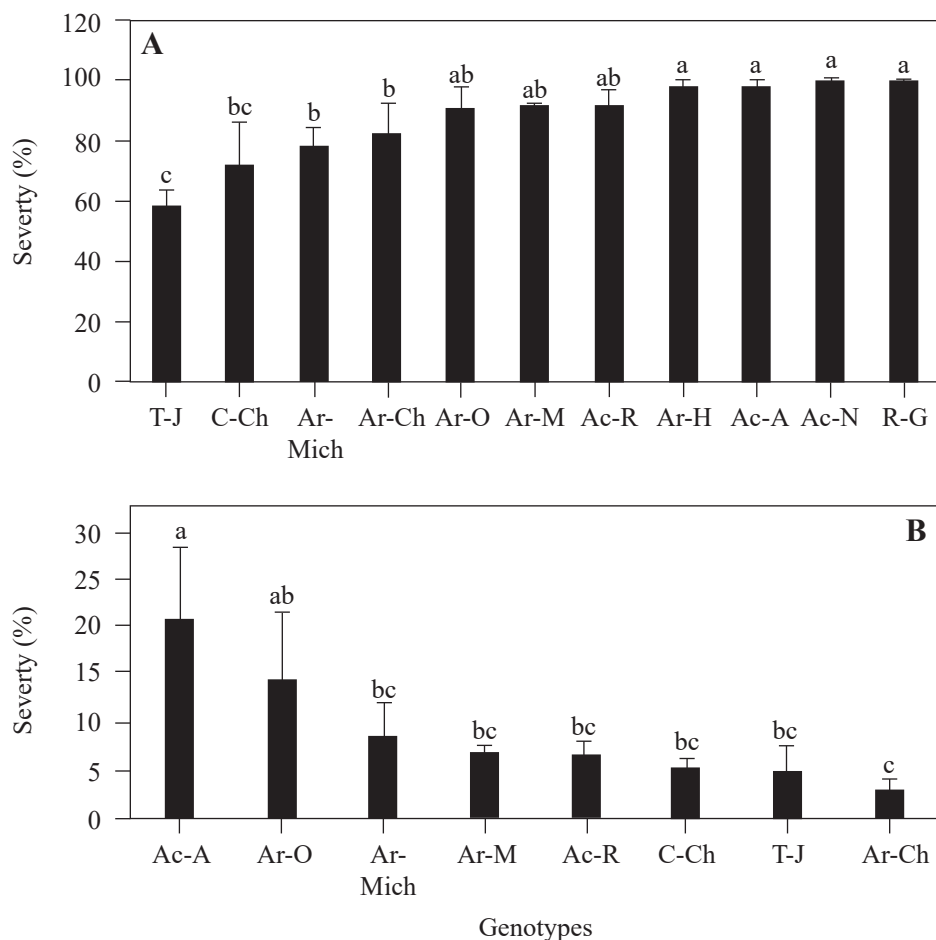


Figure 2. Severity of foliar fungal diseases (A) and those cause by the nematode *Meloidogyne* sp. (B) in native tomato varieties and one commercial variety (R-G). T-J and C-Ch are wild varieties, and the rest are creole. Bars with at least one letter in common are not statistically different (Tukey, 0.05).

Figura 2. Severidad de enfermedades fúngicas foliares (A) y del nematodo *Meloidogyne* sp. (B) en variedades nativas de jitomate y una comercial (R-G). T-J y C-Ch son variedades silvestres, el resto son criollas. Barras con al menos una letra en común no difieren estadísticamente (Tukey, 0.05).

or raised, (*i.e.* *milpa*, or diversified maize field) is common among small-scale farmers (Ayala *et al.*, 2019). These agroecosystems can boost beneficial biotrophic relations, such as the biological control of pests (Altieri and Nicholls, 2010). The use of creole and endemic tomato varieties, in relation to maize and tropical milkweed (*Asclepias curassavica*), has displayed a low incidence and diversity of pests and diseases, thus the use of organo-synthetic pesticides has been avoided. Vectors of

pueden potenciar relaciones biotróficas benéficas como el control biológico de plagas (Altieri y Nicholls, 2010). El empleo de variedades criollas y silvestres de jitomate, en asociación con maíz y hierba María (*Asclepias curassavica*), ha demostrado una baja incidencia y diversidad de plagas y enfermedades, evitándose el uso de plaguicidas organosintéticos. Vectores de patógenos, como *Bactericera cockerelli*, retrasó su aparición hasta en 45 días (Figura 3), y con ello el impacto de la

pathogens, such as *Bactericera cockerelli*, delayed its appearance by up to 45 days (Figure 3), and with it, the impact of the “permanent” tomato disease caused by *Candidatus Liberibacter solanacearum*. The parasitism of nymphs by *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae) was >80%, and for the first time, epidemics of entomophthorales fungi were registered in adult *B. cockerelli* (H. Cortez. 2020. Data not published).

Studies in Mexico proved the potential of native varieties as grafts for non-grafted commercial varieties in the reduction of the incidence of pests (Nord *et al.*, 2020). Grafted plants produced up to six times more than the commercial, non-grafted variety (12.38 kg vs 1.8 kg) (Figure 4). This was achieved with a reduced use of organo-synthetic inputs. This does not coincide with the suggested idea of an inverse correlation between production and resistance to pests and diseases (Rozenhal and Dirzo, 1997). It is crucial to strengthen lines of investigation that help produce knowledge on production models of low environmental impact

enfermedad “permanente” del tomate causada por *Candidatus Liberibacter solanacearum*. El parasitismo de ninfas por *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae) fue >80%, y por primera vez se registraron epidemias de hongos entomophthorales en adultos de *B. cockerelli* (H. Cortez. 2020. Datos no publicados).

Estudios en México demostraron el potencial de variedades nativas como injertos de variedades comerciales en la reducción de incidencia de plagas (Nord *et al.*, 2020). Plantas injertadas produjeron hasta seis veces más que la variedad comercial sin injertar (12.38 kg vs 1.8 kg) (Figura 4). Esto se logró con bajo uso de insumos organosintéticos. Lo anterior no concuerda con la idea sugerida sobre una correlación inversa entre producción y resistencia a plagas y enfermedades (Rozenhal y Dirzo, 1997). Es necesario fortalecer líneas de investigación que permitan generar conocimiento en modelos productivos de bajo impacto ambiental que han probado su resiliencia ante modelos modernos de producción.

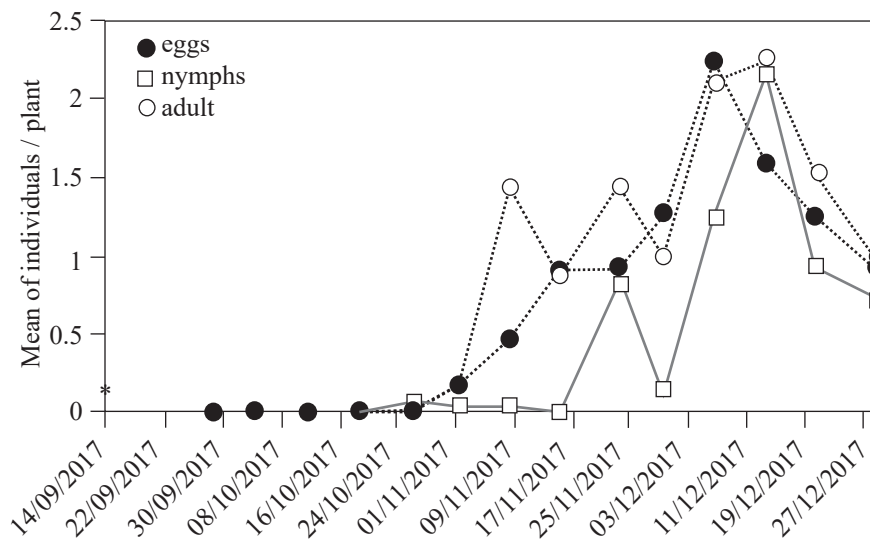
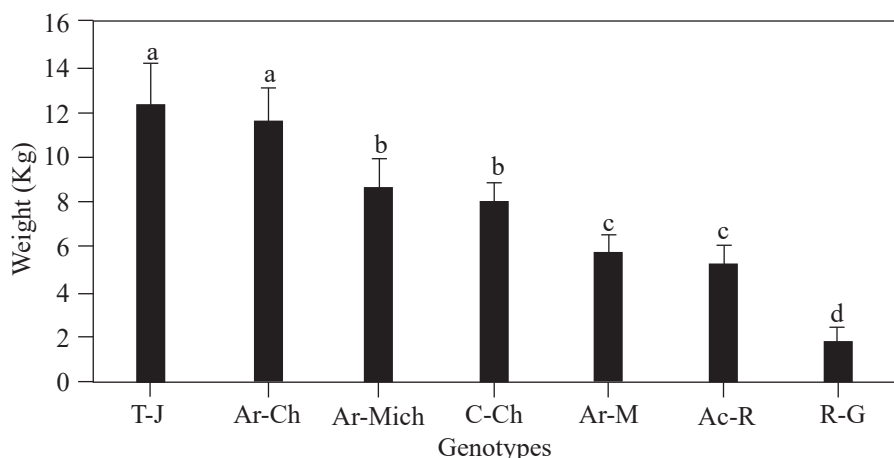


Figure 3. Incidence of *Bactericera cockerelli* on one of the most susceptible creole genotypes (Arriñonado Oaxaca) under an agroenvironmental management scheme. Jiquilpan, Mich. 2017. Tomato transplant\*.

Figura 3. Incidencia de *Bactericera cockerelli* en uno de los genotipos criollos de jitomate más susceptibles (Arriñonado Oaxaca) bajo un esquema de manejo agroecológico de plagas. Jiquilpan, Mich. 2017. Trasplante de jitomate\*.



**Figure 4.** Mean production of a commercial tomato variety (R-G) grafted over native varieties. T-J and C-Ch are endemic, and the rest are creole varieties. Columns followed by at least one letter in common are not statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Zapopan, Jal. 2017.

**Figura 4.** Producción media de una variedad comercial de jitomate (R-G) injertada sobre variedades nativas. T-J y C-Ch son silvestres, el resto son variedades criollas. Columnas seguidas al menos una letra en común no difieren estadísticamente (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Zapopan, Jal. 2017.

that have proved their resilience against modern production methods.

#### Native varieties in the face of COVID-19

In global crises such as long-lasting pandemics, food production may be seriously affected. This may be due to factors that include food hoarding, unemployment, rising prices and finally, the escalation of extreme poverty (CEPAL, 2020). The high reliance on imported industrialized inputs, *e.g.*, pesticides and fertilizers, is a risk factor for extensive and modern agri-food systems in the light of pandemic phenomena. Native varieties are not only a provider of genes for the improvement of commercial crops. In Mexico, they have played an important role in the supply of foods, particularly in marginalized communities (Lobato-Ortiz *et al.*, 2012). These benefits can be extended to a wider sector of society that wishes to produce healthy foods for self-supply, as suggested by international organisms in the light of COVID-19 (CEPAL, 2020).

#### Variedades nativas ante el COVID-19

En crisis globales, como pudiera ser una pandemia de largo plazo, la producción de alimentos puede ser seriamente afectada. Entre otros actores, por el acaparamiento de alimentos, desempleo, escalada de precios, y finalmente el recrudecimiento de la pobreza extrema (CEPAL, 2020). La alta dependencia de insumos industrializados importados; *e.g.*, plaguicidas y fertilizantes, representan un factor de riesgo para sistemas agroalimentarios extensivos y modernos frente a fenómenos pandémicos. Las variedades nativas no son solo proveedoras de genes para el mejoramiento de cultivos comerciales. En México han tenido un rol importante en la provisión de alimentos, particularmente en comunidades marginadas (Lobato-Ortiz *et al.*, 2012). Esos beneficios pudieran extenderse a un sector más amplio de la sociedad que desee producir alimentos saludables para autoconsumo, como se ha sugerido por organismos internacionales frente al COVID-19 (CEPAL, 2020).



The benefits of native varieties in times of the pandemic are diverse. First, family production helps produce foods without chemical residues that harm human health or the environment. The mobility of the population is limited, resulting in a lower risk of contagion and viral dispersion. Secondly, the nutritional quality and safety of foods derived from native varieties could contribute to reducing the development of chronic diseases, which are considered risk factors for SARS-CoV-2, particularly of metabolic origin.

Another lesson to learn from COVID-19 is that we should reflect on the causality of the disease. The transit of viruses from animals to humans, as in the case of SARS-CoV-2, is not coincidental, and it suggests that we have broken crucial environmental balances. As a part of the restoration of this balance, a new paradigm has been proposed that integrates agriculture and biodiversity (CEPAL, 2020). Native varieties must be an important part of this biodiversity.

## CONCLUSIONS

In conclusion, our proposal is that native varieties must be revalued and considered as the fundamental basis to produce food in Mexico. Not only are they a source of genes, but they can be used directly in family-based and organic farming; they can also be used as rootstock for commercial crops. The example documented with one of the most problematic crops in terms of plant health and widely consumed in the country, shows that this is possible. The benefit in the protection of crops would contribute to self-sufficiency and agri-food sovereignty. Mexico is a country with an important agri-food culture. We must begin with the empirical knowledge of traditional farmers. If we enhance our investigations with production and cultural

Los beneficios de las variedades nativas en tiempos de pandemia son diversos. Primero, la producción familiar posibilita producir alimentos sin residuos químicos dañinos a la salud y al ambiente. La movilidad de la población sería limitada lo cual redundaría en menor riesgo de contagios y dispersión del virus. Segundo, la calidad nutrimental e inocuidad de alimentos derivados de variedades nativas pueden contribuir a disminuir el desarrollo de enfermedades crónicas, las cuales con consideradas factores de riesgo para SARS-CoV-2, en particular las de origen metabólicas.

Una lección más que aprender del COVID-19, es que debemos reflexionar sobre la causalidad de la enfermedad. El tránsito de virus de animales a humanos, como es el caso del SARS-CoV-2, no es fortuito y sugiere que hemos roto equilibrios ecológicos fundamentales. Como parte de la restauración de ese equilibrio, se ha propuesto un nuevo paradigma que integre agricultura y biodiversidad (CEPAL, 2020). Las variedades nativas deben ser parte importante de esa biodiversidad.

## CONCLUSIONES

En conclusión, se propone que las variedades nativas deben ser revaloradas y consideradas como base fundamental para la producción de alimentos en México. Además de fuente de genes, pueden aprovecharse de manera directa en producción familiar y orgánica; pero también, como porta-injerto de cultivos comerciales. El ejemplo documentado con uno de los cultivos con mayor problemática fitosanitaria y de amplio consumo nacional, demuestra que lo anterior es posible. El beneficio en la protección de cultivos contribuiría a la auto-suficiencia y soberanía alimentaria. México es un país con una importante cultura agroalimentaria. Se debe partir del conocimiento empírico de los

knowledge, we could develop world leadership in agricultural science with a sense of humanity and the benefit of a sustainable and resilient agri-food production.

productores tradicionales. Si potenciamos nuestras investigaciones con los saberes productivos y culturales podríamos desarrollar un liderazgo mundial en ciencias agrícolas con un sentido humanístico y beneficio de una producción agroalimentaria sustentable y resiliente.

## LITERATURE CITED

- Altieri M y Nicholls C. 2010. Diseños Agroecológicos Para Incrementar la Biodiversidad de Entomofauna Benéfica en Agroecosistemas. Primera Edición. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA). Medellín, Colombia. 80p. Disponible en línea: [https://multiversidad.es/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/Disenos-Agroecologicos-para-incrementar-las-poblaciones-de-insectos-beneficos\\_.pdf](https://multiversidad.es/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/Disenos-Agroecologicos-para-incrementar-las-poblaciones-de-insectos-beneficos_.pdf)
- Álvarez-Hernández JC, Cortez-Madrigal H y García-Ruiz I. 2009. Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (Solanaceae) en tres regiones de Michoacán, México. *Polibotánica* 28: 139-159. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682009000200007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682009000200007)
- Ayala EMI, García LF y Román M de OE. 2019. La apropiación de los recursos naturales, silvestres y cultivados. Pp:70-102. *In: Román M. de OE (eds.). Prácticas Agropecuarias Como Estrategias de Seguridad Alimentaria.* Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca Morelos, México. 210p. <http://investigacion.uaem.mx/archivos/epub/practicas-agropecuarias-seguridad/practicas-agropecuarias-seguridad.pdf>
- Arellano RLJ, Rodríguez GE, Ron PJ, Martínez RJL, Lozoya SH, Sánchez MJJ y Lépiz IR. 2013. Evaluación de resistencia a *Phytophthora infestans* en poblaciones silvestres de *Solanum lycopersicum* var. cerasiforme. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4:753-766. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342013000500008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000500008)
- Blancard D. 2012. *Tomato Diseases: Identification, Biology and Control: A Colour Handbook.* Second Edition. CRC Press. London. 688p.
- CEPAL, N. 2020. Cómo evitar que la crisis del COVID-19 se transforme en una crisis alimentaria: acciones urgentes contra el hambre en América Latina y el Caribe. 33p. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45702/4/S2000393\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45702/4/S2000393_es.pdf)
- Cortez-Madrigal H. 2010. Resistencia a insectos de jitomate injertado en parientes silvestres, con énfasis en *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hem: Psyllidae). *Bioagro* 22:11-16. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85716706002.pdf>
- Devine GJ, Eza D, Ogusuku E y Furlong MJ. 2008. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Revista peruana de medicina experimental y Salud Pública* 25: 74-100. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342008000100011&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342008000100011&script=sci_abstract)
- Hawkes JG, Maxted N and Ford-Lloyd BV. 2000. *The Ex situ Conservation of Plant Genetic Resources.* Springer. Dordrecht, The Netherlands. 250p. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-4136-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-011-4136-9_4)
- King ABS, Saunders JL. 1984. *Las Plagas Invertebradas de Cultivos Anuales Alimenticios en América Central.* Primera Edición. Administración de Desarrollo Extranjero. Londres. 182p.
- Kogan M. 1990. La resistencia de la planta en el manejo de plagas. Pp:123-172. *In: Metcalf RL y Luckman WH (Eds.). Introducción al Manejo Integrado de Plagas.* Limusa. México, D.F. 710p.
- Labate JA, Grandillo S, Fulton T, Muños S, Caicedo AL, Peralta I, ... Causse M. 2007. Tomato. Pp:1-125. *In: Kole C (ed.). Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants.* Vol. 5. Vegetables. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 480p.
- Labato-Ortiz R, Rodríguez-Guzmán E, Carrillo-Rodríguez JC, Chávez-Servia JL, Sánchez-Peña P y Aguilar-Meléndez A. 2012. Exploración, Colecta y Conservación de Recursos Genéticos de Jitomate: Avances en la Red de Jitomate. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 54p. [https://www.researchgate.net/profile/Jose-Luis-Chavez-Servia/publication/260592634\\_Exploracion\\_colecta\\_y\\_conservacion\\_de\\_recursos\\_geneticos\\_de\\_jitomate\\_avances\\_en\\_la\\_Red\\_de\\_Jitomate\\_links/00b49531a5508c5da1000000/Exploracion-colecta-y-conservacion-de-recursos-geneticos-de-jitomate-avances-en-la-Red-de-Jitomate.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jose-Luis-Chavez-Servia/publication/260592634_Exploracion_colecta_y_conservacion_de_recursos_geneticos_de_jitomate_avances_en_la_Red_de_Jitomate_links/00b49531a5508c5da1000000/Exploracion-colecta-y-conservacion-de-recursos-geneticos-de-jitomate-avances-en-la-Red-de-Jitomate.pdf)
- Nord R, Cortez-Madrigal H, Rodríguez-Guzmán E, Villar-Luna E and Gutiérrez-Cárdenas OG. 2020. Grafting Wild Tomato Genotypes and Mexican Landraces Increases Trichome Density and Resistance Against Pests. *Southwestern Entomologist* 45: 649-662. <https://doi.org/10.3958/059.045.0308>
- Pérez GM, Márquez SF, Peña LA. 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Primera Edición. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 380p.
- Pico MB, Thompson AJ, Gisbert C, Yetisir H, Bebeli PJ. 2017. Genetic resources for rootstock breeding. Pp:22-69. *In: Colla G, Perez-Alfocea F, Schwarz D (eds.). Vegetable Grafting: Principles and Practices.* CABI Publishing. UK. 278p. <https://doi.org/10.1079/9781780648972.0000>

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Robinson R A. 1996. Return to resistance: breeding crops to reduce pesticide dependence. Ag Access. Davis, CA. 480p.
- Rosenthal JP, Dirzo R. 1997. Effects of life history, domestication and agronomic selection on plant defense against insects: Evidence from maizes and wild relatives. *Evolutionary Ecology* 11: 337-355. <https://doi.org/10.1023/A:1018420504439>
- Salcedo S, Guzmán L. 2014. Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de política. Primera Edición. FAO. Santiago, Chile. 497p. Disponible en línea: <http://www.fao.org/uploads/media/Family%20Agriculture%20in%20Latin%20America.pdf>
- Sánchez-Peña P, Oyama K, Nuñez-Farfan J, Fornoni J, Hernandez-Verdugo S, Márquez-Guzmán J, Garzon-Tiznado JA. 2006. Sources of resistance to whitefly (*Bemisia* spp.) in wild populations of *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (Dunal) Spooner G. J. Anderson et R. K. Jansen, in Northwestern México. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53: 711-719. <https://doi.org/10.1007/s10722-004-3943-9>
- Sarandón SJ, Flores CC. 2014. Agroecología: Bases Teóricas para el Diseño y Manejo de Agroecosistemas Sustentables. Primera Edición. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina. 466p. <https://doi.org/10.35537/10915/37280>
- Seefoó LJJ. 2005. ¡La Calidad es Nuestra, la Intoxicación de Usted!: Atribución de la Responsabilidad en las Intoxicaciones por Plaguicidas Agrícolas. Primera Edición. El Colegio de Michoacán AC. Zamora, Michoacán, México. 348p.
- Vera-Sánchez KS, Cadena-Iniguez J, Latournerie-Moreno L, Santiaguillo-Hernández JF, Rodríguez-Contreras A, Basurto-Pena FA, Castro-Lara D, Rodríguez-Guzmán E, López-López P y Ríos-Santos E. 2016. Conservación y Utilización Sostenible de las Hortalizas Nativas de México. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México. 132p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/205919/DIAGN_STICO_HORTALIZAS.pdf
- World Bank. 2020. Global Economic Prospects. Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33748>

Changes in the research conduction on agro-biotechnology due to COVID-19: The case of LBRM-COLMENA Research Node

Cambios en la conducción de investigación en agro-biotecnología debido a la enfermedad de COVID-19: El caso del Nodo de Investigación LBRM-COLMENA

Marisol Ayala-Zepeda, ¹Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano, Departamento de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, CP 85000, México; **Alondra María Díaz-Rodríguez**¹, **Sergio Ahumada-Flores**¹; **Fannie Isela Parra-Cota**, Campo Experimental Norman E. Borlaug, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Cd. Obregón, Sonora, CP 85000, México; **Sergio de los Santos-Villalobos**^{1*}. *Corresponding author: sergio.delossantos@itsn.edu.mx.

Received: February 02, 2021.

Accepted: April 15, 2021.

Ayala-Zepeda M, Díaz-Rodríguez AM, Ahumada-Flores S, Parra-Cota FI and de los Santos-Villalobos S. 2021. Changes in the research conduction on agro-biotechnology due to COVID-19: The case of LBRM-COLMENA Research Node. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 293-306.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-9>

Abstract. COVID-19 has had negative impacts on human health, economic stability, food supply chains, and global food security, increasing poverty and inequality. Institutions and laboratories worldwide have focused their efforts on the study of sustainable agro-biotechnological alternatives to contribute to food security for the present and future, as well as on mitigating the negative impacts of the ongoing pandemic. This work aims to share the experiences of our team in the Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano-Colección

Resumen. La enfermedad COVID-19 generó impactos negativos en la salud humana, estabilidad económica, cadena de suministro de alimentos y seguridad alimentaria global, resultando en aumento de pobreza y desigualdad. Diversas instituciones y laboratorios a nivel mundial han enfocado esfuerzos en el estudio de alternativas agro-biotecnológicas sostenibles para contribuir a la seguridad alimentaria actual y futura, y en mitigar los impactos negativos de la presente pandemia. El objetivo de este trabajo es compartir las experiencias de nuestro equipo de trabajo en el Nodo de Investigación Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano-Colección de Microorganismos Edáficos y Endófitos Nativos (LBRM-COLMENA), durante la actual contingencia sanitaria, así como las estrategias implementadas para continuar con los proyectos de investigación enfocados en la generación del conocimiento en diferentes disciplinas científicas.

de Microorganismos Edáficos y Endófitos Nativos (LBRM-COLMENA) Research Node during the current health contingency, as well as the strategies implemented to continue with the research projects focused on generating knowledge in different scientific disciplines.

Key words: Biofertilizers, Biopesticides, Soil, Food Security, Biotechnology.

The anthropogenic impact and the pandemic

The COVID-19 pandemic is one of the largest health and humanitarian crises in over a century. This disease, caused by the virus SARS-CoV-2, began in the city of Wuhan, province of Hubei, China, in December of 2019, and after more than a year we continue struggling to control the disease and mitigate its social, economic, political, educational and scientific impacts. In this sense, although the severity of the impact of the ongoing pandemic varies from one country to the next, in general terms, poverty and inequality increased and global food security was jeopardized. The mobility restrictions worldwide led to the delay or reduction of harvests, especially in local farms, since food industries put their activities on hold and the closing of borders limited the imports of agricultural inputs, as well as the exports of foods. On the other hand, the reduction or loss of economic incomes in families and the rising food costs limited the access to the latter (FAO, 2020).

However, COVID-19 is not our only problem nowadays, since humanity was facing its greatest challenge in the 21st century, even before the pandemic began: the global anthropogenic impact, *i.e.* climate change, the deterioration of soils and ecosystems, the alteration of biogeochemical cycles, overexploitation of natural resources, air,

Palabras clave: Biofertilizantes, Bioplaguicidas, Suelo, Seguridad Alimentaria, Biotecnología.

El impacto antropogénico global y la pandemia

La pandemia COVID-19 es una de las mayores crisis humanas y de salud en más de un siglo. Esta enfermedad, ocasionada por el virus SARS-CoV-2, inició en la ciudad de Wuhan, provincia de Hubei, China, en diciembre de 2019, y después de más de un año seguimos luchando por manejar la enfermedad y mitigar sus impactos sociales, económicos, políticos, educativos y científicos. En este sentido, aun cuando la severidad de los impactos de la presente pandemia varía de un país a otro, de forma general aumentó la pobreza, la desigualdad y se puso en riesgo la seguridad alimentaria global. Las restricciones de movilidad a nivel mundial ocasionaron el retraso o la disminución de las cosechas, especialmente en granjas locales, debido a que industrias de alimentos pausaron sus actividades y los cierres fronterizos limitaron la importación de agro-insumos y la exportación de alimentos. Por otro lado, la disminución o pérdida de ingresos económicos en las familias y el aumento en los costos de los alimentos limitó el acceso a los mismos (FAO, 2020).

Sin embargo, la enfermedad COVID-19 no es nuestro único problema en la actualidad, ya que antes de su aparición luchábamos con el mayor reto de la humanidad en el siglo XXI: el impacto antropogénico global, *i.e.* cambio climático, degradación de suelos y de ecosistemas, alteración de los ciclos biogeoquímicos, sobreexplotación de los recursos naturales, contaminación del aire y el agua, proliferación de especies invasivas y pérdida de la biodiversidad, entre otros. Estos retos se han generado y agravado por las actividades humanas, ocasionando la degradación de los ecosistemas

and water pollution, the proliferation of invasive species, the loss of biodiversity, and others. These changes were generated and have become aggravated by human activities, causing the deterioration of ecosystems and agroecosystems (the reduction of fertile areas for agriculture). On the other hand, the increase of human interactions with the animal kingdom through the alteration of their natural habitats by the expansion of agriculture, animal husbandry, and urban areas also increases the incidents and severity of pandemics. This displays the interconnection of environmental problems with the incidence of zoonotic diseases (Lal, 2020). Therefore, due to this interconnection, the effects of COVID-19, health measures, and emergency closures to prevent viral transmission and contagion had direct consequences on the operation of food systems.

To mitigate the negative effects caused by the current pandemic, it is crucial to counteract these problems from a multidisciplinary standpoint that integrates the knowledge on human, animal, and environmental health. In addition, the creation of actions and strategies that contribute to the fight against COVID-19 and the mitigation of its negative effects on food security and national sovereignty is also necessary. Some forecasts suggest a drastic increase in the demand and prices of some food products after the pandemic, and consequently, the overexploitation of agroecosystems, which will lead to higher economic, environmental, and health costs for the agricultural sector (HLPE, 2020; OECD, 2020). In this context, several institutions and laboratories in the world have strengthened their research projects focused on the development of sustainable agro-biotechnological alternatives to contribute to food security for the present and future, to mitigate the effects of the current pandemic and potential pandemics in the light of negative global environmental impacts. Among

y agro-ecosistemas (disminución de áreas fértiles para la agricultura). Por otro lado, el incremento de las interacciones humanas con el reino animal, a través de la alteración de sus hábitats naturales por la expansión agrícola, ganadera y urbana, incrementa también la incidencia y severidad de las pandemias. Lo anterior hace evidente la interconexión de las problemáticas ambientales con la incidencia de enfermedades zoonóticas (Lal, 2020). Por lo tanto, es por esta interconexión que los efectos de la enfermedad COVID-19, las medidas sanitarias y los cierres de emergencia para prevenir la dispersión y contagio viral, tuvieron consecuencias directas en el funcionamiento de los sistemas alimentarios.

Con el objetivo de mitigar los efectos negativos causados por la presente pandemia, es necesario contrarrestar estas problemáticas desde un enfoque multidisciplinario, que integre la comprensión de las ciencias de la salud humana, animal y ambiental. Además, es necesaria la creación de acciones y estrategias que contribuyan al combate de la pandemia de COVID-19 y la mitigación de sus efectos negativos sobre la seguridad alimentaria y la soberanía nacional. Existen proyecciones que sugieren un incremento drástico en la demanda y los precios de algunos alimentos posterior a la pandemia y, en consecuencia, la sobreexplotación de los agro-ecosistemas, lo cual conducirá a mayores costos económicos, ambientales y a la salud para el sector agrícola (HLPE, 2020; OECD, 2020). En este contexto, diversas instituciones y laboratorios en el mundo han fortalecido sus proyectos de investigación enfocados al desarrollo de alternativas agro-biotecnológicas sostenibles para contribuir a la seguridad alimentaria actual y futura, y así mitigar las afectaciones de la actual pandemia y otras potenciales ante los impactos negativos globales de ambiente. Entre las diversas estrategias estudiadas destacan el manejo sostenible del suelo, nuevas

the diverse strategies studied are sustainable soil management, new genetic crop varieties, the efficient use of agricultural inputs, and the use of microbial resources for the production of biofertilizers and biopesticides.

Microorganisms with the ability to interact with crops, regulating their growth and productivity through their tolerance to biotic and abiotic stress, the improvement of plant nutrition, and the antagonism of phytopathogens are called plant growth promoters (MPCV) (de los Santos-Villalobos *et al.*, 2018; Valenzuela-Ruiz *et al.*, 2018; Díaz-Rodríguez *et al.*, 2021). During the current pandemic, food production has been threatened due to the limited imports of agro-inputs, particularly nitrogenized fertilizers from China, also due to the closure of international markets. Thus, the use of MPCV has been highlighted as an important strategy in sustainable agriculture, since these microorganisms have the ability to increase crop yields (~ 10-30%), with a lower dependency on agro-inputs, hence reducing the economic and environmental cost of agricultural production (Parewa *et al.*, 2018). Therefore, the bioprospection of the microbiota present in agroecosystems for the production of biofertilizers and biopesticides is a sustainable alternative to guarantee food security, even under the diverse scenarios previously presented in this pandemic.

Soils, including those used for agriculture, are reservoirs for all types of microorganisms, including potential pathogens for humans; therefore, the imbalance in microbial ecology in this matrix gives rise to diseases (Mendes *et al.*, 2013). For this reason, it is important to preserve the soil and use beneficial microorganisms found in the soil to maintain its homeostasis and resilience, minimizing the probability of the emergence of pathogens in humans. On the other hand, due to the appearance of worldwide biological problems,

variedades genéticas de cultivos, uso eficiente de agro-insumos y el uso del recurso microbiano para la elaboración de biofertilizantes y bioplaguicidas.

Los microorganismos que tienen la capacidad de interactuar con los cultivos agrícolas, regulando su crecimiento y productividad, a través de su tolerancia al estrés abiótico y biótico, la mejora de la nutrición vegetal, y el antagonismo de fitopatógenos, se denominan promotores del crecimiento vegetal (MPCV) (de los Santos-Villalobos *et al.*, 2018; Valenzuela-Ruiz *et al.*, 2018; Díaz-Rodríguez *et al.*, 2021). Durante la presente pandemia, la producción de alimentos se ha visto amenazada debido a la limitada importación de agro-insumos, principalmente fertilizantes nitrogenados desde China, y debido al cierre de mercados internacionales. Así, se ha resaltado el uso de MPCV como una estrategia importante en la agricultura sostenible, ya que estos microorganismos tienen la capacidad de aumentar el rendimiento de los cultivos (~ 10-30%), con una menor dependencia de los agro-insumos y, por ende, reducir el costo económico y ambiental de la producción agrícola (Parewa *et al.*, 2018). Por lo tanto, la bioprospección de la microbiota presente en los agro-ecosistemas para la formulación de biofertilizantes y bioplaguicidas representa una alternativa sostenible para garantizar la seguridad alimentaria, incluso bajo los diversos escenarios previamente planteados de esta pandemia.

Los suelos, incluyendo los de uso agrícolas, son reservorios de todo tipo de microorganismos, entre ellos, potenciales patógenos para los humanos; por lo cual, el desequilibrio en la ecología microbiana en dicha matriz conduce a la emergencia de enfermedades (Mendes *et al.*, 2013). A esto se debe la importancia de la conservación del recurso edáfico y el empleo de microorganismos benéficos presentes en el suelo para mantener la homeostasis y resiliencia del mismo, minimizando la probabili-

food insecurity, and the constant discovery of new microbial species or subspecies, there is a need to study microorganisms at all levels, including their bioprospection as a source of metabolites with anti-SARS-CoV-2 activity. Such is the case of ivermectin, derived from the bacteria *Streptomyces avermitilis*, which was reported as an inhibitor of the replication of this type of virus *in vitro* (Abdelmohsen *et al.*, 2014; Caly *et al.*, 2020). Later studies indicated that the probability of success of clinical trials with the approved dose of ivermectin is low, and the treatment based only on this medication is not ideal (Schmith *et al.*, 2020). However, this is part of the research advance towards new treatments against COVID-19. In this way, the actions taken by the diverse research teams, particularly those with the generation of lines of knowledge related to biotechnology and the identification of beneficial microorganisms, as well as their metabolites for the solution of these problems, are crucial to contribute towards the generation of alternatives that mitigate the direct and indirect impact of the ongoing pandemic. In the same way as all other institutions in the country and the world, the LBRM-COLMENA Research Node changed in the way in which scientific research was conducted, as a consequence of the COVID-19 pandemic. The present work aims to share the experiences of our work team during the ongoing health contingency, as well as the strategies implemented to continue with research projects focused on the generation of knowledge in different scientific disciplines.

The impact of COVID-19 on the activities of LBRM-COLMENA Research Node

The Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano-Colección de Microorganismos

de emergencia de patógenos en humanos. Por otro lado, debido al surgimiento de problemáticas mundiales de origen biológico, la inseguridad alimentaria y el descubrimiento continuo de nuevas especies o subespecies microbianas, actualmente se tiene la necesidad de estudiar los microorganismos a todos los niveles, incluyendo su bioprospección como fuente de metabolitos con actividad anti-SARS-CoV-2. Tal es el caso de la ivermectina derivada de la bacteria *Streptomyces avermitilis*, la cual se reportó como un inhibidor de la replicación de este tipo de virus *in vitro* (Abdelmohsen *et al.*, 2014; Caly *et al.*, 2020). Posteriores trabajos indicaron que la probabilidad de éxito de ensayos clínicos con la dosis aprobada de ivermectina es baja, y que un tratamiento basado únicamente en ese medicamento no es lo ideal (Schmith *et al.*, 2020). Sin embargo, esto forma parte del progreso de investigación sobre nuevos tratamientos para la enfermedad de COVID-19. De esta manera, las acciones de los diversos equipos de investigación, en especial aquellos que cuentan con líneas de generación del conocimiento relacionadas a la biotecnología e identificación de microorganismos benéficos, así como sus metabolitos para la solución de estas problemáticas, son indispensables para contribuir a la generación de alternativas que mitiguen los impactos directos e indirectos de la presente pandemia. Al igual que todas las instituciones en el país y el mundo, el Nodo de Investigación LBRM-COLMENA experimentó cambios en la conducción de la investigación científica, como consecuencia de la pandemia de COVID-19. El objetivo de este trabajo es compartir las experiencias de nuestro equipo de trabajo durante la actual contingencia sanitaria, y las estrategias implementadas para continuar con los proyectos de investigación enfocados en la generación del conocimiento en diferentes disciplinas científicas.

Edáficos y Endófitos Nativos (LBRM-COLMENA) Research Node, of the Instituto Tecnológico de Sonora, is focused on the study of the native microbiota at an ecological, physiological, metabolic and genomic level, as well as its interactions with the main agricultural crops in Mexico, preserving this agro-biotechnological resource *ex situ* (Figure 1). The aim of this Research Node is to develop sustainable agro-biotechnological alternatives - based on the use of native microorganisms- to increase agricultural competitiveness of the Mexican northwest and the entire country, reducing the microbial deterioration of agricultural soils under current edaphoclimatic conditions and in the face of climate change (<https://www.itson.mx/lbrm> and <https://www.itson.mx/colmena>) (de los Santos-Villalobos *et al.*, 2018).

Impacto COVID-19 en actividades del Nodo de Investigación LBRM-COLMENA

El Nodo de Investigación Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano-Colección de Microorganismos Edáficos y Endófitos Nativos (LBRM-COLMENA), del Instituto Tecnológico de Sonora, está enfocado en el estudio de la microbiota nativa a nivel ecológico, fisiológico, metabólico y genómico, y sus interacciones con los principales cultivos agrícolas en México, preservando este recurso agro-biotecnológico *ex situ* (Figura 1). La meta de este Nodo de Investigación es el desarrollo de alternativas agro-biotecnológicas sostenibles -basadas en el uso de microorganismos nativos- para incrementar la competitividad agrícola de la región noroeste y de México, disminuyendo

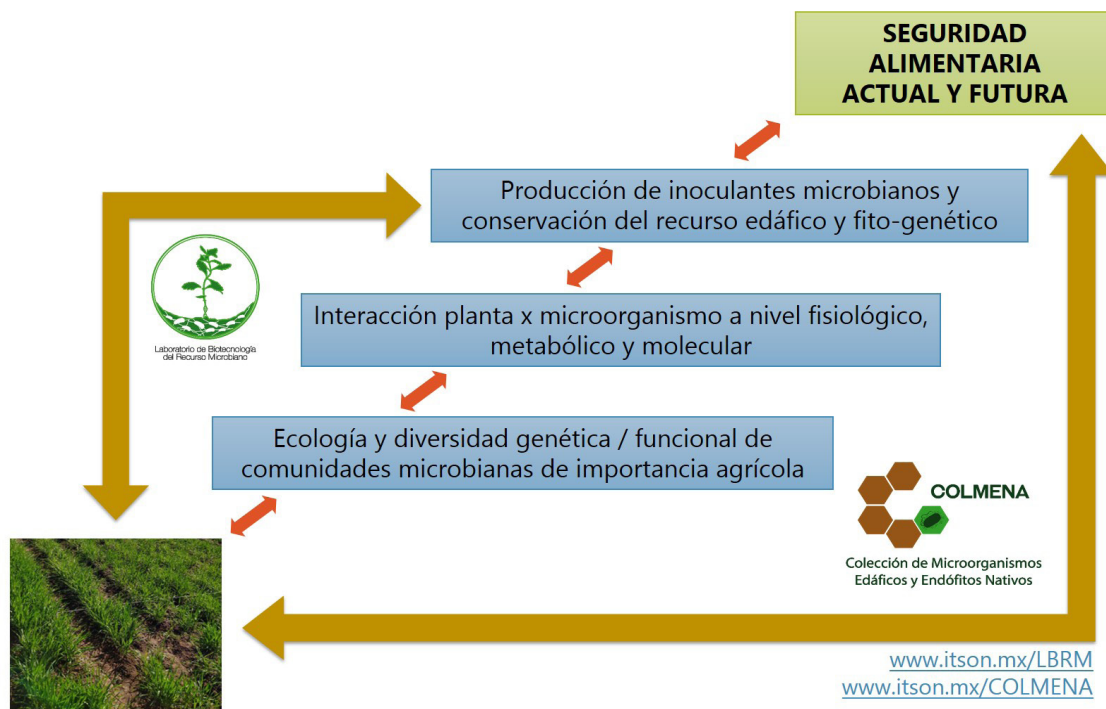


Figure 1. Lines of research developed in the LBRM-COLMENA Research Node focused on contributing to food security.
 Figura 1. Líneas de investigación desarrolladas en el Nodo de Investigación LBRM-COLMENA enfocadas a contribuir a la seguridad alimentaria.

The research projects developed in the LBRM-COLMENA Research Node are based on the broad collaboration with institutes throughout Mexico and abroad, creating bonds between basic science and applied science. However, the ongoing COVID-19 pandemic changed the guidelines and regulations in all sectors, including educational institutions, cooperating sectors, and scientific networks, due to the social distancing and confinement recommendations. This displayed the fragility of current knowledge-generating systems, which were almost exclusively supported by our physical presence in offices, laboratories and, public and private educational and research centers. In addition, all important agreements, conferences, symposia, courses, and seminars were held in person, which had to change to adapt to our new reality. In this way, some projects, activities, and services offered by LBRM-COLMENA Research Node were negatively affected by the pandemic (Figure 2). For

la degradación microbiana de los suelos agrícolas, bajo condiciones edafo-climáticas actuales y en perspectivas al cambio climático (<https://www.itson.mx/lbrm> y <https://www.itson.mx/colmena>) (de los Santos-Villalobos *et al.*, 2018).

Los proyectos de investigación desarrollados en el Nodo de Investigación LBRM-COLMENA se basan en la estrecha colaboración con instituciones a nivel nacional e internacional, generando vínculos entre la ciencia básica y la ciencia aplicada. Sin embargo, la presente pandemia de COVID-19 modificó los lineamientos y normativas en todos los sectores, incluyendo las instituciones educativas, sectores cooperantes y redes científicas, debido a las recomendaciones de distanciamiento social y confinamiento. Esto hizo evidente la fragilidad de los sistemas actuales de generación del conocimiento, que se sostenían casi únicamente de nuestra presencia en oficinas, laboratorios, centros educativos y de investigación, tanto del sector privado y público.

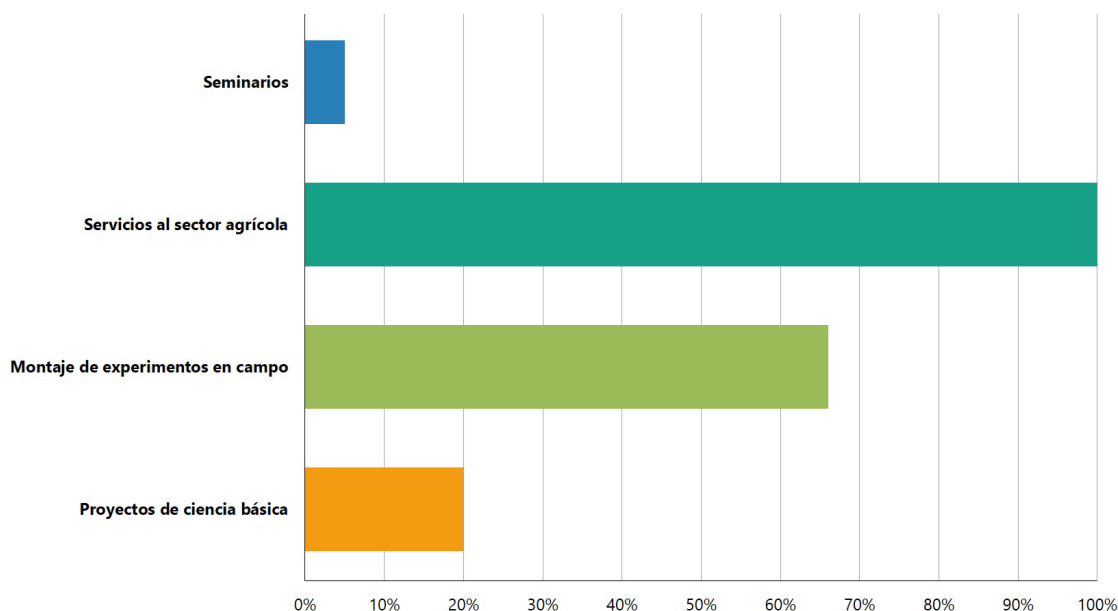


Figure 2. The negative impact of the COVID-19 pandemic on the projects and activities of the LBRM-COLMENA Research Node. 100% indicates the highest impact.

Figura 2. Impacto negativo de la pandemia COVID-19 sobre los proyectos y actividades del Nodo de Investigación LBRM-COLMENA. El 100% indica el mayor impacto.

example, the production of microbial inoculants (biofertilizers and biopesticides) and other services stood completely still, starting in March 2020.

The impact of COVID-19 on the human resources of LBRM-COLMENA Research Node

LBRM-COLMENA Research Node is composed of visiting (11), Bachelor's (13), Master's (nine), and Ph.D. students (three), out of which, 62% are women (three mothers) and 38% men (four fathers). In addition, they mainly come from different cities in Sonora, Sinaloa, Baja California, and Durango. One of the first strategies to reduce the contagion and spreading of the ongoing pandemic was to reduce the mobility of students and stay home. This action, considered important for the proposed objectives, had a considerable impact on the family component since the virtual/remote schooling of one or more family members lead to a not-so-clear separation of functions. This led some students to attend to their professional obligations, but also to housework and their schoolwork, as well as their children's schoolwork, which did away with a standard working schedule and created different complications. This, in turn, produced an environment of greater mental burden and uncertainty with psychological consequences, and sometimes, with episodes of the disease suffered by a family member or themselves. In this sense, the team members working on their dissertations underwent the pressure of not being able to make progress with their research projects, despite the fact that the scholarship period progressed, fearing that they would not finishing their studies in a proper and timely manner.

On the other hand, the members of LBRM-COLMENA Research Node had to adapt to the remote modality to continue their work, with everything it implied: the cancellation of training

Además, todos los acuerdos importantes, congresos, simposios, cursos y seminarios eran presenciales, lo cual tuvo que cambiar para adaptarnos a la nueva realidad. De esta manera, algunos proyectos, actividades y servicios ofrecidos por LBRM-COLMENA fueron afectados negativamente por la pandemia (Figura 2). Por ejemplo, la producción de inoculantes microbianos (biofertilizantes y bioplaguicidas) y otros servicios para el sector agrícola se detuvieron totalmente desde marzo de 2020.

Impacto COVID-19 en el recurso humano del Nodo de Investigación LBRM-COLMENA

LBRM-COLMENA está integrado por estudiantes de estancia (11), licenciatura (13), maestría (nueve), y doctorado (tres), de los cuales el 62% son mujeres (tres madres de familia) y 38% hombres (cuatro padres de familia). Además, dichos miembros son originarios de diferentes ciudades de Sonora, Sinaloa, Baja California y Durango, principalmente. Una de las primeras estrategias para reducir el contagio y dispersión de la presente pandemia fue reducir la movilidad de estudiantes y permanecer en casa. Esta acción, importante para los fines planteados, impactó considerablemente el componente familiar, ya que la escuela en modalidad virtual/ remota de uno o varios miembros de las familias condujo a una separación no tan clara de las funciones. Esto condujo a algunos estudiantes a atender tanto las obligaciones profesionales, como las relacionadas con la gestión del hogar y las tareas escolares de ellos y los dependientes, lo cual eliminó un horario estándar laboral y generó diversas complicaciones. Lo anterior generó un entorno de mayor carga mental e incertidumbre con consecuencias psicológicas y, en ocasiones, atravesando la enfermedad de manera personal o de algún familiar. En este sentido, los integrantes del equipo de trabajo que realizaban sus tesis de grado

courses, the modification of their contents to be presented remotely, and in general, academic-scientific plans had modifications like never before. In addition, the measurements and collection of field data, and some lab experiments had to continue in some way or another, albeit with difficulties, following adequate health and safety measures, and always making the health of those involved their priority. The foregoing, due to the need to obtain results to meet the objectives presented before and/or during the pandemic, since, in some cases, projects and scholarships had no extension periods. However, this was not the case for the meetings and projects of our work team, which involved international collaborations, due to geopolitical and economic differences.

The impact of COVID-19 on the productivity of LBRM-COLMENA Research Node

The contingency has shown the resilience of the collaborative work teams, highlighting some positive aspects of the emergency closure of institutions. For example, the increase in scientific productivity, since the total of work hours was reduced, leaving more time for the analysis of previously obtained data and the writing of manuscripts (Myers *et al.*, 2020). In this sense, in our work team, like in many others throughout the country and the world, the contingency period and the extended time at home were used to analyze data and write scientific articles, dissertations, and projects. However, we must be aware that this productivity reflects years of work (pre-pandemic); therefore, the consequences of the pandemic in scientific research will become evident in the years after the pandemic, when there is insufficient information or data to publish due to the limited access to academic institutions and the reduction of budgets.

experimentaron la presión por no avanzar con sus proyectos de investigación mientras que el tiempo de beca avanzaba, temiendo no terminar sus estudios en tiempo y forma.

Por otra parte, los miembros de LBRM- COLMENA debieron adaptarse a la modalidad remota para continuar con sus labores, con todo lo que eso implica: la cancelación de cursos de entrenamiento, la modificación de sus contenidos para impartirse a distancia y, en general, los planes académicos-científicos tuvieron adecuaciones como nunca antes. Además, las mediciones y las colectas de datos en el campo, y algunos experimentos en el laboratorio debieron continuar de una u otra forma, aunque con dificultades, siguiendo las medidas adecuadas de seguridad e higiene, siempre teniendo como prioridad la salud de los involucrados. Lo anterior, debido a la necesidad de obtener resultados para cumplir los objetivos planteados antes y/o durante la pandemia, ya que en algunos casos los proyectos y las becas no tuvieron ampliación. Sin embargo, este no fue el caso para los encuentros y los proyectos de nuestro equipo de trabajo que involucraron colaboraciones a nivel internacional, debido a las diferencias geopolíticas y económicas.

Impacto COVID-19 en la productividad de LBRM-COLMENA

La contingencia ha demostrado la resiliencia de los equipos de trabajo colaborativo, destacando algunos aspectos positivos por el cierre de emergencia de las instituciones. Por ejemplo, el incremento de la productividad científica, ya que el total de horas de trabajo disminuyó en las instituciones generando mayor tiempo para el análisis de datos previamente obtenidos y la escritura de los manuscritos respectivos (Myers *et al.*, 2020). En este sentido, en nuestro equipo de trabajo, al igual que muchos otros a nivel nacional e internacional, se

In this sense, a survey conducted between May and June of 2020 by Rijis and Fenter (2020) and answered by a total of 25,307 people, including health professionals, Ph.D. students, and researchers from 152 countries, indicated that 70% of researchers were able to continue with the majority of their activities, 20% indicated that their professional activities changed completely, and the rest considered that their work was not affected by the pandemic. On the other hand, 74% reported that their most common activity during this was writing scientific articles for publication, whereas 57% continued with their investigation. In addition, the study highlighted the differences perceived by people regarding the ability of their organizations and country for remote work, or if they considered that the advice of the scientific community is taken into account in the decision-making in their country; for example, in New Zealand, 75% of people consider that their institution was adequately prepared for remote work, whereas in Brazil, only 36% of the people surveyed had the same opinion about their organization; in the United States, 66% did not believe that politicians had taken science-based advice into account, whereas in Mexico, 42% have the same opinion and in China, by contrast, only 14% think in the same way.

In our work team, productivity and communication among team members were consolidated through remote seminars. In this way, collaborations were reinforced with other work teams from different institutions and countries, strengthening and forming more research networks, and getting better feedback for the results of our projects. In this sense, despite the suspension of work-stay programs and academic conferences, we were able to create and attend training programs, workshops, and conferences that were held on virtual platforms, helping us reach a greater number of participants and make the material electronically available. For instance, every summer, the LBRM-

aprovechó el periodo de contingencia y la permanencia en casa para el análisis de datos, escritura de artículos científicos, tesis de grado y proyectos. Sin embargo, debemos ser conscientes que dicha productividad es un reflejo de años previos de trabajo (pre-pandemia); por lo tanto, la consecuencia de la pandemia sobre la investigación científica se observará en los siguientes años post-pandemia, cuando no exista suficiente información o datos por publicar debido al limitado acceso a las instituciones académicas y la disminución de presupuestos.

En este sentido, una encuesta conducida entre mayo y junio del 2020 por Rijis y Fenter (2020), y respondida por un total de 25,307 personas entre profesionales de la salud, estudiantes de doctorado e investigadores de 152 países, indicó que el 70% de los investigadores pudieron continuar con la mayoría de sus actividades, el 20% señaló que sus actividades profesionales cambiaron por completo y el resto considera que sus labores en el trabajo no se afectaron por la pandemia. Por otro lado, el 74% reportó que su actividad más común durante este periodo fue la escritura de artículos científicos para su publicación, mientras que el 57% continuaron con investigaciones. Además, dicho estudio destacó la existencia de diferencias percibidas por las personas sobre la capacidad de sus organizaciones y países para el trabajo vía remota, o tomaban en cuenta los consejos de la comunidad científica en la toma de decisiones; por ejemplo, en Nueva Zelanda, el 75% considera que su institución estaba preparada de manera adecuada para el trabajo a distancia, mientras que en Brasil solamente el 36% de los encuestados consideraron lo mismo de su organización; en Estados Unidos el 66% no pensaba que los políticos han tomado en cuenta los consejos basados en evidencia científica, el 42% en México opina lo mismo, y en China, en contraste, solamente el 14% piensa de esa manera.

En nuestro equipo de trabajo la productividad y la comunicación entre los miembros se consolida-

COLMENA Research Node opens its doors to students from different states and countries for scientific visits (Figure 3). Despite pandemic-related complications, in the summer of 2020, students were accepted to enter the laboratory in a remote modality. The students became engaged in projects related to bioinformatics, where they were trained in sequencing techniques and the correct taxonomic affiliation of different microorganisms of agronomical interest (biological control agents and promoters of plant growth). Thus, due to the ongoing pandemic, guaranteeing education and projects in laboratories and experimental fields at a distance (with greater complexity) was crucial; therefore, the research team leaders were creative and developed courses to simulate research experiences at those levels to strengthen abilities and the resolution of problems.

ron a través de los seminarios vía remota. De esta manera, se reforzaron las colaboraciones con otros equipos de trabajo de diferentes instituciones y países, logrando fortalecer y formar más redes de investigación, y obtener una mejor retroalimentación de los resultados de los proyectos. En este sentido, a pesar de la suspensión de estancias y congresos académicos, se logró generar y atender capacitaciones, talleres y congresos que se trasladaron a plataformas virtuales, lo cual permitió su difusión a un mayor número de participantes y que el material estuviera disponible electrónicamente. Sólo por mencionar un ejemplo, durante cada verano, el LBRM-COLMENA abre sus puertas a estudiantes de diferentes estados y países para realizar estancias científicas (Figura 3). A pesar de las complicaciones por la pandemia, se aceptaron estudiantes este verano 2020 para entrar al laboratorio en



Figure 3. Work team of the LBRM-COLMENA Research Node, Sonora, Mexico.
Figura 3. Equipo de trabajo del Nodo de Investigación LBRM-COLMENA, Sonora, México.

CONCLUSIONS

COVID-19 has had a global impact, and it has been estimated that it may not be the last pandemic to wreak havoc at a similar scale. Governments must invest in all areas of knowledge with collaborative, dynamic, and transdisciplinary approaches between the different sectors of society to make informed decisions; meanwhile, society (the academic-scientific sector being no exception) must be resilient to the ongoing pandemic and its impacts. Given all this, it is crucial to:

- a) *Look after our health.* We must prioritize our health and other people's health. Have a healthy diet and stay active but also look after our mental health, since the pandemic triggered conditions of stress and anxiety.
- b) *Maintain social relations and create new interpersonal relations.* Despite social distancing, technological media have allowed us to have personal and work conversations. Aside from work relations, in these times it is important to create relations of support, trust, and optimism with friends, families, and colleagues.
- c) *Change our habits, schedules, and workplaces.* Having an established schedule may be very useful to be more productive, particularly when working from home. The best is to have a time limit for working and include time for breaks, spending time with family, and leisure. During the pandemic, productivity may be frustrating, since the pace or efficiency of work is not the same as it was before the pandemic.
- d) *Set goals and timelines for work teams.* Due to the current situation, it is very likely that we reconsider our professional goals and adapt them to the new conditions. Occasional meetings can be held for each work team

modalidad remota. Los estudiantes se involucraron en proyectos relacionados a la bioinformática, donde se les capacitó en técnicas de secuenciación y la correcta afiliación taxonómica de diferentes microorganismos de interés agronómico (agentes de control biológico y promotores de crecimiento vegetal). Así, debido a la presente pandemia fue determinante garantizar la educación y proyectos en los laboratorios y campos experimentales (con mayor complejidad) a distancia; por lo tanto, los líderes de equipos de investigación fueron creativos y desarrollaron cursos para simular experiencias de investigación a estos niveles para fortalecer habilidades y la solución de problemas.

CONCLUSIONES

La enfermedad de COVID-19 ha tenido un impacto global y se estima que podría no ser la última pandemia en causar estragos de las magnitudes observadas. Los gobiernos deben invertir en todas las áreas del conocimiento con enfoques colaborativos, dinámicos y transdisciplinarios entre los diferentes sectores de la sociedad para tomar decisiones informadas; mientras que la sociedad (y el sector académico-científico no es la excepción) debe ser resiliente a la presente pandemia y sus impactos. Por lo anterior, resulta necesario:

- a) *Cuidar nuestra salud.* Debemos priorizar nuestra salud y la de los demás. Tener una alimentación saludable y mantenernos activos, pero también cuidar la salud mental, ya que la pandemia desencadenó condiciones de estrés y ansiedad.
- b) *Mantener las relaciones sociales y crear nuevas relaciones interpersonales.* A pesar del distanciamiento social, los medios tecnológicos nos permiten mantener conversaciones personales y de trabajo. Además de las relaciones laborales,

to strengthen bonds between the members, measure the progress, and tackle the challenges of the research projects.

- e) *Be responsible.* We must look out for trustworthy news, follow the established health and safety measures and look after our health and other people's health. We must understand that the reported statistics mean the lives of people and not just numbers and that we, as a society, play a crucial role in the reduction of infection. We must also avoid the distribution of fake or unverified information to avoid the disinformation of society in the face of the current pandemic.

Finally, one aspect worth considering to prevent future pandemics and their negative impact is to ensure the biological integrity of our planet for present and future generations. This means that the government of each country and each one of us must work together via different disciplines and sectors of society, not just to monitor, prevent and reduce the appearance of zoonotic diseases, but also to prioritize the conservation of ecosystems, including agroecosystems, since these provide a fundamental structure for life and health.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge support by the NPTC PRODEP Project 511-6/2020-8594.

LITERATURE CITED

- Abdelmohsen U, Bayer K and Hentschel U. 2014. Diversity, abundance and natural products of marine sponge-associated actinomycetes. *Natural Product Reports* 31: 381-399. <https://doi.org/10.1039/C3NP70111E>
- Caly L, Druce J, Catton M, Jans D and Wagstaff, K. 2020. The FDA-approved drug ivermectin inhibits the replication of SARS-CoV-2 *in vitro*. *Antiviral Research* 178: 104787. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2020.104787>

en estos tiempos es importante la creación de relaciones de apoyo, confianza y optimismo con amigos, familiares y colegas.

- c) *Cambiar nuestros hábitos, horarios y espacio de trabajo.* Tener un horario establecido puede ser muy útil para ser más productivos, sobre todo cuando se trabaja desde casa. Lo ideal es tener un tiempo límite para trabajar e incluir tiempo para descansos, convivencia en familia y ocio. Durante la pandemia, la productividad puede ser frustrante, ya que no se trabaja al mismo ritmo o eficiencia que antes de la pandemia.
- d) *Fijar metas y cronogramas en los equipos de trabajo.* Debido a la situación actual es muy probable que replanteemos nuestras metas profesionales, y adaptarlas a las nuevas condiciones. Se pueden establecer reuniones periódicas en cada equipo de trabajo para fortalecer la convivencia entre los miembros, medir los avances y sobrellevar los retos de los proyectos de investigación.
- e) *Ser responsables.* Debemos estar atentos a las noticias confiables, seguir las medidas preventivas establecidas, cuidar nuestra salud y la de los demás. Es necesario que comprendamos que las estadísticas reportadas significan vidas de personas y no sólo números, y que nosotros como sociedad tenemos un papel fundamental para disminuir los contagios. También debemos evitar la distribución de información falsa o no comprobada para evitar la desinformación de la sociedad ante la presente pandemia.

Por último, un aspecto a considerar para prevenir futuras pandemias y sus impactos negativos es asegurar la integridad biológica de nuestro planeta para las presentes y futuras generaciones. Esto significa que los gobiernos de cada país y cada uno de nosotros debemos trabajar en conjunto a través de diversas disciplinas y sectores de la sociedad, no

- de los Santos-Villalobos S, Parra-Cota FI, Herrera-Sepúlveda A, Valenzuela-Aragón B and Estrada-Mora, JC. 2018. Colmena: colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos, para contribuir a la seguridad alimentaria nacional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(1): 191–202. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.858>
- Díaz-Rodríguez A, Gastelum L, Félix-Pablos C, Parra-Cota FI, Santoyo G, Puente M, Bhattacharya D, Mukherjee J and de los Santos-Villalobos S. 2021. The Current and Future Role of Microbial Culture Collections in Food Security Worldwide. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4: 614739. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.614739>
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2020. Policy Brief: The Impact of COVID-19 on Food Security and Nutrition. UN: New York, NY, USA. https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/sg_policy_brief_on_covid_impact_on_food_security.pdf
- High Level Panel of Experts (HLPE). 2020. Impacts of COVID-19 on food security and nutrition: developing effective policy responses to address the hunger and malnutrition pandemic. Rome. <http://www.fao.org/3/cb1000en/cb1000en.pdf>
- Lal R. 2020. Soil science beyond COVID-19. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(4), 79A-81A. <https://doi.org/10.2489/jswc.2020.0408A>
- Mendes R, Garbeva P and Raaijmakers JM. 2013. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. *FEMS microbiology reviews* 37(5): 634-663. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12028>
- Myers KR, Tham WY, Yin Y, Cohodes N, Thursby JG, Thursby MC, Schieffer P, Lakhani KR and Wang D. 2020. Unequal effects of the COVID-19 pandemic on scientists. *Nature human behaviour* 4(9): 880-883. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0921-y>
- OECD. (2020). Food supply chains and COVID-19: Impacts and policy lessons. <http://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/food-supply-chains-and-covid-19-impacts-and-policy-lessons-71b57aea/#:~:text=The%20COVID%2D19%20pandemic%20has,the%20spread%20of%20the%20virus>

sólo para monitorear, prevenir y reducir la aparición de enfermedades zoonóticas, sino también para priorizar la conservación de los ecosistemas, incluidos los agro-ecosistemas, ya que éstos proporcionan una estructura fundamental para la vida y la salud.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo del NPTC Proyecto PRO-DEP 511-6/2020-8594.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Parewa HP, Meena VS, Jain LK and Choudhary A. 2018. Sustainable Crop Production and Soil Health Management through Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. In: *Role of Rhizospheric Microbes in Soil*, ed. V. Meena (Singapore: Springer). 299-329. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-8402-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-10-8402-7_12)
- Rijs C and Fenter F. 2020. The academic response to COVID-19. *Frontiers in Public Health* 8: 797. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.621563>
- Schmith VD, Zhou J and Lohmer LR. 2020. The approved dose of ivermectin alone is not the ideal dose for the treatment of COVID-19. *Clinical Pharmacology & Therapeutics* 108(4): 762-765. <https://doi.org/10.1101/2020.04.21.20073262>
- Valenzuela-Ruiz V, Ayala-Zepeda M, Arellano-Wattenbarger GL, Parra-Cota FI, García-Pereyra J, Aviña-Martínez GN and de los Santos-Villalobos S. 2018. Las colecciones microbianas y su potencial contribución a la seguridad alimentaria actual y futura. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 14(1): 18-25. <https://www.itson.mx/publicaciones/rln/Documents/v14-n1-3.pdf>

# SECTION 3

PLANT HEALTH AND COVID-19

\*

FITOSANIDAD Y COVID-19

# The serial and generation intervals from SARS-CoV-2 transmission dynamics and their potential application in the epidemiology of two citrus diseases

## Los intervalos serial y de generación de la dinámica de transmisión de SARS-CoV-2 y su aplicación potencial en la epidemiología de dos enfermedades de los cítricos

Received: April 03, 2021.

Accepted: April 29, 2021.

Oscar Pérez-Hernández\*, Department of Plant Sciences and Plant Pathology, Montana State University, Bozeman, MT 59717, USA; Francisco Sautua, <sup>1</sup>Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina; Santiago Domínguez-Monge, Campo Experimental Ixtacuaco, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Tlapacoyan, Veracruz, CP 93600, México; Carlos Cecilio Góngora-Canul, Department of Botany and Plant Pathology, Purdue University, West Lafayette, IN, 47907; <sup>1</sup>Marcelo Carmona\*. \*Corresponding authors: oscar.perezhernandez@montana.edu; carmonam@agro.uba.ar

Pérez-Hernández O, Sautua F, Domínguez-Monge S, Góngora-Canul CC and Carmona M. 2021. The serial and generation intervals from SARS-CoV-2 transmission dynamics and their potential application in the epidemiology of two citrus diseases. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 307-327.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-23>

**Abstract.** Since the start of the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) causing the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic, the concepts of serial and generation intervals have been used as key epidemiological measures to understand the transmission dynamics of the disease. We carefully examined and repurposed these concepts to the understanding of the transmission chain and dynamics of two major

**Resumen.** Desde el inicio del síndrome respiratorio agudo grave del Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) responsable de la pandemia COVID-19, los conceptos de intervalo serial e intervalo de generación se han usado como medidas epidemiológicas clave para entender la dinámica de transmisión de la enfermedad. En esta revisión, estos conceptos se han examinado y reorientado al entendimiento de la cadena de transmisión y dinámica de dos enfermedades importantes de los cítricos: la tristeza de los cítricos (causada por Citrus tristeza virus, CTV) y el Huanglongbing (causado por *Candidatus Liberibacter asiaticus*). Basados en la definición fundamental de los conceptos, la revisión define la cadena de transmisión del SARS-CoV-2 y del CTV y CLas, señalando sus mayores diferencias y similitudes. Posteriormente, la revisión discute el cálculo de los intervalos y sus distribuciones para

citrus diseases: tristeza virus (caused by Citrus tristeza virus, CTV) and Huanglongbing (caused by *Candidatus Liberibacter asiaticus*). Following the fundamental definition of the concepts, the review delineates the transmission chain in the SARS-CoV-2 and that of CTV and CLAs, pointing out their major similarities and differences. Then, it discusses estimation of the serial and generation intervals and their distributions for both plant diseases. Identification of infector-infectee tree pairs in a transmission chain within orchards is proposed through use of disease incidence data from intensive mapping, spatial pattern analysis, conditional probability, and simulation approaches. Like in SARS-CoV-2 dynamics, pre-symptomatic transmission in these two plant pathosystems is of epidemiological significance. Hence, estimation of the serial and generation interval can lay the foundations to understanding of early disease transmission dynamics, thus the implementation of vector control measures or eradication of infected trees. We hope this review motivates discussions on estimation and usage of these concepts to enhance understanding of the epidemiology of both of the herein examined citrus diseases.

**Key words:** COVID-19, spatial pattern, CTV, HLB, Monte Carlo simulation

### **SARS-CoV-2 contagium analysis**

The rapid global spread of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) causing the coronavirus disease COVID-19 set out a tremendous amount of research for development of control and mitigation measures of the disease in affected regions. Therewith, several epidemiological concepts have been key to the understanding of the virus transmission and spread and, with it, planning

ambas enfermedades. La identificación de pares de árboles infector-infectado en una cadena de transmisión dentro de huertos se propone a través del uso de datos de incidencia de enfermedad de mapeos intensivos, análisis de patrón espacial, probabilidad condicional y métodos de simulación. Al igual que en la dinámica del SARS-CoV-2, la transmisión pre-sintomática en estos dos patosistemas es de significancia epidemiológica. De ahí que el cálculo del intervalo serial y de generación puede ayudar a sentar las bases para el entendimiento de la dinámica de transmisión temprana, y con ello, la implementación de medidas de control del vector o la erradicación de árboles enfermos. Se espera que esta revisión motive discusiones sobre el cálculo y uso de estos conceptos para mejorar el entendimiento de la epidemiología de las enfermedades examinadas en este trabajo.

**Palabras clave:** COVID-19, patrón espacial, VTC, HLB, simulación Monte Carlo.

### **Análisis del contagio SARS-CoV-2**

La rápida propagación global del síndrome respiratorio agudo severo coronavirus 2 (SARS-CoV-2) causante de la enfermedad del coronavirus COVID-19 desató una enorme cantidad de investigación para el desarrollo de medidas de control y mitigación de la enfermedad en regiones afectadas. Con ello, varios conceptos epidemiológicos han sido clave para entender la transmisión y la propagación del virus y, con ello, planificar para su intervención (Li *et al.*, 2021). Entre esos conceptos se encuentran el **intervalo serial, IS**: el período entre el inicio de los síntomas de un infector y un infectado, y el **intervalo de generación, IG**: el tiempo entre eventos de infección en un par de infector-infectado (Lehtinen *et al.*, 2021). El IS



for intervention (Li *et al.*, 2021). Among those concepts are the **serial interval, SI**: the period between symptom onset of an infector and an infectee, and the **generation interval, GI**: the time between infection events in an infector-infectee pair (Lehtinen *et al.*, 2021). The SI has proven to be an indicator for effective epidemic surveillance and is a proxy to GI estimation. The GI is essential to estimation of the basic reproductive number, that is, the average number of individuals infected by a single infector in a susceptible population (Rothman *et al.*, 2013). Both the SI and GI are the basis in epidemiological models aiming at guiding infectious disease intervention strategies (Ganyani *et al.*, 2020).

In this review, we examined the relevance of the SI and GI to the understanding of the dynamics of two important citrus diseases: tristeza virus and Huanglongbing (HLB). La tristeza is a disease caused by a phloem-limited virus (CTV) of the family Closteroviridae, genus Closterovirus, which infects citrus and related species (Dawson *et al.*, 2013). HLB, previously referred to as citrus greening disease, is one of the most destructive diseases of citrus worldwide caused by at least three species of the phloem-limited bacterium *Candidatus Liberibacter* (Bové, 2006). These diseases are the most prominent problems to production of citrus in Mexico and other citrus-growing regions of the world, where they have killed millions of citrus trees (Moreno *et al.*, 2008; Gottwald *et al.*, 2007; Spreen *et al.*, 2014; Dawson *et al.*, 2015; Dala-Paula *et al.*, 2019). Both diseases are vector-borne, with CTV transmitted primarily by the brown aphid *Toxoptera citricida* and CLAs by *Diaphorina citri*.

Like SARS-CoV-2, CTV and CLAs exhibit a period of transmission in which diseased individuals manifest no symptoms, yet are already contagious (Lee *et al.*, 2015; Moreno *et al.*, 2008). Spread of

ha demostrado ser un indicador para la vigilancia efectiva de epidemia y es un factor necesario para el cálculo del IG. El IG es esencial para estimar el número reproductivo básico, es decir, el promedio de individuos infectados por un solo infector en una población susceptible (Rothman *et al.*, 2013). Tanto el IS como el IG son las bases de modelos epidemiológicos que buscan guiar las estrategias de intervención de enfermedades infecciosas (Ganyani *et al.*, 2020).

En esta revisión examinamos la relevancia del IS y del IG para comprender la dinámica de dos enfermedades importantes en cítricos: el virus de la tristeza de los cítricos (VTC) y Huanglongbing (HLB). La tristeza de los cítricos es una enfermedad causada por un virus limitado al floema de la familia Closteroviridae, género Closterovirus, que infecta a cítricos y a especies relacionadas (Dawson *et al.*, 2013). HLB, antes conocida por su nombre en inglés, *Citrus greening disease*, es una de las enfermedades más destructivas de los cítricos en el mundo, causada por al menos tres especies de la bacteria *Candidatus Liberibacter* (Bové, 2006), limitada al floema. Estas enfermedades son las más destacadas para la producción de cítricos en México y otras regiones cítrícolas del mundo, en donde han matado a millones de árboles de cítricos (Moreno *et al.*, 2008; Gottwald *et al.*, 2007; Spreen *et al.*, 2014; Dawson *et al.*, 2015; Dala-Paula *et al.*, 2019). Ambas enfermedades son transmitidas por vectores: el VTC transmitido principalmente por el pulgón café *Toxoptera citricida* y CLAs, por *Diaphorina citri*.

Al igual que el SARS-CoV-2, VTC y HLB presentan un período de transmisión en el que los individuos enfermos no presentan síntomas, aunque ya son contagiosos (Lee *et al.*, 2015; Moreno *et al.*, 2008). Sin embargo, la propagación de VTC y HLB durante esta fase asintomática es un tema del cual todavía se tiene poco conocimiento mediante el uso

CTV and CLAs during such asymptomatic phase, however, is still poorly understood through usage of traditional epidemiological parameters such as disease infection rates, area under the disease progress curve, and dispersal distances. In contrast, early transmission dynamics of COVID-19 have been accurately characterized using the SI and GI as epidemiological measures (Ganyani *et al.*, 2020; Ferretti *et al.*, 2020; Lehtinen *et al.*, 2021; Li *et al.* 2021; Mettler *et al.*, 2020; Ng *et al.*, 2021). The objective of this review is to discuss the meaning of the SI and GI to put into perspective their potential usefulness or lack thereof in enhancing our understanding of the epidemiology of CTV and HLB. We discuss approaches to identification of infector-infectee tree pairs, which would be an important step in the SI and GI determination; we also discuss the estimation of the intervals and their distribution for both diseases. It is envisaged that this review motivates discussions on estimation and usage of these concepts to enhance understanding of the epidemiology of both of the herein examined citrus diseases.

### Serial and generation intervals applications

**Definitions.** The serial interval (SI) and the generation interval (GI, also referred to as the generation time) are key epidemiological parameters used in public health to characterize the transmission dynamics of diseases such as COVID-19 (Ganyani *et al.*, 2020; Ferretti *et al.*, 2020; Li *et al.* 2021; Mettler *et al.*, 2020; Ng *et al.*, 2021; Lehtinen *et al.*, 2021). The SI implies the time difference between symptom onset of an infector and an infectee, whereas the GI implies the time difference between being infected and infecting others or the time between infection events in an infector-infectee pair (Figure 1) (Lehtinen *et al.*, 2021). Other concepts that are used in the study

de parámetros epidemiológicos tradicionales, tales como tasas de infección, el área bajo la curva de progreso de la enfermedad y distancias de dispersión. Por el contrario, las dinámicas tempranas de transmisión de COVID-19 han sido caracterizadas con precisión con el uso del SI y el IG como medidas epidemiológicas (Ganyani *et al.*, 2020; Ferretti *et al.*, 2020; Lehtinen *et al.*, 2021; Li *et al.* 2021; Mettler *et al.*, 2020; Ng *et al.*, 2021). El objetivo de esta revisión es discutir el significado de IS e IG para poner en perspectiva su utilidad potencial, o ausencia de la misma, para comprender más a fondo la epidemiología del VTC y HLB. Aquí tratamos el tema de los enfoques para la identificación de pares de árboles infector-infectado, que sería un paso importante en la determinación del IS e IG; también tratamos la estimación de los intervalos y su distribución para ambas enfermedades. Con esta revisión buscamos generar discusiones sobre la estimación y el uso de estos conceptos para promover la comprensión de la epidemiología de las dos enfermedades de cítricos aquí tratadas.

### Aplicaciones de los intervalos serial y de generación

**Definiciones.** El intervalo serial (IS) y el intervalo de generación (IG, también conocido como el tiempo de generación) son parámetros epidemiológicos clave de uso en el sector de salud pública para caracterizar las dinámicas de transmisión de enfermedades como el COVID-19 (Ganyani *et al.*, 2020; Ferretti *et al.*, 2020; Li *et al.* 2021; Mettler *et al.*, 2020; Ng *et al.*, 2021; Lehtinen *et al.*, 2021). El IS implica la diferencia de tiempo entre el inicio de síntomas en un infector y un infectado, mientras que el IG implica la diferencia de tiempo entre infectarse e infectar a otros, o el tiempo entre eventos de infección en un par infector-infectado (Figura 1) (Lehtinen *et al.*, 2021). Otros conceptos usados en

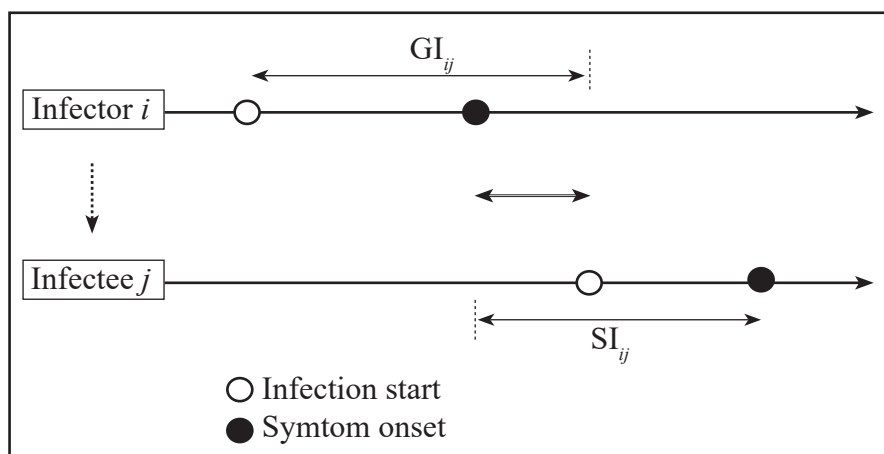


Figure 1. Representation of the serial interval ( $SI_{ij}$ ) and the generation interval or generation time ( $GI_{ij}$ ) in an infector  $i$ -infectee  $j$  COVID-19 transmission chain. Hollow arrow in the middle represents the time length from symptom onset of  $i$  to infection of  $j$ . The incubation period (not indicated) is the time from start of infection (white circle) to symptom onset (black circle) in each individual. Based on Lehtinen *et al.* (2021).

Figura 1. Representación del intervalo serial ( $SI_{ij}$ ) y el intervalo de generación o el tiempo de generación ( $GI_{ij}$ ) en una cadena de transmisión de infectante  $i$ -infectado  $j$  de COVID-19. La flecha hueca en el medio representa el tiempo desde el inicio de los síntomas de  $i$  hasta la infección de  $j$ . El período de incubación (no indicado) es el tiempo desde el inicio de la infección (círculo blanco) hasta el inicio de los síntomas (círculo negro) en cada individuo. Basado en Lehtinen *et al.* (2021).

of infectious diseases are the basic reproductive number ( $R_0$ ) and the incubation period. The basic reproductive number, a measure of the transmission potential of a disease, quantifies the average number of secondary infections produced by a typical case of an infection in a population of all susceptible individuals (Rothman *et al.*, 2013). The incubation period (IP) is the elapsed time from infection to symptom onset. In plant pathology, the IP is defined as the time between infection by a pathogen and the onset of symptom expression in the host plant. **Latency** or latent period is defined for viral diseases or for diseases caused by fastidious bacteria similar to viruses, as the time between a tree infection and the onset of infectivity. For crop diseases, the incubation and latent periods begin at infection and are related temporal processes (Agrios, 2005). In both humans and plants, newly infected asymptomatic individuals will initially remain in their latent period and do not transmit the pathogen (Leung *et al.*, 2018). However, when

el estudio de enfermedades infecciosas son el número reproductivo básico ( $R_0$ ) y el período de incubación. El número reproductivo básico, una medida del potencial de transmisión de una enfermedad, cuantifica el promedio de infecciones secundarias producidas por un caso típico de infección en una población de sólo individuos susceptibles (Rothman *et al.*, 2013). El período de incubación (PI) es el tiempo transcurrido desde la infección hasta el inicio de los síntomas. En fitopatología, el PI se define como el tiempo entre la infección por un patógeno y el inicio de la expresión de síntomas en la planta hospedante. La **latencia** o el período de latencia se define, para las enfermedades virales o enfermedades causadas por bacterias fastidiosas similares a los virus, como el tiempo entre una infección arbórea y el inicio de la infectividad. Para las enfermedades de cultivos, los períodos de incubación y latencia empiezan con la infección y son procesos temporales relacionados (Agrios, 2005). Tanto en humanos como en plantas, los individuos

the GI is fulfilled, asymptomatic individuals can become infective and transmit the causative agent of the disease (Gottwald *et al.*, 2002; Rimbaud *et al.*, 2015; Qian *et al.*, 2020; Johansson *et al.*, 2021). By definition, latency ends when infectivity begins. Generally, the incubation period is longer than the latent period. Unlike the infection process caused by the SARS-CoV-2 virus strain directly between humans, viral and bacterial infections in trees are often transmitted between fruit trees by an insect vector. Thus, in the latter case, transmission is not direct, but depends on variables that affect the biology and ecology of the vector (Gottwald *et al.*, 1999; Canale *et al.*, 2017). Assessing or determining the incubation and latent periods for vector-borne diseases remains a challenge (Rimbaud *et al.*, 2015).

#### **Transmission chain of the examined diseases**

**COVID-19.** The COVID-19 is an infectious disease caused by a newly identified Coronavirus (Coronaviridae: Beta-coronavirus), an enveloped, positive single-stranded RNA virus with the characteristic “crown-like” spikes on its surface. The first case was identified in Wuhan, China, in December 2019 (Asselah *et al.*, 2021). Symptoms of the disease can be described as mild in most people, although it can also cause severe illness and even death in others (Mavrodiev *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020). The chain of infection of COVID-19, as defined in public health, refers to the series of interconnected stages since an infectious agent leaves its host, is conveyed by some mode of transmission, until it enters and infects a new susceptible host. The chain of infection of COVID-19 has an exponential phase, as infected and healthy hosts get within a close-range distance thus favoring direct or indirect transmission (Wu *et al.*, 2020). Direct transmission can occur through kissing or sharing eating utensils, whereas

asintomáticos recién infectados permanecen, inicialmente, en su período latente y no transmiten el patógeno (Leung *et al.*, 2018). Sin embargo, cuando el IG se completa, los individuos asintomáticos pueden volverse infecciosos y transmitir el agente causal de la enfermedad (Gottwald *et al.*, 2002; Rimbaud *et al.*, 2015; Qian *et al.*, 2020; Johansson *et al.*, 2021). Por definición, la latencia termina cuando la infectividad empieza. Por lo general, el período de incubación es más largo que el período de latencia. A diferencia del proceso de infección causado por la cepa viral de SARS-CoV-2 directamente entre humanos, las infecciones virales y bacterianas en árboles suelen transmitirse entre árboles frutales por un insecto vector. Por ello, en el último caso, la transmisión no es directa, sino que depende de variables que afectan la biología y ecología del vector (Gottwald *et al.*, 1999; Canale *et al.*, 2017). La evaluación o determinación de los períodos de incubación y latencia para enfermedades transmitidas por vectores continúa siendo todo un desafío (Rimbaud *et al.*, 2015).

#### **Cadena de transmisión de las enfermedades estudiadas**

**COVID-19.** El COVID-19 es una enfermedad infecciosa causada por un Coronavirus (Coronaviridae: Beta-coronavirus) identificado recientemente; un virus de ARN monocatenario positivo, envuelto con los característicos picos tipo “corona” en su superficie. El primer caso fue identificado en Wuhan, China, en diciembre de 2019 (Asselah *et al.*, 2021). Los síntomas de esta enfermedad pueden ser descritos como leves en la mayoría de las personas, aunque también puede causar malestares severos e incluso la muerte en otros (Mavrodiev *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020). La cadena de infección del COVID-19, como la define el sector de salud pública, se refiere a la serie de etapas interconectadas, desde que un agente infeccioso sale de su



indirect transmission occurs by touching a surface contaminated by virus-containing secretions and then touching a portal of entry such as eyes, nose or mouth. Another form of COVID-19 transmission occurs when virus-containing droplets and aerosols are expelled from an infected person through speaking, breathing, coughing and sneezing (Prather *et al.*, 2020). The transmission chain begins when a symptomatic or asymptomatic infector or primary source infects one or several individuals (infectees) who are in proximity (Qian *et al.*, 2020; Wei *et al.*, 2020). This pattern is affected by the mobility of and exposure to symptomatic or asymptomatic infectors. Pre-symptomatic transmission occurs when the GI is shorter than the IP of the infector. According to Nishiura *et al.* (2020) the median SI is shorter than the median IP, suggesting a substantial proportion of pre-symptomatic transmission. In other study it was estimated that at least 50% of new SARS-CoV-2 infections originated from exposure to individuals with asymptomatic infection (Johansson *et al.*, 2021). For this reason, mitigation measures such as quarantines, social distancing, mask use, hand hygiene and strategic qPCR testing of people help reduce the risk of transmission, thus interrupt infection chains as early as possible.

The duration of the SI and GI of COVID-19 is estimated from contact-tracing data in a transmission chain from confirmed cases (Ganyani *et al.*, 2020; Ferretti *et al.*, 2020; Li *et al.* 2021; Mettler *et al.*, 2020; Ng *et al.*, 2021). Estimates suggest a SI mean of 7.5 days (95% CI: 5.3–19), GI mean of 3.95 days (95% CI: 3.01–4.91), and IP mean of 5.2 days (95% CI: 4.1–7.0) (Ganyani *et al.*, 2020; Li *et al.* 2020). In the transmission chain of COVID-19, the length of the SI is affected by the infector-infectee interaction, as the pair may include persons of different age and response to COVID-19 infection. For instance, it has been observed that while some people exhibit only very mild symptoms, others may express a highly severe syndrome or die.

hospedante y es transportado por algún mecanismo de transmisión hasta que ingresa a un nuevo hospedante susceptible y lo infecta. La cadena de infección de COVID-19 tiene una fase exponencial cuando hospedantes infectados y sanos se acercan a una distancia muy próxima entre ellos, lo cual favorece la transmisión directa o indirecta (Wu *et al.*, 2020). La transmisión directa puede ocurrir por medio de besos o por compartir cubiertos al comer, mientras que la transmisión indirecta ocurre al tocar una superficie contaminada con secreciones que contienen el virus y después tocar un portal de entrada al cuerpo, tal como los ojos, nariz o boca. Otra forma de transmisión del COVID-19 ocurre cuando gotículas y aerosoles que contienen el virus son expulsados de una persona infectada al hablar, respirar, toser o estornudar (Prather *et al.*, 2020). La cadena de transmisión comienza cuando un infector sintomático o asintomático, o una fuente primaria infecta a uno o varios individuos (infectados) que se encuentran en proximidad física (Qian *et al.*, 2020; Wei *et al.*, 2020). Este patrón se ve afectado por la movilidad de infectores sintomáticos o asintomáticos y la exposición a los mismos. La transmisión presintomática ocurre cuando el IG es más corto que el PI del infector. Según Nishiura *et al.* (2020), la mediana del IS es más breve que la del PI, lo cual sugiere una proporción importante de transmisión presintomática. En otro estudio se estimó que al menos 50% de las nuevas infecciones de SARS-CoV-2 se originaron de la exposición a individuos con infección asintomática (Johansson *et al.*, 2021). Por este motivo, las medidas de mitigación tales como la cuarentena, el distanciamiento social, el uso de cubrebocas, la higiene de manos y la realización estratégica de pruebas qPCR ayudan a reducir el riesgo de transmisión, y por ello a interrumpir cadenas de infección lo más temprano posible.

La duración del IS y el IG de COVID-19 se calcula del rastreo de datos de contacto en una cadena

**Citrus tristeza virus (CTV).** In plant disease epidemiology, the term “transmission chain” is not of common usage. Instead, the chain of infection of a disease is better referred to as the disease cycle, which refers to the different events that are conducive to disease in a portion of or in an entire plant population (Agrios, 2005). CTV is not transmitted by seed. Long-distance spread is mainly by transport of asymptomatic infected plant material by man. Thus, in newly established citrus orchards, the primary source of CTV inoculum is often the infected planted material. Once introduced into a citrus grove, short-range or local spread within orchards or groves is carried out by insect vectors (aphids). From infected trees, CTV is acquired by aphid populations that are responsible for secondary spread. Several species of aphids transmit CTV (Lee *et al.* 1994; Yokomi *et al.* 1994), of which *Aphis citricidus* (Syn. *Toxoptera citricida*) is the most efficient vector of CTV and transmits the virus in a semipersistent manner (Gottwald *et al.*, 1998; Dawson *et al.*, 2013). The acquisition requires a feeding period of 4-6 hours and aphids remain viruliferous for 24-48 hours without undergoing a latent period (Rocha-Peña *et al.*, 1994). The transmission chain of CTV can be simply described as: primary source/primary inoculum dispersion/first infected tree in an orchard → acquisition of the virus by an aviruliferous aphid → transmission of the virus by the aphid to a healthy tree → transmission to another healthy tree and → end of the transmission chain in 30 days with the end of the vector life cycle. Increase in the number of infective vectors in a population (increased secondary inoculum/transmission) → increase in the number of trees infected. In a transmission study conducted in the Yucatan Peninsula in Mexico, a transmission range of *A. citricidus* of 0 – 14.8% was estimated depending on the origin of the CTV isolates (Hernandez, 2013). The epidemiological

de transmisión de casos confirmados (Ganyani *et al.*, 2020; Ferretti *et al.*, 2020; Li *et al.* 2021; Mettler *et al.*, 2020; Ng *et al.*, 2021). Las estimaciones sugieren una media de IS de 7.5 días (95% CI: 5.3–19); para IG, una media de 3.95 días (95% CI: 3.01-4.91), y una media para PI de 5.2 días (95% CI: 4.1–7.0) (Ganyani *et al.*, 2020; Li *et al.* 2020). En la cadena de transmisión de COVID-19, la longitud del IS se ve afectada por la interacción infectador-infectado, ya que este par puede incluir a personas de diferentes edades y con diferentes respuestas a la infección por COVID-19. Por ejemplo, se ha observado que, mientras algunas personas solo presentan síntomas muy leves, otros pueden expresar un síndrome extremadamente severo o morir.

**Virus tristeza de los cítricos (VTC).** En la epidemiología de plantas, el término “cadena de transmisión” no es de uso común. En cambio, la cadena de infección de una enfermedad es mejor conocida como el ciclo de la enfermedad, lo cual se refiere a los diferentes eventos que conducen a la enfermedad en una porción o en la totalidad de una población de plantas (Agrios, 2005). El VTC no se transmite por semilla. Normalmente, la propagación a larga distancia es por el transporte de material vegetal infectado asintomático por humanos. Así, en huertos de cítricos recién establecidos, la fuente principal de inóculo de VTC suele ser el material vegetal infectado. Una vez introducido en un huerto de cítricos, la propagación local o de corto alcance dentro de huertos o plantaciones se lleva a cabo por insectos vectores (pulgones). A partir de árboles infectados, el VTC es adquirido por poblaciones de pulgones responsables de la propagación secundaria. Varias especies de pulgones transmiten VTC (Lee *et al.* 1994; Yokomi *et al.* 1994), de las cuales *Aphis citricidus* (Syn. *Toxoptera citricida*) es el vector más eficiente de VTC y transmite el virus de manera semipersistente (Gottwald *et al.*, 1998; Dawson *et*

implication of these biological characteristics is reflected in high rates of temporal dispersion of CTV in field conditions (Rivas-Valencia *et al.*, 2017). For example, in Mexico, the incidence of CTV diseased trees increased 40% in a period of four years. Dispersal of severe isolates is increased by *A. citricidus*, even in rootstocks considered tolerant to CTV (Rivas-Valencia *et al.*, 2020).

Usually, CTV has an incubation period that lasts for several years, as citrus trees decline suddenly years after infection (Fishman *et al.*, 1983). This is commonly called a chronic infection. The disease, in endemic regions is present in more than 90% of citrus producing trees in an asymptomatic condition (Mora-Aguilera, 2008; Mora-Aguilera *et al.*, 2005; Rivas-Valencia *et al.*, 2017). In order to detect trees infected with CTV (asymptomatic or symptomatic), plant tissue is sampled and serological (ELISA) or molecular (RT-PCR) diagnostic techniques are applied (Hughes and Gottwald, 1998; Huang *et al.*, 2004; Rosa *et al.*, 2007; Ruiz-Ruiz *et al.*, 2007; Korkmaz *et al.*, 2008; Saponari *et al.*, 2008). There are few studies on the incubation periods of CTV. Balaraman and Ramakrishnan (1979) experimentally determined that a 100% transmission of the virus was only achieved with at least 15 viruliferous *T. citricida* feeding on one plant and that the aphids required 24 h for each period of acquisition and transmission. The incubation period was reduced by 15-20 days when more than 100 aphids were feeding per plant. In another experiment, a decline isolate inoculated in sour orange seedlings remained for 51 days in the basal parts of the plants but was systemically distributed throughout the plant by 58 days post inoculation (Rocha-Peña *et al.*, 1994). Gottwald *et al.* (2002) determined that CTV inoculated either in the spring or in the fall in 2-3 year-old trees, remain serologically undetectable until the following spring or later. Even during

*al.*, 2013). La adquisición requiere de un período de prueba de 4-6 horas y los pulgones permanecen virulíferos por 24-48 horas sin atravesar un período de latencia (Rocha-Peña *et al.*, 1994). La cadena de transmisión de VTC puede ser descrita, simplemente, de la siguiente manera: fuente primaria/dispersión del inóculo primario/primer árbol infectado en un huerto → adquisición del virus por un pulgón avirulífero → transmisión del virus por el pulgón a un árbol sano → transmisión a otro árbol sano y → fin de la cadena de transmisión en 30 días con el fin del ciclo de vida del vector. Aumento en el número de vectores infecciosos en una población (aumento de inóculo secundario/transmisión) → aumento en el número de árboles infectados. En un estudio de transmisión realizado en la Península de Yucatán, en México, se estimó un rango de transmisión para *A. citricidus* de 0 – 14.8%, dependiendo del origen de los aislamientos de VTC (Hernández, 2013). La implicación epidemiológica de estas características biológicas se refleja en las altas tasas de dispersión temporal del VTC en condiciones de campo (Rivas-Valencia *et al.*, 2017). Por ejemplo, en México, la incidencia de árboles con VTC aumentó 40% en cuatro años. La dispersión de aislamientos severos aumenta gracias a *A. citricidus*, incluso en patrones considerados tolerantes a VTC (Rivas-Valencia *et al.*, 2020).

Normalmente, VTC tiene un período de incubación de varios años, a medida que los árboles de cítricos se deterioran de repente, años después de infectarse (Fishman *et al.*, 1983). Esto se llama comúnmente una infección crónica. La enfermedad, en regiones endémicas, está presente en más de 90% de los árboles de cítricos en condiciones asintomáticos (Mora-Aguilera, 2008; Mora-Aguilera *et al.*, 2005; Rivas-Valencia *et al.*, 2017). Para detectar árboles infectados con VTC (asintomáticos o sintomáticos), se toman muestras de tejido vegetal y se aplican técnicas de diagnóstico serológicas

the following spring only some of the trees may have detectable infections. They figured out that systemic movement of CTV occurs within a few weeks after inoculation, but the detection threshold (the amount of virus load) remained quite low. Therefore, there is a considerable variation in latent period between initial and systemic infection.

**Huanglongbing (HLB).** HLB is one of the most serious problems of citrus worldwide. HLB is caused by *Candidatus Liberibacter* spp., a fastidious phloem-restricted bacterium transmitted by leafhoppers, and is characterized by a long incubation period of three months to multiple years before symptoms are visible (Manjunath *et al.*, 2008; Flores-Sánchez *et al.*, 2017; Canale *et al.*, 2020). The Asian psyllid *Diaphorina citri* is the most efficient vector and transmits the pathogen in a circulative-propagative (persistent) transmission cycle (Manjunath *et al.*, 2008; Hall *et al.*, 2013; Torres-Pacheco *et al.*, 2013; Keremane *et al.*, 2015; Galdeano *et al.*, 2020). According to Canale *et al.* (2017), the psyllids were able to transmit the pathogen for up to 5 weeks after a 14-day acquisition access period as nymphs. The psyllid is capable of acquiring the pathogen after feeding for 15 to 30 minutes and remains infective throughout their life (3 to 4 months) (Hall *et al.*, 2013; Galdeano *et al.*, 2020); transovarian transmission has been reported only in the African psyllid *Trioza erytreae* (Manjunath *et al.*, 2008). Gottwald *et al.* (2008) analyzed the effect of contagion by psyllids at close range, on the global dispersal pattern of the disease over time, finding that the infection of trees occurs mainly by psyllids that come from contaminated tree blocks not close to uninfected trees, and not by psyllids from nearby orchards. Studies conducted in citrus orchards in Florida on the spatial distribution of HLB, evidenced the existence of two infection processes (Gottwald *et al.* 2008): a process of

(ELISA) o moleculares (RT-PCR) (Hughes y Gottwald, 1998; Huang *et al.*, 2004; Rosa *et al.*, 2007; Ruiz-Ruiz *et al.*, 2007; Korkmaz *et al.*, 2008; Saponari *et al.*, 2008). Existen pocos estudios sobre los períodos de incubación de VTC. Balaraman y Ramakrishnan (1979) determinaron experimentalmente que una transmisión del virus 100% efectiva solo se logró con al menos 15 *T. citricida* virulíferos que se alimentaron de una planta, y que los pulgones requirieron 24 h para cada período de adquisición y transmisión. El período de incubación se redujo 15-20 días cuando más de 100 pulgones se alimentaron de cada planta. En otro experimento, un aislamiento inoculado en plántulas de naranjo agrio permaneció por 51 días en las partes basales de las plantas, pero se distribuyó sistemáticamente por toda la planta a los 58 días después de la inoculación (Rocha-Peña *et al.*, 1994). Gottwald *et al.* (2002) determinaron que el VTC inoculado en la primavera o en el otoño en árboles de 2-3 años de edad permanece serológicamente indetectable hasta la siguiente primavera o más tarde. Incluso durante la siguiente primavera, solo algunos de los árboles podrían tener infecciones detectables. Los mismos autores encontraron que el movimiento sistémico de VTC ocurre en las semanas siguientes a la inoculación, pero que el umbral de detección (la cantidad de carga viral) permaneció bastante bajo. Por lo tanto, existe una variación considerable en el período de latencia entre la infección inicial y la sistémica.

**Huanglongbing (HLB).** HLB es uno de los problemas más importantes de los cítricos a nivel mundial. HLB es causado por *Candidatus Liberibacter* spp., una bacteria fastidiosa limitada al floema transmitida por chicharritas, y se caracteriza por tener un periodo de incubación que dura de 3 meses a varios años antes de que los síntomas sean visibles (Manjunath *et al.*, 2008; Flores-Sánchez *et al.*,



primary dispersion, where contagion occurs mainly by long-distance vector transmission, and another by local dispersion that occurs within the orchard. The authors concluded that the most devastating contagion is associated with vectors coming from long distances, regardless of local control carried out with insecticides, since psyllids fed the distant trees (detected as infected with CLAs) will continue to infect local orchards before dying from insecticide applications. The transmission chain of CLAs can simply be described as: primary source or first infected tree → acquisition of the bacterium by a non-infective *Diaphorina* → transmission to a healthy tree and so forth.

Several researchers have reported variable incubation periods for CLAs, from a few months to one or more years (Gottwald *et al.*, 1989; Gottwald, 2010; Canale *et al.*, 2020). It has also been reported that in younger orchards the pathogen has incubation periods from 6 to 12 months. In a study by Irey *et al.* (2006), RT-PCR detection revealed that 50% of infected trees were symptomatic and 50% asymptomatic. In practice it is assumed that there can be two to manyfold more asymptomatic infections already established compared to those that are visually symptomatic in a given orchard. Thus, visual detection of HLB is inadequate because it leads to an underestimation of disease amount (false negatives). Further, systemic distribution within trees is incomplete or diffuse making early detection by molecular techniques even more difficult (Gottwald *et al.*, 2008). This is the reason why CLAs is highly invasive when introduced to new areas, i.e., the disease is usually highly spatially dispersed regionally prior to symptom expression (owing to the prolonged incubation period).

The prolonged incubation period and a regional dispersal can make eradication efforts nonviable (Gottwald, 2010). Recently, the median latent period was estimated to be 16.8 and 17.8 days for

2017; Canale *et al.*, 2020). El psílido asiático *Diaphorina citri* es el vector más eficiente y transmite el patógeno en un ciclo de transmisión circulatorio-propagativo (persistente) (Manjunath *et al.*, 2008; Hall *et al.*, 2013; Torres-Pacheco *et al.*, 2013; Kere-mané *et al.*, 2015; Galdeano *et al.*, 2020). De acuerdo con Canale *et al.* (2017), los psílicos pudieron transmitir el patógeno hasta por 5 semanas después de un periodo de acceso de adquisición de 14 días como ninfas. El psílido puede adquirir el patógeno después de alimentarse hasta por 15 a 30 minutos y permanece infectivo por el resto de su vida (3 a 4 meses) (Hall *et al.*, 2013; Galdeano *et al.*, 2020); la transmisión transovárica sólo ha sido reportada en el psílido africano *Trioza erytreae* (Manjunath *et al.*, 2008). Gottwald *et al.* (2008) analizaron el efecto del contagio por psílicos a cortas distancias sobre el patrón de dispersión global de la enfermedad en el tiempo, y encontraron que la infección de árboles ocurre principalmente por psílicos provenientes de bloques de árboles contaminados, no cercanos a árboles no infectados y no por psílicos de huertos cercanos. Estudios realizados en huertos de cítricos en Florida sobre la distribución espacial de HLB evidenciaron la existencia de dos procesos de infección (Gottwald *et al.* 2008): un proceso de dispersión primaria, donde el contagio ocurre principalmente por la transmisión de vectores a largas distancias, y otro, por dispersión local, que ocurre dentro del huerto. Los autores concluyeron que el contagio más devastador está relacionado con los vectores provenientes de largas distancias, independientemente del control local mediante insecticidas; dado que los psílicos se alimentan en árboles distantes (detectados como infectados con CLAs) continuarán infectando huertos locales antes de morir debido a las aplicaciones de insecticidas. La cadena de transmisión de CLAs se puede describir simplemente como: fuente primaria o primer árbol infectado → adquisición de la bacteria por una

nymphs and adults of the psyllids that acquired the pathogen, respectively (Canale *et al.*, 2017).

### **Estimation of the CTV and CLas serial and generation intervals and their distributions**

In the estimation of the SI and GI for COVID-19, infector-infectee pairs are normally constructed *ex post facto* from contact-tracing data of infected cases from official public records. Then, a number of transmission chains is determined from those data and the obtained measurements for SI are used to estimate the GI distribution using mathematical or statistical models through frequentist or Bayesian approaches (Li *et al.*, 2021; te Beest *et al.*, 2013). Estimation of the intervals for CTV and CLas can be more challenging because it should consider the indirect mode of pathogen acquisition and transmission by their mobile vectors and the sessile nature of the citrus trees. The latter condition can be advantageous for identification of infector-infectee tree pairs within orchards, however, provided the disease and vector population are monitored both spatially and temporally. An approach to pair assignment can be the examination of incidence maps of tristeza or HLB from periodic assessments, followed by spatial autocorrelation analysis of incidence data to determine the presence or absence of aggregation of diseased trees and, if aggregation is detected, its directionality and intensity too. The degree of spatial dependence indicated by the number of spatial lags with significant correlations ( $p < 0.05$ ) could be used to guide identification of trees in the incidence map as the possible infector-infectee pairs. Significant correlations at first, second or third order could be considered to account for the vector dispersal distance (Kobori *et al.*, 2011; Loxdale *et al.*, 1993) and the citrus row and tree spacing commonly used in commercial orchards. Monte Carlo simulation (an example is given in Table 1) and Markov-chain

*Diaphorina* no infectiva → transmisión a un árbol sano, y así sucesivamente.

Varios investigadores han reportado períodos variables de incubación para CLas, desde pocos meses hasta uno o varios años (Gottwald *et al.*, 1989; Gottwald, 2010; Canale *et al.*, 2020). También se ha observado que en los huertos más jóvenes el patógeno tiene períodos de incubación de entre 6 y 12 meses. En un estudio realizado por Irey *et al.* (2006), la detección de RT-PCR reveló que 50% de los árboles infectados eran sintomáticos y 50% asintomáticos. En la práctica se asume que puede haber dos o muchas veces más infecciones asintomáticas ya establecidas en comparación con aquellas que son visualmente sintomáticas en un huerto dado. Por ello, la detección visual de HLB es inadecuada porque conduce a subestimar la cantidad de enfermedad (falsos negativos). Además, la distribución sistémica dentro de los árboles es incompleta o difusa, lo que dificulta aún más la detección temprana mediante técnicas moleculares (Gottwald *et al.*, 2008). Esta es la explicación del por qué CLas es altamente invasivo cuando se introduce en áreas nuevas. Es decir, la enfermedad es normalmente muy dispersa espacialmente en la región antes de la expresión de síntomas (debido al largo período de incubación).

El prolongado período de incubación y una dispersión regional pueden hacer no viables los esfuerzos de erradicación (Gottwald, 2010). Recientemente se calculó la mediana del período de latencia en 16.8 y 17.8 días para las ninfas y los adultos de los psílidos que adquirieron el patógeno, respectivamente (Canale *et al.*, 2017).

### **Estimación de los intervalos serial y de generación en VTC y HLB y sus distribuciones**

En el cálculo del IS y el IG para COVID-19, los pares infector-infectado normalmente son creados *ex post facto* a partir de datos de rastreo de contacto de casos infectados de registros públicos oficiales.

**Table 1. Observed distances (m) between 12 HLB-diseased Persian lime trees and their four nearest neighbors in a 180-tree orchard, the estimated mean distances from 1000 randomly generated data using Monte Carlo simulation, and the estimated significance levels of the observed values.**

**Cuadro 1. Distancias observadas (m) entre 12 árboles de limón Persa enfermos deHLB y sus cuatro vecinos más cercanos en un huerto de 180 árboles, las distancias medias estimadas con 1000 datos generados de manera aleatoria usando la simulación Monte Carlo, y los niveles de significación estimados de los valores observados.**

| Distance (m)              | 1st nearest neighbor | 2nd nearest neighbor | 3rd nearest neighbor | 4th nearest neighbor |
|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Observed                  | 7.13                 | 9.78                 | 14.52                | 17.19                |
| Estimated Mean            | 7.1552               | 9.7746               | 14.5525              | 17.2107              |
| Significance <sup>z</sup> | 0.4961               | 0.5040               | 0.5001               | 0.4986               |

<sup>z</sup>The significance level for each  $i^{\text{th}}$  neighbor is the estimated probability of getting a value as high as the one observed, which is interpreted as the probability of a value as far as or farther from the mean of the simulated distribution. / <sup>z</sup>El nivel de significancia para cada  $i^{\text{er}}$  árbol vecino es la probabilidad estimada de obtener un valor tan alto como el observado, que es interpretado como la probabilidad de un valor tan lejos o más lejos que la media de la distribución simulada.

Data were obtained from an HLB study carried out in the north central region of Veracruz, Mexico from 2019 to 2020 (Dominguez *et al.*, unpublished) and data were simulated in R. / Los datos fueron obtenidos de un estudio de HLB realizado en la región norte-centro de Veracruz, México del 2019 al 2020 (Dominguez *et al.*, no publicado) y los datos se simularon en R.

Monte Carlo Methods can be used as an alternative to spatial autocorrelation to estimate randomness or lack thereof of diseased trees within an orchard. In the example provided in table 1, the observed distance between 12 diseased trees and their first nearest neighbor in a Persian lime orchard was 7.13, whereas the estimated distance from the randomization test (from 1000 simulations) was 7.1552. The difference was 0.0252. This means that the probability of a value as far as or farther than 7.13 is from 7.1552 is estimated as the proportion of the 1000 values that are 7.13 or less or 7.1804 (from 7.1552 + 0.252) or more. There are 496 values this extreme, so the significance of the results is estimated 0.496. This suggest evidence that the arrangement of the diseased trees in the orchard was random. Markov-Chain Monte Carlo Methods can also be used directly to identify infector-infectee tree pairs. In addition, as long as the event independence assumption is met, conditional probability and Bayes' theorem can be used to estimate the probability that a given tree was the infector to its nearest first, second or third neighbor. Explicitly, the probability that a symptomatic

Luego se determina una cantidad de cadenas de transmisión a partir de esos datos y las mediciones obtenidas para el IS se usan para estimar la distribución del IG por medio de modelos matemáticos o estadísticos con enfoques frecuentistas o bayesianos (Li *et al.*, 2021; te Beest *et al.*, 2013). El cálculo de los intervalos para VTC y HLB puede ser más difícil porque debe de considerar el modo indirecto de adquisición y transmisión de patógenos por sus vectores móviles y la naturaleza sésil de los árboles de cítricos. Sin embargo, esta última condición puede ser ventajosa para identificar pares de árboles infectores-infectados dentro de los huertos, siempre y cuando la enfermedad y la población de vectores sean monitoreadas tanto espacial como temporalmente. Una forma de asignar pares puede ser examinando mapas de incidencia de la tristeza o HLB desde evaluaciones periódicas, seguido de análisis de autocorrelación espacial de datos de incidencia para determinar la presencia o ausencia de agregación de árboles enfermos y, de encontrarse agregación, determinar también su direccionalidad e intensidad. El grado de dependencia espacial indicado por la cantidad de ubicaciones espaciales

tree A be the infector of tree B given that B is its nearest neighbor  $[P(A|B)]$  would be estimated by the probability of tree B being the infectee given that the symptomatic tree A is a primary source tree for infection to its closest neighbor  $[P(B|A)]$ , multiplied by the probability of B and divided by the probability of B. The equation form is:  $P(A|B) = [P(B|A) P(B)] / P(B)$ , where: P(A) is the probability of a symptomatic citrus tree A be a primary source tree or infector to its closest neighbor, and P(B) is the probability of a symptomatic tree B being the infectee by tree A assuming that it is its closest neighbor and was asymptomatic before A.

Distribution of the serial and generation interval of CTV and CLAS can be estimated with the observed SI data from the previous steps using similar approaches as those for COVID-19 (Lehtine *et al.*, 2021). Since the SI can take a continuum of values and be negative (shorter than the incubation period) then it requires a probability distribution model for a continuous random variable and that admits negative values. The lognormal, Gamma and Weibull distributions are suggested as variable distribution choices (cita). Following good-of-fit testing, the model can be used to obtain the confidence intervals (CI) associated to the mean of SI and GI. Approaches, such as Monte Carlo and Markov-Chain Monte Carlo with a desired number of simulations can be used to approximate a distribution and obtain the parameters of the proposed model. Last, a time-to-event approach can be an alternative to determine the time until a given asymptomatic tree starts showing symptoms in a flush during a predetermined period.

## DISCUSSION

Plant disease epidemiology has borrowed many useful terms, principles, and methodologies from human disease epidemiology. In this review

con correlaciones significativas ( $p < 0.05$ ) puede ser usado para guiar la identificación de los árboles en el mapa de incidencia como los posibles pares de infectores-infectados. Las correlaciones significativas de primer, segundo o tercer orden se podrían considerar como equivalentes a la distancia de dispersión de vectores (Kobori *et al.*, 2011; Loxdale *et al.*, 1993) y las hileras de cítricos y el espaciamiento entre árboles comúnmente usado en huertos comerciales. Los métodos de simulación Monte Carlo (un ejemplo del cual se da en el Cuadro 1) y de cadena Markov Monte Carlo pueden ser usados como alternativa a la autocorrelación espacial para estimar la aleatoriedad o ausencia de ésta en los árboles contagiados dentro de un huerto. En el ejemplo que se da en el Cuadro 1, la distancia observada entre 12 árboles contagiados y su vecino más cercano en un huerto de limón Persa fue de 7.13, mientras que la distancia estimada con la prueba de aleatorización (de 1000 simulaciones) fue de 7.1552. La diferencia fue de 0.0252. Esto significa que la probabilidad de que un valor diste tanto o más que 7.13 de 7.1552 se estima como la proporción de los 1000 valores que son de 7.13 ó menos ó 7.1804 (de  $7.1552 + 0.252$ ) o más. Existen 496 valores tan extremos como esto, por lo que la significancia de los resultados se estima en 0.496, lo cual sugiere que hay evidencia de que el arreglo de los árboles contagiados en el huerto fue aleatorio. Los métodos de cadena de Markov Monte Carlo también pueden ser usados para identificar pares de árboles infector-infectado. Además, siempre y cuando se cumpla la suposición de independencia de eventos, se pueden usar la probabilidad condicional y el teorema de Bayes para estimar la probabilidad de que un árbol específico haya sido el infector de su primero, segundo o tercer vecino más cercano. De manera explícita, la probabilidad de que un árbol sintomático A sea el infector del árbol B, dado que B es su vecino más cercano  $[P(A|B)]$ , se estimaría con la probabilidad de que el árbol B



the concepts serial interval (SI) and generation interval (GI), which have been instrumental in the characterization of the transmission (symptomatic and asymptomatic) dynamics of a human disease of global concern: the COVID-19, are discussed. To our knowledge, the concepts SI and GI have not been used, at least explicitly, in plant disease epidemiology.

Upon an understanding of what these concepts entail, the questions that stand are: i) Are these epidemiological measures useful to the understanding of plant disease epidemics – specifically, of diseases caused by viruses and phloem-limited pathogens, such as CTV and CLAs? and, If a “yes-answer” to this question holds, then ii) what would be some feasible and reliable approaches to field observation, experimentation and estimation of the distribution of those parameters? Like SARS-CoV-2, CTV and CLAs exhibit a pre-symptomatic transmission period during which trees can be already contagious (Gottwald *et al.*, 1999; Manjunath *et al.*, 2008; Canale *et al.*, 2020). The SI and from it the GI, can help elucidate this process, as it is based on symptom onset (which are easily observable) rather than on infection times (which are generally unknown). Both CTV and CLAs have a long incubation period that can take even years to be completed. Furthermore, the distribution of the pathogen in a tree is not perfectly systemic at the onset of infection, and the incubation period may vary with the age of the plants and region. All of these characteristics make the early detection of infected individuals in an orchard even more difficult. In reducing transmission and spread of these diseases, then, early detection of infected individuals is essential for implementation of mitigation measures such as control of vector populations or eradication of infected trees. Reliable detection must be carried out by serological techniques such as ELISA (CTV) or molecular techniques such as RT-PCR

sea el infectado, dado que el árbol sintomático A es la fuente primaria de infección a su vecino más cercano [ $P(B|A)$ ], multiplicado por la probabilidad de B y dividido por la probabilidad de B. La forma de la ecuación es la siguiente:  $P(A|B) = [P(B|A)P(B)] / P(B)$ , donde  $P(A)$  es la probabilidad de que el árbol cítrico A sintomático sea una fuente primaria o infectador de su vecino más cercano y  $P(B)$  es la probabilidad de que un árbol sintomático B sea infectado por el árbol A, asumiendo que es su vecino más cercano y que fue asintomático antes que A.

La distribución de los intervalos serial y generacional de VTC y HLB puede estimarse con los datos de IS observados de los pasos anteriores usando metodologías similares a las usadas para el COVID-19 (Lehtine *et al.*, 2021). Debido a que el IS puede tomar un continuo de valores y ser negativo (más corto que el periodo de incubación), entonces requiere un modelo de distribución probabilística para una variable aleatoria continua y que acepte valores negativos. Se sugieren las distribuciones lognormal, Gamma y Weibull como opciones de distribución (Ganyani *et al.*, 2020). Después de las pruebas de bondad de ajuste, el modelo puede ser usado para obtener los intervalos de confianza (IC) relacionados a la media de IS y IG. Metodologías como los de Monte Carlo y cadena de Markov Monte Carlo con un número deseado de simulaciones se pueden usar para aproximar una distribución y obtener los parámetros del modelo propuesto. Finalmente, el método de tiempo aun evento puede ser una alternativa para determinar el tiempo hasta que un árbol asintomático en particular comienza a mostrar síntomas en un nuevo brote foliar durante un período predeterminado.

## DISCUSIÓN

La epidemiología agrícola ha tomado muchos términos útiles, principios y metodologías de la

(CLas and CTV). Recently, use of dog olfactory detection was proven to be a rapid, reliable and cheaper detection tool than molecular methods. For example, detection of infected asymptomatic individuals using efficiently trained dogs was demonstrated for both COVID-19 (Grandjean *et al.*, 2020, 2021; Jendry *et al.*, 2020) and HLB (Gottwald *et al.*, 2020) as an efficient alternative to this problem. Early detection methods could help estimate the SI and GI. In estimation of the SI and GI intervals for CTV and CLas, several considerations and major assumptions should be made regarding the host crop, vector, environment, as well as management practices that could affect pathogen transmission.

It follows that both the SI and GI could be useful to advance understanding of epidemics of these diseases. Our review suggests that usage and application of these parameters offer both challenges and research opportunities in the epidemiology of CTV and CLas. The major challenge is the elucidation of the role of the vector in pathogen transmission and spread as it relates to the duration of the infection time, incubation period, SI and GI. On the other hand, it is extremely difficult to determine when a citrus tree gets infected. Determining infectivity and transmission would require experiments on artificial releases of insects, caging of trees, or tree protection through insecticide applications, as done for other vectored-diseases. This could be coupled with detection of infected vectors and trees using serological, molecular or even animal olfactory methods. In contrast to COVID-19 epidemics in which mobility of the host affects transmission, in CTV and CLas epidemics, the main host exhibits no dispersal or mobility. Therefore, there is less uncertainty and subjectivity in the assignation of infecting pairs than in the contact-tracing data used for SI estimation in humans. Another question is if

epidemiología humana. En esta revisión se discuten los conceptos de intervalo serial (IS) e intervalo de generación (IG), que han sido instrumentales en la caracterización de la dinámica de la transmisión (sintomática y asintomática) de una enfermedad humana de interés global: COVID-19. Hasta donde se tiene conocimiento, los conceptos de IS e IG no han sido usados, al menos de manera explícita, en la epidemiología agrícola.

Con el entendimiento de lo que implican estos conceptos, las preguntas que permanecen son las siguientes: i) ¿son útiles estas medidas epidemiológicas para comprender epidemias fitopatológicas? – específicamente de enfermedades causadas por virus y patógenos limitados al floema, tales como VTC y HLB. Y si la respuesta a esta pregunta es afirmativa, entonces ii) ¿Cuáles serían algunas metodologías factibles y confiables para la observación en campo, experimentación y estimación de la distribución de estos parámetros? Tal como el SARS-CoV-2, el VTC y HLB presentan una transmisión presintomática durante la cual los árboles ya pueden ser contagiosos (Gottwald *et al.*, 1999; Manjunath *et al.*, 2008; Canale *et al.*, 2020). El IS, y derivado de él, el IG puede ayudar a elucidar este proceso, ya que está basado en el inicio de los síntomas (que son fácilmente observables), en lugar de en tiempos de infección (que por lo general son desconocidos). Tanto el VTC como el HLB tienen un largo periodo de incubación que incluso puede tardar años en completarse. Además, la distribución del patógeno en un árbol no es perfectamente sistémica al inicio de la infección, y el periodo de incubación podría variar con la edad de las plantas y con la región. Todas estas características dificultan aún más la detección temprana de individuos infectados en un huerto. En la reducción de la transmisión y propagación de estas enfermedades, la detección temprana de individuos infectados es esencial para implementar medidas de mitigación

it is of any epidemiological relevance to define the SI and GI in the vector itself.

## CONCLUSIONS

This review has introduced to plant pathologists the serial and generation intervals: two key epidemiological measures that have been used in human epidemiology to characterize the transmission dynamics (especially the pre-symptomatic transmission or asymptomatic spread) of a human disease of global concern. Both the definition and approaches to estimate their distribution were presented, with emphasis in approaches for identification of infector-infectee tree pairs in a transmission chain within an orchard, and methodologies used to estimate means and CIs for COVID-19. Like in COVID-19, asymptomatic transmission of CTV and CLas has been a major problem to effective implementation of disease control measures, for example vector control and eradication. It is hoped that this review awakes interest in further examination of the SI and GI measures or pursuance of their use or adoption. These epidemiological parameters could help advance understanding of the epidemiology of diseases of quarantine importance in which detection must be followed by eradication of diseased individuals.

## LITERATURE CITED

- Agrios GN. 2005. Plant Pathology. Fifth ed. Academic Press. Burlington, Massachusetts, United States of America. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02037-6>
- Asselah T, Durantel D, Pasmant E, Lau G and Schinazi RF. 2021. COVID-19: Discovery, diagnostics and drug development. *Journal of Hepatology* 74(1):168-184. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhep.2020.09.031>
- Balaraman K and Ramakrishnan K. 1979. Transmission studies with strains of citrus tristeza virus on acid lime (*Citrus aurantifolia*). *Journal of Plant Diseases and Protection* 86: 653-661. Link: <https://www.jstor.org/stable/43214591?seq=1>

tales como el control de poblaciones de vectores o la erradicación de árboles infectados. La detección confiable se debe llevar a cabo por medio de técnicas serológicas tales como ELISA (para VTC) o técnicas moleculares tales como RT-PCR (para CLas y VTC). Recientemente, la detección por medio del olfato canino demostró ser una herramienta de detección más rápida, confiable y económica que los métodos moleculares. Por ejemplo, la detección de individuos asintomáticos infectados por medio de perros eficazmente entrenados fue demostrada, tanto para COVID-19 (Grandjean *et al.*, 2020, 2021; Jendryn *et al.*, 2020) como para HLB (Gottwald *et al.*, 2020) como una alternativa eficiente para este problema. Los métodos de detección temprana podrían ayudar a estimar los IS e IG. Al estimar los intervalos SI y GI para CTV y HLB, se deben hacer varias consideraciones y suposiciones importantes con respecto al cultivo hospedante, el vector, el ambiente, así como las prácticas de manejo que podrían afectar la transmisión del patógeno.

De ello se deduce que tanto el IS como el IG podrían ser útiles para conocer más sobre las epidemias de estas enfermedades. Nuestra revisión sugiere que el uso y aplicación de estos parámetros ofrece tanto retos como oportunidades de investigación en la epidemiología de VTC y HLB. El reto principal es la elucidación del papel del vector en la transmisión y propagación del patógeno en lo que se relaciona con la duración del tiempo de infección, el periodo de incubación, IS e IG. Por otro lado, es extremadamente difícil determinar cuándo se infecta un árbol de cítricos. Determinar la infectividad y transmisión requeriría de experimentos de liberación artificial de insectos, enjaulamiento de árboles o protección de árboles por medio de la aplicación de insecticidas, tal como se ha hecho para otras enfermedades diseminadas por vectores. Esto podría hacer juego con la detección de vectores y árboles infectados usando métodos serológicos, moleculares o incluso métodos de olfato

- Bové JM. 2006. Huanglongbing: a destructive, newly emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology* 88:7-37. <http://dx.doi.org/10.4454/jpp.v88i1.828>
- Canale MC, Tomaseto AF, Haddad ML, Della Coletta-Filho H and Lopes JR. 2017. Latency and Persistence of '*Candidatus Liberibacter asiaticus*' in Its Psyllid Vector, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Phytopathology* 107: 264-272. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-16-0088-R>
- Canale MC, Komada KMA and Lopes JRS. 2020. Latency and incubation of '*Candidatus Liberibacter asiaticus*' in citrus after vector inoculation. *Tropical plant pathology* 45: 320-326. <https://doi.org/10.1007/s40858-019-00311-1>
- Dala-Paula BM, Plotto A, Bai J, Manthey JA, Baldwin EA, Ferrarezi RS and Gloria MBA. 2019. Effect of Huanglongbing or Greening Disease on Orange Juice Quality, a Review. *Frontiers in Plant Science* 9:1976. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01976>
- Dawson WO, Garnsey SM, Tatineni S, Folimonova SY, Harper SJ and Gowda S. 2013. *Citrus tristeza virus*-host interactions. *Frontiers in Microbiology* 4:88. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00088>
- Dawson WO, Bar-Joseph M, Garnsey SM and Moreno P. 2015. *Citrus tristeza virus*: making an ally from an enemy. *Annual Review of Phytopathology* 53: 137-55. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120012>
- Ferretti L, Wymant C, Kendall M, Zhao L, Nurtay A, Abeler-Dörner L, Parker M, Bonsall D and Fraser C. 2020. Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing *Science* 368 (6491). <https://doi.org/10.1126/science.abb6936>
- Fishman S, Marcus R, Talpaz H, Bar-Joseph M, Oren Y, Salomon R and Zohar M. 1983. Epidemiological and economic models for spread and control of citrus tristeza virus disease. *Phytoparasitica* 11: 1. <https://doi.org/10.1007/BF02980710>
- Flores-Sánchez JL, Mora-Aguilera G, Loeza-Kuk E, López-Arroyo JI, Gutiérrez-Espinosa MA, Domínguez-Monge S, Bassanezi RB, Acevedo-Sánchez G and Robles-García P. 2017. Diffusion model for describing the regional spread of Huanglongbing from first-reported outbreaks and basing an area wide disease management strategy. *Plant Disease* 101 (7): 1119-1127. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-16-0418-RE>
- Galdeano DM, de Souza Pacheco I, Alves GR, Moreira GL, Rashidi M, Turner D, Levy A and Machado MA. 2020. Friend or foe? Relationship between '*Candidatus Liberibacter asiaticus*' and *Diaphorina citri*. *Tropical plant pathology* 45: 559-571. <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00375-4>
- Ganyani T, Kremer C, Chen D, Torneri A, Faes C, Wallinga J and Hens N. 2020. Estimating the generation interval for COVID-19 based on symptom onset data. *MedRxiv* 2020.03.05.20031815. <https://doi.org/10.1101/2020.03.05.20031815>
- Gottwald TR, Aubert B and Zhao X-Y. 1989. Preliminary analysis of citrus greening (Huanglongbing) epidemics in the People's Republic of China and French Reunion Island. *Phytopathology* 79: 687-93. <http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-79-687>

animal. En contraste con epidemias de COVID-19 en las que la movilidad del hospedante afecta la transmisión, en las epidemias de VTC y HLB, el hospedante principal no presenta dispersión ni movilidad. Por lo tanto, existe menos incertidumbre y subjetividad en la asignación de pares de infección que en los datos de rastreo de contactos usados para la estimación del IS en humanos. Otra pregunta es si es de relevancia epidemiológica definir los IS e IG en el vector mismo.

## CONCLUSIONES

Esta revisión ha presentado a fitopatólogos los intervalos serial y de generación, dos medidas epidemiológicas clave que han sido usados en la epidemiología humana para caracterizar las dinámicas de transmisión (especialmente la transmisión presintomática o la propagación asintomática) de una enfermedad humana de interés global. Se presentaron la definición y los enfoques para estimar la distribución de estos parámetros, con especial énfasis en las metodologías para identificar los pares de árboles infector-infectado en una cadena de transmisión dentro de un huerto, así como las metodologías usadas para estimar medias e intervalos de confianza para COVID-19. Al igual que en COVID-19, la transmisión asintomática de VTC y HLB ha sido un problema importante para la implementación efectiva de medidas de control de enfermedades como el control y la erradicación de vectores. Se espera que esta revisión despierte el interés en la realización de más análisis de las medidas del IS y el IG o la búsqueda de su uso o adopción. Estos parámetros epidemiológicos podrían ayudar a entender más sobre la epidemiología de enfermedades de importancia de cuarentenaria en las que la detección debe ser seguida de la erradicación de los individuos contagiados.



- Gottwald TR, da Graça JV and Bassanezi RB. 2007. Citrus Huanglongbing: The pathogen and its impact. Online. Plant Health Progress. <https://doi.org/10.1094/PHP-2007-0906-01-RV>
- Gottwald TR, Garnsey SM and Borbón J. 1998. Increase and patterns of spread of citrus tristeza virus infections in Costa Rica and the Dominican Republic in the presence of the brown citrus aphid, *Toxoptera citricida*. Phytopathology 88:621-636. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1998.88.7.621>
- Gottwald TR, Garnsey SM and Riley TD. 2002. Latency of Systemic Infection in Young Field-Grown Sweet Orange Trees Following Graft-Inoculation with *Citrus tristeza virus*. Fifteenth International Organization of Citrus Virologists Conference Proceedings (1957-2010) 15(15): 48-53. Link: <https://escholarship.org/uc/item/9rb677sf>
- Gottwald TR, Gibson GJ, Garnsey SM and Irey M. 1999. Examination of the effect of aphid vector population composition on the spatial dynamics of citrus tristeza virus spread by stochastic modeling. Phytopathology 89(7): 603-8. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1999.89.7.603>
- Gottwald T, Parnell S, Taylor E, Poole K, Hodge J, Ford A, Therrien L, Mayo S and Irey M. 2008. Within-tree spatial distribution of *Candidatus Liberibacter asiaticus*. Proceeding of the International Research Conference Huanglongbing, pp. 270-73. <http://www.plantmanagementnetwork.org/proceedings/irchlb/2008/>
- Gottwald TR. 2010. Current Epidemiological Understanding of Citrus Huanglongbing. Annual Review of Phytopathology 48: 119-39. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114418>
- Gottwald T, Poole K, McCollum T, Hall D, Hartung J, Bai J, Luo W, Posny D, Duan YP, Taylor E, da Graça J, Polek M, Louws F and Schneider W. 2020. Canine olfactory detection of a vectored phyto-bacterial pathogen, *Liberibacter asiaticus*, and integration with disease control. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 117(7): 3492-3501. <https://doi.org/10.1073/pnas.1914296117>
- Grandjean D, Sarkis R, Lecoq-Julien C, Benard A, Roger V, Levesque E, *et al.* 2020. Can the detection dog alert on COVID-19 positive persons by sniffing axillary sweat samples? A proof-of-concept study. PLoS ONE 15(12): e0243122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243122>
- Grandjean D, Marzooqi DHA, Lecoq-Julien C, *et al.* 2021. Use Of Canine Olfactory Detection For COVID-19 Testing Study On U.A.E. Trained Detection Dog Sensitivity. bioRxiv 2021.01.20.427105. <https://doi.org/10.1101/2021.01.20.427105>
- Hall DG, Richardson ML, Ammar E and Halbert SE. 2013. Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, vector of citrus huanglongbing disease. Entomologia Experimentalis et Applicata 146: 207-223. <https://doi.org/10.1111/eea.12025>
- Hernandez GA. 2013. Prevalencia de *Toxoptera citricida* y tasa de adquisición del *Citrus tristeza virus* en la Península de Yucatán. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, México. Link: <https://www.repositorionacionalcti.mx/recursos/oai:colposdigital.colpos.mx:10521/2066>
- Huang Z, Rundell PA, Guan X and Powell CA. 2004. Detection and Isolate Differentiation of Citrus tristeza virus in Infected Field Trees Based on Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction. Plant Disease 88(6): 625-629. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.6.625>
- Hughes G, Gottwald TR. 1998. Survey methods for assessment of citrus tristeza virus incidence. Phytopathology 88: 715-723. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1998.88.7.715>
- Irey MS, Gast T and Gottwald TR. 2006. Comparison of visual assessment and polymerase chain reaction assay testing to estimate the incidence of the Huanglongbing pathogen in commercial Florida citrus. Proceedings of Florida State Horticultural Society 119:89-93
- Jendryn, P., Schulz, C., Twele, F. *et al.* 2020. Scent dog identification of samples from COVID-19 patients – a pilot study. BMC Infectious Diseases 20: 536. <https://doi.org/10.1186/s12879-020-05281-3>
- Johansson MA, Quandelacy TM, Kada S, *et al.* 2021. SARS-CoV-2 Transmission from People Without COVID-19 Symptoms. JAMA Netw Open 4(1): e2035057. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.35057>
- Keremane ML, Ramadugu C, Rodriguez E, Kubota R, Shibata S, Hall DG, Roose ML, Jenkins D and Lee RF. 2015. A rapid field detection system for citrus huanglongbing associated '*Candidatus Liberibacter asiaticus*' from the psyllid vector, *Diaphorina citri* Kuwayama and its implications in disease management. Crop Protection 68: 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.10.026>
- Kobori Y, Nakata T, Ohto Y and Takasu F. 2010. Dispersal of adult Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae), the vector of citrus greening disease, in artificial release experiments. Applied Entomology and Zoology. <https://doi.org/10.1007/s13355-010-0004-z>
- Korkmaz S, Cevik B, Onder S, Koc K and Bozan O. 2008. Detection of Citrus tristeza virus (CTV) from Satsuma Owari mandarins (*Citrus unshiu*) by direct tissue blot immunoassay (DTBIA), DAS-ELISA, and biological indexing. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 36: 239-246. <https://doi.org/10.1080/01140670809510240>
- Lee JA, Halbert SE, Dawson WO, Robertson CJ, Keesling JE and Singer BH. 2015. Asymptomatic spread of huanglongbing and implications for disease control. Proceedings of the National Academy of Sciences. 112: 7605-7610. <https://doi.org/10.1073/pnas.1508253112>
- Lee RF, Baker PS and Rocha-Peña MA. 1994. The *Citrus Tristeza Virus* (CTV). Intl. Inst. Biological Control, CAB International, Silwood Park, UK. 197 p.
- Lehtinen S, Ashcroft P and Bonhoeffer S. 2021. On the relationship between serial interval, infectiousness profile and generation time. Journal of the Royal Society Interface 18:20200756. <https://doi.org/10.1098/rsif.2020.0756>
- Leung KY, Trapman P and Britton T. 2018. Who is the infector? Epidemic models with symptomatic and asymptomatic cases. Mathematical Biosciences 301: 190-198. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2018.04.002>
- Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y, *et al.* 2020. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia. The New England Journal of Medicine 382(13): 1199-207. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316>

- Li M, Liu K, Song Y, Wang M and Wu J. 2021. Serial Interval and Generation Interval for Imported and Local Infectors, Respectively, Estimated Using Reported Contact-Tracing Data of COVID-19 in China. *Frontiers in Public Health* 8: 577431. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.577431>
- Manjunath KL, Halbert SE, Ramadugu C, Webb S and Lee RF. 2008. Detection of 'Candidatus Liberibacter asiaticus' in *Diaphorina citri* and its importance in the management of citrus huanglongbing in Florida. *Phytopathology* 98(4): 387-396. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-98-4-0387>
- Mavrodiev EV, Turskly ML, Mavrodiev NE, Ebach MC and Williams DM. 2020. On classification and taxonomy of Coronaviruses (Riboviria, Nidovirales, Coronaviridae) with the special focus on severe acute respiratory syndrome related coronavirus 2 (SARS-Cov-2). <https://doi.org/10.1101/2020.10.17.343749>
- Mettler SK, Kim J and Maathuis MH. 2020. Diagnostic serial interval as a novel indicator for contact tracing effectiveness exemplified with the SARS-CoV-2/COVID-19 outbreak in South Korea. *International Journal of Infectious Diseases* 99: 346-351. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.07.068>
- Mora-Aguilera G, Ochoa-Martínez DL, Gutiérrez-Espinosa MA, Villegas MA, Álvarez-Ramos R, Jasso J, Góngora-Canul CC, Ruiz-García N, Rivas-Valencia P, Loeza-Kuk E, Palacios TC, Pérez Molphe-Bach E, Febres V, Moore G, Moreno P, Mendoza A and Quiroz J. 2005. *Citrus tristeza closterovirus*: consideraciones biológicas y epidemiológicas. pp. 1-25. In: *Memorias del IX Simposio Internacional de citricultura*. 19-23 abril. Cd. Victoria, Tamaulipas. México.
- Mora-Aguilera G. 2008. Bases de estudios epidemiológicos para el manejo de patosistemas agrícolas. Taller internacional de vigilancia epidemiológica fitosanitaria para el pronóstico de plaga. México. Link: [http://langif.uaslp.mx/documentos/presentaciones\\_internacionl/01/drmora.pdf](http://langif.uaslp.mx/documentos/presentaciones_internacionl/01/drmora.pdf)
- Moreno P, Ambros S, Albiach-Martí MR, Guerri J and Pena L. 2008. *Citrus tristeza virus*: a pathogen that changed the course of the citrus industry. *Molecular Plant Pathology* 9: 251-268. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00455.x>
- Ng SH, Kaur P, Kremer C, Tan WS, Tan AL, Hens N, Toh MP, Teow KL and Kannapiran P. 2021. Estimating transmission parameters for COVID-19 clusters by using symptom onset data, Singapore, January–April 2020. *27*: 582-585. <https://doi.org/10.3201/eid2702.203018>
- Nishiura H, Linton NM and Akhmetzhanov AR. 2020. Serial interval of novel coronavirus (COVID-19) infections. *International Journal of Infectious Diseases* 93: 284-286. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.02.060>
- Prather KA, Wang CC and Schooley RT. 2020. Reducing transmission of SARS-CoV-2. *Science* 368(6498): 1422-1424. <https://doi.org/10.1126/science.abc6197>
- Qian G, Yang N, Ma AHY, Wang L, Li G, Chen X, et al. 2020. A COVID-19 Transmission within a family cluster by presymptomatic infectors in China. *Clinical Infectious Diseases* 71:861–2. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa316>
- Rimbaud L, Dallot S, Delaunay A, Borron S, Soubeyrand S, Thébaud G and Jacquot E. 2015. Assessing the Mismatch Between Incubation and Latent Periods for Vector-Borne Diseases: The Case of Sharka. *Phytopathology* 105(11): 1408-16. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-15-0014-R>
- Rivas-Valencia P, Loeza-Kuk E, Domínguez-Monge S and Lomas-Barrié CT. 2017. Infección crónica del virus de la tristeza de los cítricos en árboles de *Citrus sinensis/C. aurantium* en un régimen térmico restrictivo en Yucatán. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 23(3): 188-202. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.028>
- Rivas-Valencia P, Domínguez-Monge S, Santillán-Mendoza R, Loeza-Kuk E, Pérez-Hernández O, Rodríguez-Quibarrera C and Lomas-Barrié C. 2020. Severe *Citrus tristeza virus* Isolates from Eastern Mexico Are Related to the T36 Genotype Group. *American Journal of Plant Sciences* 11: 1521-1532. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.1110110>
- Rocha-Peña MA, Lee RF, Lastra R, Niblett CL, Ochoa-Corona FM, Garnsey SM and Yokomi RK. 1994. Citrus Tristeza Virus and Its Aphid Vector *Toxoptera citricida*: Threats to Citrus Production in the Caribbean and Central and North America. *Plant Disease* 79(5): 437-444. <https://doi.org/10.1094/PD-79-0437>
- Rosa C, Polek M, Falk BW and Rowhani A. 2007. Improved Efficiency for Quantitative and Qualitative Indexing for Citrus tristeza virus and Citrus psorosis virus. *Plant Disease* 91(9): 1089-1095. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-9-1089>
- Rothman KJ, Lash T and Greenland S. 2012. *Modern Epidemiology*, third ed. Lippincott Williams & Wilkins. ISBN: 9781451190052. 758 p.
- Ruiz-Ruiz S, Moreno P, Guerri J and Ambrós S. 2007. A real-time RT-PCR assay for detection and absolute quantitation of Citrus tristeza virus in different plant tissues. *Journal of Virological Methods* 145: 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2007.05.011>
- Saponari M, Manjunath K and Yokomi RK. 2008. Quantitative detection of Citrus tristeza virus in citrus and aphids by real-time reverse transcription-PCR (TaqMan). *Journal of Virological Methods* 147(1): 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2007.07.026>
- Spreen TH, Baldwin J and Futch SH. 2014. An Economic Assessment of the Impact of Huanglongbing on Citrus Tree Plantings in Florida, *HortScience* 49(8): 1052-1055. Retrieved Feb 15, 2021, from <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/49/8/article-p1052.xml>
- te Beest DE, Wallinga J, Donker T and van Boven M. 2013. Estimating the generation interval of influenza A (H1N1) in a range of social settings. *Epidemiology* 24(2): 244-50. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e31827f50e8>
- Torres-Pacheco I, Lopez-Arroyo JI, Aguirre-Gómez JA, Guevara-González RG, Yanez-López R, Hernández-Zul MI and Quijano-Carranza JA. 2013. Potential distribution of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) vector of huanglongbing in Mexico. *Florida Entomologist* 96: 36-47 <https://doi.org/10.1653/024.096.0105>
- Wei W, Li Z, Chiew C, Yong S, Toh M and Lee V. 2020. Presymptomatic transmission of SARS-CoV-2—Singapore, January 23 March 16, 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 69:411–5. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6914el>
- Wu Y, Chen C and Chan Y. 2020. The outbreak of COVID-19: An overview *Journal of Chinese Medical Association* 83: 217-220. <https://doi.org/10.1097/JCMA.0000000000000270>

Yokomi R, Lastra R, Stoezel MB, Damsteegt VD, Lee RF, Garnsey SM, Gottwald TR, Rocha-Peña MA and Niblett CL. 1994. Establishment of the brown citrus aphid (Homoptera: Aphididae) in Central America and the Caribbean basin and Transmission of citrus tristeza virus. *Journal of Economic Entomology* 87: 1078-1085. <https://doi.org/10.1093/jee/87.4.1078>

# Perspectives of integrated pest management in CDMX urban agriculture and impacts of SARS-CoV-2 health emergency

## Perspectivas del manejo integrado de plagas en la agricultura urbana CDMX e impacto de la emergencia sanitaria SARS-CoV-2

**Jessica Cuevas-Castilleja, Armando Martínez-Luz, Marcelo Adán López-Arzate, Itzel Arlette Ramírez-García**, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Xochimilco, C.P. 04960, CDMX, México; **Gustavo Mora-Aguilera**, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Texcoco, Estado de México, CP. 56230, México; **Norma Ávila-Alistac\***, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, 56230 Texcoco, México. \*Corresponding author: alixtac@gmail.com.

Received: February 02, 2021.

Accepted: March 29, 2021.

Cuevas-Castilleja J, Martínez-Luz A, López-Arzate MA, Ramírez-García IA, Mora-Aguilera G and Ávila-Alistac N. 2021. Perspectives of integrated pest management in CDMX urban agriculture and impacts of SARS-CoV-2 health emergency. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 328-350.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-6>

**Abstract.** The objective of this work was to determine the impact of COVID-19 on productive activities of farmers and extensionist, and the level of application of Integrated Pest Management (IPM) in urban agriculture in Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, Magdalena Contreras and Cuajimalpa at Mexico City, a metropolitan area with a high SARS-CoV-2 positive cases. In 2020, a digital survey was applied to a total of 108 farmers and extensionists during the first COVID-19 epidemic wave. The sanitary emergency reduced the continuity of the extension service. However,

**Resumen.** El objetivo de este trabajo fue determinar el impacto COVID-19 en las actividades productivas de productores y técnicos, y el nivel de aplicación del Manejo Integrado de Plagas (MIP) en agricultura urbana de Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, Magdalena Contreras y Cuajimalpa circunscritos a Ciudad de México, una entidad con alta incidencia de casos positivos a SARS-CoV-2. En 2020, se aplicó una encuesta por medios digitales a un total de 108 productores y técnicos agrícolas durante la primera ola epidémica COVID-19. La emergencia sanitaria, redujo la continuidad presencial del servicio técnico agrícola. Sin embargo, la divulgación y asesoría se subsanó con tecnologías digitales incluyendo fotografías vía WhatsApp con fines de diagnóstico de plagas. Durante el pico máximo COVID-19 (julio, 2020), únicamente 14% de productores declinaron realizar siembras verano-otoño 2020. La mayoría estableció principalmente maíz y en menor escala hortalizas en topologías mixtas. Sin embargo, se



this was carried out with digital technologies including photographs submitted by WhatsApp for pest diagnosis purposes. During the maximum COVID-19 peak (July, 2020), only 14% of farmers declined to sowing the summer fall season 2020. The majority established corn and, to a lesser extent, vegetables in mixed topologies. However, the activity of agricultural workers was reduced to 50%. Up to 75% of farmers reported losses of 20% derived from the epidemic. The major pest control strategy was *mechanical*, mainly for *preventive* purposes (67%) followed by *chemical* control (52%), *biological* at both *preventive* (8%) and *curative* (25%) levels, and the combination of more than one strategy in less than 10%. The data indicate an intuitive understanding of the IPM benefit, although the farmer is unaware of its principles. Faced with the growing demand for fresh, quality and safe food as a COVID-19 preventive strategy, urban agriculture has great development prospects by supplying local markets without transport problems caused by regional and global contingencies such as that caused by SARS-CoV-2. However, public and institutional policies of great vision are required. This work recognizes the work of farmers, as well as extensionists in favor of food security.

**Key words:** COVID-19, urban agriculture, plant pathogens, pest, prevention, virus.

### The COVID-19 problem

At the end of November 2019, in Wuhan, Hubei province, China, there were reports of cases of pneumonia whose clinical picture differed from those known locally. Quick etiological studies confirmed a previously unknown virus in humans. The disease was called *severe acute respiratory*

redujo a 50% la actividad de jornaleros. El 75% de los productores reportaron pérdidas del 20 % por causas relacionadas con la epidemia. La mayor estrategia del control de plagas fue el *mecánico*, principalmente con fines preventivo (67%) seguido del control *químico* (52%), *biológico* tanto a nivel *preventivo* (8%) y *curativo* (25%), y la combinación de más de una táctica en menos del 10%. Los datos indican comprensión intuitiva del beneficio MIP, aunque el productor desconoce sus principios. Ante la creciente demanda de alimentos frescos de calidad e inocuos, como estrategia preventiva COVID-19, la agricultura urbana tiene grandes perspectivas de desarrollo al abastecer mercados locales sin problemas de interrupción de canales de suministro y transporte causadas por diversas contingencias de impacto regional y global como la generada por SARS-CoV-2. No obstante, se requiere el acompañamiento de políticas públicas e institucionales de gran visión. Este trabajo reconoce la labor de productores agrícolas, así como de técnicos en pro de la seguridad alimentaria.

**Palabras clave:** COVID-19, agricultura urbana, fitopatógenos, plagas, prevención, virus.

### El problema COVID-19

En Wuhan, provincia de Hubei, China se reportaron a finales de noviembre 2019 casos de neumonía que exhibían cuadros clínicos diferentes a los conocidos localmente. Rápidos estudios etiológicos confirmaron un virus previamente desconocido en humanos denominándose a la enfermedad *síndrome respiratorio agudo severo* (SARS) o *coronavirus disease 2019* (COVID-19). El agente causal es el coronavirus de origen zoonótico SARS-CoV-2 (Ludwing y Zarbock, 2020). El 30 de enero 2020, la Organización Mundial de Salud (OMS,

*syndrome* (SARS) or *coronavirus disease 2019* (COVID-19). The causative agent is the coronavirus of zoonotic origin SARS-CoV-2 (Ludwing and Zarbock, 2020). On January 30, 2020, the World Health Organization (WHO) declared the outbreak of a *public health emergency of international concern* (Harapan *et al.*, 2020). In March, the WHO declared a *pandemic*. According to the Mexican Ministry of Health (SSA, 2020), the first COVID-19 case detected in Mexico was reported on February 27, 2020. The following month, the government implemented preventive measures to stall the spread of infections in the country. These measures included the *National Healthy Distance Campaign* (Jornada Nacional de Sana Distancia), which originally ran from March 23 to May 30, 2020. This strategy involved a suspension of non-essential activities in the public, social and private sectors, which had a great socioeconomic impact (García, 2020). Other countries adopted similar or even more severe measures such as forced family and community confinement, urban patrols, fines, total isolation of cities, and border closures. Preventive measures continued to be applied until the second semester of 2020. In 2021, up to press time, preventive measures affecting productive activities were relatively relaxed, but in-person educational activities continued to be restricted (Editor's Note). Although agriculture was classified as an essential activity in Mexico, the social environment and the need for inputs and labor affected the rhythm of production. The present work aimed to assess the status of Integrated Pest Management (IPM) as a way to promote sustainability and proper environmental management in the agricultural production carried out in Mexico City (CDMX), and the impact of COVID-19 in the IPM activities of technicians and producers during the first SARS-CoV-2 epidemic cycle in 2020.

2020) declaró el brote como *emergencia de salud pública y preocupación internacional* (Harapan *et al.*, 2020), y en marzo se declaró *pandemia*. De acuerdo con la Secretaría de Salud (Ssa, 2020), en México se detectó el primer caso COVID-19 el 27 de febrero del 2020; al siguiente mes, el gobierno implementó las actuales medidas preventivas con la finalidad de evitar el aumento de contagios en el país. Estas medidas incluyen la *Jornada Nacional de Sana Distancia*, que comprendió originalmente del 23 de marzo al 30 de mayo de 2020. En dicha estrategia se implementó la suspensión de actividades no esenciales del sector público, social y privado con grandes impactos socioeconómicos (García, 2020), y para otros países que adoptaron medidas análogas o incluso más severas como confinamientos obligados familiares y comunitarios, patrullaje urbano, multas, aislamiento total de ciudades y cierre de fronteras. Las medidas preventivas continuaron hasta el último semestre 2020, y durante 2021 al cierre de esta edición con relativo relajamiento de actividades productivas, no así las educativas (Nota del Editor). Aunque en México la agricultura fue considerada actividad esencial, el entorno social, necesidad de insumos y mano de obra, afectó el ritmo de la actividad productiva. En este trabajo, se propuso conocer el estatus del *Manejo Integrado de Plagas* (MIP) como alternativa de sustentabilidad y bajo impacto ambiental en la producción agrícola urbana de la Ciudad de México (CDMX), y el impacto COVID-19 en las actividades realizadas por técnicos y productores durante el primer ciclo epidémico de SARS-CoV-2 en 2020.

### **Manejo Integrado de Plagas como estrategia de sustentabilidad**

La agricultura en México es una actividad primaria de gran importancia económica, política y

## **Integrated Pest Management as a sustainability strategy**

In Mexico, agriculture is a primary activity of great economic, political and socio-cultural importance (Galindo, 2011). The great demand for food and its market value has fueled a rapid evolution towards intensive and extensive production models throughout the world. These models have involved the development of technology and inputs to promote, protect or add value to agricultural production. The pesticide industry has provided toxic solutions for pest and disease control since the 1930s. The biological effectiveness of pesticides has led to their excessive use, many times outside of any rational framework. This has had detrimental effects on the environment as well as on the health of flora, fauna, and humans, paradoxically without eradicating the targeted pests. A vicious circle has thus emerged in which pests mutate to adapt to pesticides and the chemical formulations of pesticides are modified in response to prolong their useful and profitable life. There are many proposed approaches to solve this circular biological-chemical 'game'. *Integrated Pest Control* emerged in the 1970s, one of the first approaches with wide acceptance due to its systemic approach. Conceptually, it was simple: it consisted of the sum of practices, techniques, and methods that complement each other to improve the efficiency and effectiveness of pest control. The concept was soon modified to *Integrated Pest Management* (IPM), dispensing with the intention of eradicating *one pest* and targeting instead a *pest complex*. For this purpose, the concept of *pest* is used broadly following the definition recognized by the *International Plant Protection Convention* (IPPC) of FAO, which includes insects, pathogens, weeds, etc. (Editor's Note). These strategies had a positive effect on agricultural practices by

sociocultural (Galindo, 2011). La gran demanda de alimento y su valor de mercado ha generado una rápida evolución hacia modelos intensivos y extensivos de producción a nivel mundial. Este modelo ha implicado la generación de tecnología mecanizada e insumos que promueven, protegen o agregan valor a la producción. La industria de pesticidas ha aportado desde los 30's soluciones tóxicas para el control de plagas y enfermedades. La efectividad biológica de los pesticidas ha generado su uso excesivo, muchas veces fuera de un marco racional. Consecuentemente, se ha afectado la flora, fauna, medio ambiente y salud humana, paradójicamente sin erradicar la ocurrencia de las plagas operando en un círculo vicioso donde las plagas mutan para adaptarse y las formulaciones químicas se adaptan para prolongar vida útil y rentable. Existen muchos enfoques propuestos a este 'juego' circular de biológico-químico. En los 70's surgió el *Control Integrado de Plagas*, uno de los primeros enfoques desarrollados con amplia aceptación por su enfoque sistémico. Conceptualmente es simple: la suma de prácticas, técnicas o métodos que se complementan para mejorar la eficiencia y eficacia en el control de una plaga. Su visión pronto se modificó a un *Manejo Integrado de Plagas* (MIP) eliminando la intencionalidad erradicativa de *una plaga* y además adicionando un *complejo de plagas* de un cultivo como su objetivo. El concepto de *plaga* se está usando en esta definición en su amplia concepción tal como lo reconoce la *Convención Internacional de Protección Fitosanitaria* (CIPF) de la FAO e incluye insectos, patógenos, malezas, etc. (Nota del Editor). Estas estrategias crearon un impacto positivo dentro de la agricultura, cambiando el enfoque de *erradicar* por *manejar* diversos agentes fitopatógenos, artrópodos plaga, malezas, etc. (Pérez, 2004). Esta estrategia, si bien requiere una fundamentación técnica-científica para cada realidad regional concreta, su simple concepción

changing the focus from eradicating to managing various phytopathogens, arthropod pests, weeds, etc. (Pérez, 2004). Even though this strategy requires a technical-scientific assessment of the characteristics of each region, its simplicity allows it to be empirically implemented by producers, using different techniques and achieving different results, in a continuous trial-error process. In the 1990s, the demand for safe agricultural products, and later, with the beginning of the new century, for healthy products, which has intensified during the COVID-19 pandemic, reactivated the IPM strategy as a viable alternative for small and medium producers looking to add value to their products and reduce production losses. This strategy can also help reduce the negative impact of agrochemicals on agricultural assets (soil, water, cultivars) and the health of agricultural workers. The need to lower the environmental impact of agricultural production came later in the face of social pressure due to the effects on the health of the community (Editor's Note). At present, IPM is a strategy with many variations and objectives that is widely known and applied throughout the world. Its implementation in organic agriculture, which has made great progress in our country, mainly among small producers and in urban and community agricultural systems, has become almost mandatory due to the restrictions on the use of synthetic pesticides. For this reason, agricultural producers should be educated and trained to improve their knowledge of their crops, pest biology, and the techniques and actionability criteria associated with IPM (Mora-Aguilera *et al.*, 2009).

### **An agricultural survey in Mexico City**

The present work was planned and carried out in the summer-autumn of 2020, during the first phase of the COVID-19 pandemic, under restrictions that

ha permitido su implementación de manera empírica por productores ajustando la efectividad y tipo de técnicas mediante procesos continuados de prueba-error. La demanda de productos agrícolas inocuos en los 90's, y saludables a partir de este siglo, ahora aún más incentivado con la pandemia COVID-19, reactivó la estrategia MIP como una opción viable principalmente para pequeños y medianos productores con el fin de conferir valor agregado a sus productos y reducir mermas significativas en la producción. También como una alternativa para reducir el impacto negativo de los agroquímicos en sus activos productivos (suelo, agua, cultivares) y su propia salud. La búsqueda de un menor impacto ambiental devino posteriormente ante la presión social y ante los efectos en la salud comunitaria (Nota del Editor). Así, en la actualidad, el MIP es una estrategia ampliamente conocida y aplicada con muchas variantes y justificaciones en la agricultura mundial. Sin embargo, su implementación en la agricultura orgánica, con gran avance en nuestro país, principalmente en pequeños productores, y en la agricultura urbana y comunitaria es obligada por restricciones en empleo de plaguicidas sintéticos. Por esta razón, se debe realizar una fuerte labor divulgativa y de capacitación que permita a productores mejorar el conocimiento de su cultivo, biología de plagas, técnicas y criterios de accionabilidad MIP (Mora-Aguilera *et al.*, 2009).

### **Una encuesta agrícola para CDMX**

En verano-otoño 2020, durante la primera fase epidémica COVID-19 y con actividades académicas virtuales se planeó y ejecutó este trabajo empleando herramientas digitales instituciones y personales. Se conformó un equipo de estudiantes de agronomía de la UAM-X, unidad académica enclavada al sureste de CDMX en la ancestral región agrícola prehispánica de Xochimilco, que significa



limited academic work to virtual activities using institutional and personal digital tools. The work was carried out by a team of agronomy students from UAM-X, an academic unit located southeast of Mexico City in the ancient pre-Hispanic agricultural region of Xochimilco (which means ‘flower chinampa’ in Nahuatl). Two questionnaires were applied to agricultural technicians and producers according to their job profiles. The questionnaires were prepared using the Google Forms platform. They consisted of 36 questions for producers and 33 questions for technicians regarding their understanding and application of IPM and how COVID-19 affected their work. All surveys were sent to agricultural technicians and producers who supervised or worked on crops grown in the municipalities of Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, Magdalena Contreras, and Cuajimalpa, all inside Mexico City (Figure 1). These agricultural production units are classified as urban due to their interaction with a territorial environment integrated into Mexico City and with socioeconomic activities predominantly oriented to satisfy the needs of a diverse population through the industrial, services, and tourism sectors, agriculture being a marginal activity. The surveys were sent and answered via email, WhatsApp or telephone. The collected data were analyzed and plotted in Excel 2010.

### Survey of agricultural technicians

Out of a total of 30 agricultural technicians who were asked to participate in the survey, 21 did. Of these, 12 were male and nine females. Forty-eight percent of them worked in the mayor’s office of Xochimilco. This is an important urban agricultural region in Mexico City due to its horticultural, floricultural, and ornamental contributions. It contains small family production units, some of

‘*chinampa de flores*’ en lengua náhuatl. Se realizaron dos cuestionarios de acuerdo al perfil laboral de técnicos y productores. Las preguntas se elaboraron en la plataforma Google Forms (Formularios de Google), con 36 preguntas para los productores y 33 preguntas para los técnicos respecto a la comprensión y aplicación del MIP y como COVID-19 impactó en sus actividades laborales. Todas las encuestas se enviaron a técnicos y productores que asesoraban o tenían cultivos establecidos en las alcaldías de Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, Magdalena Contreras y Cuajimalpa de CDMX (Figura 1). Todas ellas con una agricultura tipificada como urbana por su interacción con un entorno territorial integrado a la Ciudad de México y con actividades socioeconómicas predominantemente orientadas a satisfacer las necesidades de una población diversa en su composición laboral, cultural y social a través de los sectores industrial, servicios y turismo, siendo la agricultura una actividad marginal. Las encuestas se enviaron o contestaron vía correo electrónico, WhatsApp y vía telefónica. Los datos recabados se analizaron y graficaron en Excel 2010.

### Encuesta a técnicos agrícolas

Veintiún técnicos agrícolas, de un total de 30 solicitudes, respondieron la encuesta. De estos, 12 fueron de género masculino y nueve femenino. El 48% labora en la alcaldía de Xochimilco. Esta es una región con agricultura urbana importante para la CDMX por su aporte hortícola, florícola y ornamental. Está constituida por pequeñas unidades de producción familiar, denominada ‘chinampa’, sistema agrícola ancestral de producción intensiva basada en el manejo de humedales (Mendoza, 2018). Durante el periodo encuestado, los técnicos se dedicaron a asesorar y capacitar en modalidad virtual a productores que establecieron diferentes



**Figure 1.** Vegetable production in urban production units in Mexico City. A. Maize production in chinampa, Xochimilco. B. Production of vegetables leafy in chinampa, Xochimilco. C. Tomato crop variety El Cid, San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco. D. Nursery of spinach, San Gregorio Atlapulco, Xochimilco. E. Nursery of tomato, chili and ornamentals, Caltongo, Xochimilco. F. Epazote plant with symptoms of mildew interacting with tomato crop.

**Figura 1.** Producción de hortalizas en unidades de producción urbanas en Ciudad de México. A. Producción de maíz en chinampa, Xochimilco. B. Producción de hortalizas de hoja en chinampa, Xochimilco. C. Cultivo de jitomate variedad El Cid, San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco. D. Almacigo de espinaca, San Gregorio Atlapulco, Xochimilco. E. Almacigo de jitomate, chile y ornamentales, Caltongo, Xochimilco. F. Planta de epazote con síntomas de cenicilla interactuando con cultivo de jitomate.

which still use the chinampa system, an ancestral agricultural technique for intensive production based on wetland management (Mendoza, 2018). During the period in which the surveys were taken, in the summer-autumn cycle of 2020, the technicians were training producers in the growing of different crops. The surveyed technicians reported having at least three years of work experience (57%). Regarding their knowledge of IPM, the technicians expressed knowledge about the economic damage caused by pests, monitoring strategies, recognition of pests and diseases, prevention methods, and control treatments. Most of them (more than 60%) were also aware of the definition of pests according to the FAO IPPC.

Before the pandemic, technicians made at least three visits (76%) to farmers' plots per production cycle. Likewise, they followed up on the management practices implemented by producers. The main pest control method recommended or carried out by the producers was chemical control (57%), while the rest (43%) used other methods (biological, mechanical, cultural, mixed control). This type of pest management, combining chemical control and other alternatives with less environmental impact, including IPM (identified as 'mixed') contrasts with the pest control practices of an important agricultural region such as the Bajío Michoacano, where 98% of producers used chemical control (Ávila-Alistac, 2010). This may be due to the productive typology of urban agricultural production, which relies on small production units that may not be able to afford costly chemical products, using instead traditional management methods and artisanal products such as plant extracts. The urban setting may also influence the producer's decision not to use chemical products with toxic effects that could contaminate the environment where his own family lives. The use of chemical products

cultivos agrícolas en el ciclo verano-otoño 2020. Estos técnicos manifestaron tener al menos tres años de experiencia laboral (57%). Con respecto al conocimiento del MIP los técnicos reportaron conocimientos sobre el nivel de daño económico, estrategias de monitoreo, reconocimiento de plagas y enfermedades, métodos de prevención y tratamientos de control. Así mismo, tienen conocimiento del concepto de plaga (más de 60%) de acuerdo con la definición CIPF de la FAO.

Antes de la pandemia, los técnicos realizaban al menos tres visitas (76%) a las parcelas de productores por ciclo productivo; así mismo, daban seguimiento al manejo que los productores implementaban. El principal método de control que recomendaban o realizaban los productores era el control químico (57%) mientras que el resto (43%) realizaban otras tácticas (control biológico, mecánico, cultural, mixto). Este manejo de plagas, con un balance entre control químico y otras opciones de menor impacto al ambiente, incluyendo el MIP (identificado como 'mixto') contrasta con una región con fuerte vocación agrícola rural convencional donde el 98% de productores del Bajío Michoacano usó el control químico (Ávila-Alistac, 2010). Esto se puede deber a la tipología productiva urbana, cuyas pequeñas superficies podrían no costear productos químicos de alto costo, pero sí permitir el empleo de medidas tradicionales de manejo o el uso de productos artesanales como extractos de plantas. Adicionalmente, la presión urbana puede tener implicaciones en la decisión del productor de no emplear productos químicos que podrían tener efectos tóxicos por deriva o contaminación del entorno donde su propia familia puede vivir. El empleo de productos químicos en unidades de producción urbanas se podría explicar por cultivos con mayor rentabilidad o por problemas fitosanitarios difíciles de controlar por su nivel de infección (enfermedades) o infestación (insectos o ácaros),



in urban agricultural production units is probably reserved, either as a first control option or as part of a MIP scheme, for highly profitable crops or for infections (diseases) or infestations (insects or mites) too severe to be controlled with the use of other methods. These scenarios are common in agriculture and have been widely documented (González *et al.*, 2014). Regarding the proclivity of producers to accept technical recommendations, it is significant that only 50% of the surveyed producers implemented recommendations of the technicians. The producers who didn't follow the technical recommendations were still able to grow healthy crops. In a traditional productive model, where community knowledge is deep and effective, as is the case of Xochimilco, which has an ancient agricultural vocation, this result is not surprising. The transfer of innovative technologies must be based on a sociocultural analysis of the effectiveness of pre-existing technologies. Needless to say, this aspect has profound philosophical implications for academia and research.

As expected, in Xochimilco agricultural production is destined to the local and regional markets and only marginally for self-consumption. This indicates the great opportunities that agricultural producers can have in an urban environment, where population density guarantees demand, there is quick access to points of sale, transport and storage costs are low, and production can be planned based on the dynamics of the local market, on which macroeconomic factors have little influence.

The COVID-19 pandemic severely affected supply chains throughout the world by causing production deficits or disrupting transport networks. The negative economic effects of the pandemic were aggravated by the globalization of the world economy, based on the fragmentation of production chains across countries. In this context, forecasts

sea como primera opción de control o como parte de un esquema MIP. Esto escenarios de decisión son comunes en la agricultura y está documentado ampliamente (González *et al.*, 2014). Respecto a la proclividad del productor a aceptar recomendaciones técnicas, es significativo que únicamente 50% de productores implementaron las recomendaciones técnicas favoreciéndose aparentemente con mejor sanidad en sus cultivos. En un modelo productivo tradicional, donde los saberes y conocimientos comunitarios, como puede ser la región de Xochimilco con vocación agrícola ancestral, este resultado no es sorprendente. La transferencia tecnológica innovadora debe basarse en un análisis sociocultural y de la efectividad de las tecnologías preexistentes. Un aspecto con profundas implicaciones filosóficas en la academia e investigación.

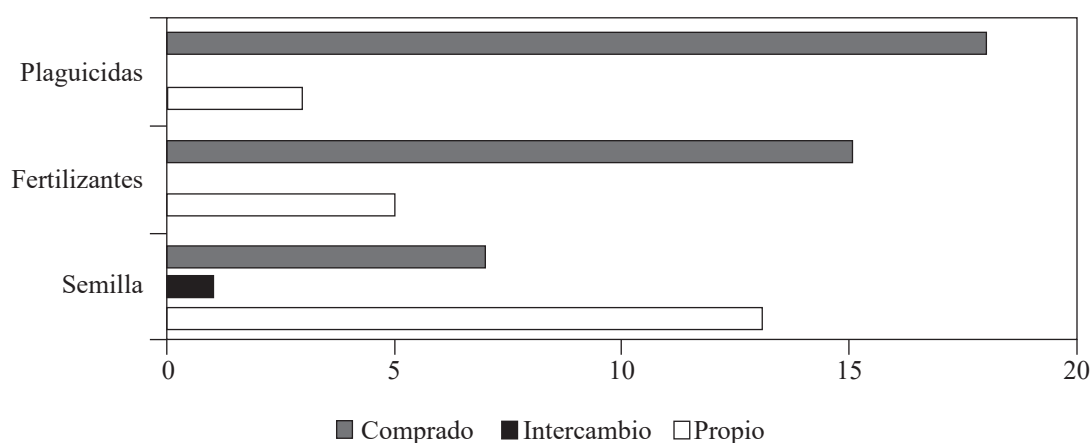
Como era de esperarse, la cosecha es destinada al mercado local, regional y al autoconsumo, una tendencia reconocida en trabajos previos que reportan hasta 54% de autoconsumo (Vera *et al.*, 2014). Esto sugiere la gran oportunidad del entorno urbanos donde la densidad poblacional puede garantizar un nicho de mercado con rápido acceso a puntos de venta, bajo costo operativo en transporte, almacenaje e incluso planificar producción en función a la dinámica de un mercado local con baja influencia a factores macroeconómicos.

COVID-19 impactó severamente las cadenas de suministros a nivel internacional, por déficit productivo o movilización de productos, debido a la preeminencia de una economía global basada en fragmentación de las cadenas productivas entre países. En este contexto, las previsiones para la agricultura fueron desalentadoras (Seleiman *et al.*, 2020). Sin embargo, la producción agrícola es generada por sistemas productivos heterogéneos. Así, la premisa es que la agricultura altamente tecnificada es la más afectada debido al empleo de insumos altamente especializados y en gran volumen



for agriculture were discouraging (Seleiman *et al.*, 2020). However, agricultural production is generated by heterogeneous production systems. Highly technified agricultural production systems were the most affected due to their need for large volumes of highly specialized inputs such as agrochemicals, planting seeds, packaging material, and transportation systems. In urban (or rural) agricultural systems with small productive units, input chains were not so severely affected. For example, 62% of the surveyed producers use their own seeds or exchange them, while 33% purchase seed from local distributors or agrochemical stores, informal businesses, distributors, sub-distributors, collectors, and SADER programs. With variations, this scheme works in the same way throughout the country (CEDRSSA, 2015). In other words, the supply of agricultural inputs becomes diversified by relying on small-scale retailers for small-scale production units (Figure 2). Similar results were observed with fertilizer and agrochemicals regarding the diversity of service providers. Some

como agroquímicos, semillas de siembra, material de empaque y sistemas de transportación. En el escenario de la agricultura urbana (o rural), con pequeñas unidades productivas, resultó claro que las cadenas de insumos no se afectaron drásticamente. Por ejemplo, el 62% de los productores emplean su propia semilla o la intercambian y 33 % lo adquieren en distribuidores o ‘tiendas de agroquímicos’ locales, comercio informal, distribuidores, sub-distribuidores, acopiadores, y programas SADER. Un esquema, con variantes, pero reconocido a nivel nacional (CEDRSSA, 2015). Es decir, la oferta de insumos esta diversificada aplicando el criterio de minoristas para una producción de pequeña escala (Figura 2). Se obtuvieron similares resultados con el fertilizante y agroquímicos en lo que respecta a la diversidad de proveedores de servicios. Sin embargo, también se reportaron fuentes propias lo cual puede deberse al uso de compostas o productos artesanales. La chinampa tradicional precisamente se caracteriza por uso intenso de materia orgánica producida en sus humedales.



**Figure 2. Mechanisms for the acquisition or appropriation of three types of agricultural inputs used by producers in urban agricultural production units of six Mexico City municipalities. Source: own, based on a survey applied through digital means.**

**Figura 2. Mecanismos de adquisición o apropiación de tres tipos de insumos agrícolas aplicados por productores en unidades de producción urbanas de seis delegaciones de CDMX. Fuente: propia con encuesta aplicada por medios digitales durante la epidemia COVID-19.**

amount of self-sufficiency was also reported, maybe due to the use of compost or artisanal products. The traditional chinampa system is characterized by the intense use of organic matter produced in the wetlands on which the system is based.

### **Impact of COVID-19 on the agricultural technical service**

The health emergency created by COVID-19 affected the continuity of the agricultural technical service. However, knowledge and advice continued to be provided to agricultural producers through digital technologies such as virtual platforms, video tutorials, video calls, phone calls, and WhatsApp. Although the risk of an erroneous diagnosis in the identification of pests was recognized by 29% of the surveyed technicians, digital photography was very useful, especially when technicians had previous knowledge of the productive systems they were working with and when there was sufficient knowledge about the pests and diseases of local incidence (47%). It can be inferred that digital work was effective in at least 76% of the cases since the density of pests and/or diseases did not increase in the same percentage of the plots attended by agricultural technicians. The diagnosis of pests plays a crucial role in the treatment and management of sanitary problems and it is one of the fundamental elements of phytosanitary management. Reliance on the diagnosis of plant pests and disease can be abused, however, creating the false conception that diagnosis is sufficient for controlling plant health, and agrochemical stores can prescribe solutions for any phytosanitary problem. This reductionist approach is behind the irrational use of pesticides under the pretext of protecting the crops and justifies the use of IPM as a holistic and systemic phytosanitary approach. It is worth noting the parallelism between the

### **COVID-19 e impacto en el servicio técnico agrícola**

La emergencia sanitaria, en respuesta a COVID-19, impactó en la continuidad presencial del servicio técnico agrícola. Sin embargo, la divulgación y asesoría a productores se subsanó mediante el empleo de tecnologías digitales como plataformas virtuales, video tutoriales, video llamadas, llamados telefónicos y envío de fotografías vía WhatsApp. Aunque se reconoció el riesgo de un diagnóstico erróneo en la identificación de plagas (29% de respondentes), se apreció el valor de la fotografía digital si se tienen antecedentes del sistema productivo específico de la parcela-productor y si existe el conocimiento suficiente sobre las plagas y enfermedades de incidencia local (47%). Se infiere que la actividad digital fue efectiva en al menos 76% ya que no aumentó la densidad u ocurrencia de plagas y/o enfermedades en ese porcentaje de parcelas atendidas por técnicos. El diagnóstico de plagas tiene un rol fundamental en el tratamiento y manejo de un problema sanitario y es uno de los paradigmas fundamentales de la fitosanidad. Su abuso, sin embargo, ha conducido a la falsa concepción que el diagnóstico es suficiente para el control y que una ‘tienda de agroquímicos’ puede ‘recetar’ la solución. Ese enfoque reduccionista es la esencia de la irracionalidad en uso de plaguicidas, sustentado en el principio de *protección*, y constituye la justificación de la estrategia MIP como visión contrapuesta, holística y sistémica en la original concepción filosófica. Es interesante resaltar el paralelismo del diagnóstico virtual en plantas y humanos durante la etapa epidémica COVID-19. La telemedicina, aunque ya existía de manera incipiente, principalmente en ámbito quirúrgico, fue impulsada mundialmente ante los riesgos de contagio SARS-CoV-2 en los sistemas hospitalarios y clínicos. Como ejemplo, Médica Sur, reconocida

virtual diagnosis of plants and humans during the COVID-19 epidemic. Although telemedicine already existed in an incipient way, mainly in the surgical field, it was popularized worldwide due to the risk of contagion with SARS-CoV-2 in hospital and clinical systems. As an example, Medica Sur, a recognized private medical company based in Mexico City, is developing the **Telemedicina Médica Sur** program, and it already provides virtual consultations.

Digital tools have proved very valuable for communicating relevant data and instructions between agricultural technicians and producers during the COVID-19 pandemic, especially in an urban agriculture environment with a high risk of contagion and lax prevention protocols, as is the case of Mexico City. Since March 2020, Xochimilco's local authorities promoted prevention strategies against COVID-19 due to the high risk of contagion associated with its intense economic and tourist activity (<http://www.xochimilco.cdmx.gob.mx/alista-xochimilco-mega-jornada-to-prevent-covid-19/>). Mexico City and the State of Mexico, which together comprise 21.5% of the national population, were the entities with the highest number of positive cases and deaths from COVID-19 throughout the epidemic process, which explains their higher use of digital tools compared with rural production environments. In the agricultural regions of the country, phytosanitary and training activities continued to be carried out in person, although with certain restrictions, with no use of digital systems (González-Gaona *et al.*, and Castañeda-Cabrera *et al.*, in this Special Issue) (CGLU, 2020). The different perceptions of the gravity of the COVID-19 pandemic between rural and urban areas may also explain why 47% of urban agricultural producers considered it 'imprudent' to carry out in-person training activities, while in rural areas in-person training was a recurring demand from producers (G. Mora-Aguilera 2021. Personal

empresa privada de la CDMX tiene en desarrollo su programa **Telemedicina Médica Sur**, aunque ya opera consultas virtuales.

Es innegable el valor de las herramientas digitales implementadas en la comunicación de datos relevantes e instrucciones durante la pandemia COVID-19 entre técnicos y productores en un entorno de agricultura urbana con alto riesgo de contagio y con protocolos de prevención promovidos por CDMX. Incluso, Xochimilco, desde marzo 2020, promovió estrategias de prevención COVID-19 debido a altos factores de riesgo por su intensa actividad económica y turística (<http://www.xochimilco.cdmx.gob.mx/alista-xochimilco-mega-jornada-para-prevenir-covid-19/>). CDMX y Edo. México, con el 21.5% de la población nacional, han sido las entidades con mayor número de casos positivos y defunciones pro COVID-19 durante todo el proceso epidémico, lo que explica el contraste del empleo de estas herramientas con entornos de producción rural. En las regiones agrícolas del país se continuaron en modalidad presencial actividades fitosanitarias y de capacitación, aunque con restricciones, sin empleo de sistemas digitales (González-Gaona y Col., y Castañeda-Cabrera y Col. en este Número Especial) (CGLU, 2020). Las diferentes percepciones en el medio rural y urbano ante COVID-19 pueden también explicar que 47% de productores urbanos consideraron 'imprudente' realizar actividades de capacitación. Mientras que, en el campo, la capacitación fue una demanda recurrente de productores (G. Mora-Aguilera, 2021. Comunicación Personal). La rápida comprensión del técnico urbano del riesgo COVID-19 permitió innovar sus procesos de comunicación, como necesidad técnica pero también laboral.

### **Encuesta a productores agrícolas urbanos**

Ochenta y siete de productores, de un total de 100 solicitudes, respondieron la encuesta. De estos,

Communication). The rapid understanding by urban technicians of the risks posed by COVID-19 allowed them to innovate their communication processes as a technical but also as a professional need.

### Survey of urban agricultural producers

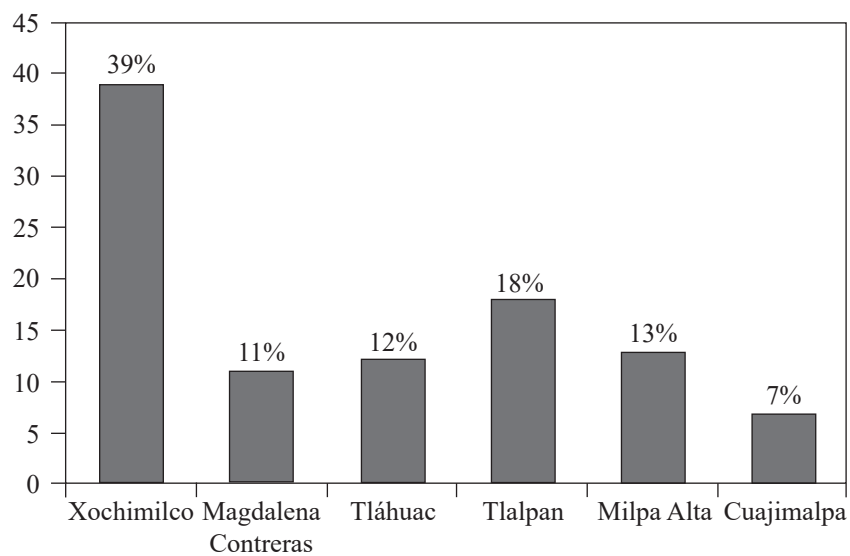
Eighty-seven producers responded to the survey out of a total of 100 who were invited to participate. Of these, 64 (74%) were male and 23 (26%) female. Their age was between 20 and 30 years old (23%), 31 and 50 years (35%), and over 50 years old (42%). These data suggest a positive transgenerational trend, with preponderant participation of producers under 50 years of age and greater participation of women (+ 9%) compared to national data. One of the current problems of agriculture is the aging of the rural population (>46 years, 83.5%) and with it the loss of agricultural knowledge (<https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/>). Urban agriculture in Mexico City is rooted in strong ancestral values and traditions, which possibly explains the generational replacement dynamics in family productive activities. However, the survey used in the present study did not make an in-depth evaluation of this aspect nor of the trends in land use, which are greatly affected by urban pressure. As a megalopolis, Mexico City offers complementary job opportunities without the need to migrate and break up the family group. The surveyed producers were located in the seven municipalities of Mexico City with urban agricultural activity but were mainly represented by Xochimilco and Tlalpan (Figure 3).

Most of the surveyed producers had basic or intermediate education. Only 6% had university studies. This coincides with the findings of Zepeda-Jazo (2018), who mentioned that more than 50% of the agricultural producers of Mexico City had only

64 (74%) fueron de género masculino y 23 (26%) femenino con rangos de edades entre 20 - 30 años (23%), 31-50 años (35%) y mayores de 50 años (42%). A nivel nacional, estos datos sugieren una transgeneracionalidad positiva con participación preponderante de productores menores a 50 años y mayor participación de la mujer (> 9%). Unos de los problemas actuales de la agricultura es el envejecimiento de la población rural y con ello la pérdida de conocimientos y saberes agrícolas (> 46 años, 83.5%) (<https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/>). La agricultura urbana de CDMX está enraizada en fuertes valores y tradiciones ancestrales lo que posiblemente explica el relevo generacional en actividades productivas familiares. Sin embargo, esta encuesta no evaluó con profundidad este aspecto ni la tendencia en el uso de la tierra, aspectos que suponen la mayor amenaza en un entorno bajo fuerte presión urbana. Por otra parte, la CDMX como megalópolis, ofrece oportunidades laborales complementarias sin necesidad de migrar y desarticular la composición familiar. Los productores encuestados se ubicaron en las siete alcaldías CDMX con actividad agrícola urbana con mayor representatividad en Xochimilco y Tlalpan (Figura 3).

En escolaridad predomina el nivel básico y medio. Únicamente 6% tienen estudios universitarios. Esto coincide con Zepeda-Jazo (2018), el cual menciona que más de 50% de productores de CDMX tienen nivel primaria. Predomina la propiedad de la tierra (88%) sobre la renta o por contrato en extensiones inferiores a tres hectáreas. Esta es un indicador de la vocación productiva de dueños originales de la tierra y fortaleciendo del modelo familiar y trasgeneracional. La fragmentación de la tierra es una característica de la agricultura familiar debido a subsecuentes divisiones de la tierra por razones hereditarias. Torres-Lima y Rodríguez-Sánchez (2007), reportan que 90% de productores de





**Figure 3.** Mexico City municipalities where the surveyed producers lived and had their agricultural production units during the COVID-19 pandemic.

**Figura 3.** Alcaldías CDMX de residencia y ubicación de unidades de producción de productores urbanos encuestados por medios digitales durante la epidemia COVID-19.

basic education. Most producers (88%) owned their land (less than three hectares). This is an indicator of the productive vocation of the original landowners and proof of the strength of the transgenerational family model. Land fragmentation is a characteristic of family farming due to the continuous division of the land between heirs. Torres-Lima and Rodríguez-Sánchez (2007) reported that 90% of agricultural producers in Cuajimalpa, A. Obregón and Milpa Alta have properties of one hectare or less. In an urban system, land fragmentation can benefit intensive cultivation with low investment, enabling the producer to sustain his productive vocation. For example, during the peak (July 20) of the first epidemic wave in Mexico, only 14% of the surveyed producers declined to plant their fields during the summer-fall of 2020. Most of them planted mainly corn (Figure 1A) and, to a lesser extent, vegetables (Figure 1B-E and Table 1). Although Mexico City has a tradition of corn

Cuajimalpa, A. Obregón y Milpa Alta tienen propiedades de una hectárea o menos. En un sistema urbano, la fragmentación de la tierra puede beneficiar a cultivos intensivos con baja inversión posibilitando al productor a sostener su vocación productiva. Por ejemplo, durante el pico máximo (20 julio, 2020) de la primera ola epidémica en México, únicamente 14% de productores declinaron realizar sus siembras verano-otoño 2020. La mayoría estableció principalmente maíz (Figura 1A) y en menor escala hortalizas en topologías mixtas (Figuras 1B-E y Cuadro 1). Aunque en la CDMX existe tradición por el cultivo de maíz, reportándose por ejemplo un total de 2,397 productores que sembraron en conjunto hasta 23 tipos nativos de maíz en 2016 (SEDEREC, 2016), la predominancia de este cultivo durante la fase COVID-19 se pudo deber al menor requerimiento de jornales y al bajo costo productivo comparado con hortalizas u ornamentales. Esto subsanó potenciales problemas operativos

**Table 1. Crops planted in the 2020 summer-fall productive cycle by urban agriculture producers from seven Mexico City municipalities during the first COVID-19 epidemic wave.**

**Cuadro 1. Cultivos establecidos en el ciclo productivo verano-otoño 2020 por productores de agricultura urbana de siete alcaldías CDMX durante la primera ola epidémica COVID-19.**

| Cultivo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Alcaldía               | Productores | <sup>x</sup> Unidad Productiva |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------|--------------------------------|
| <i>Zea mays</i> , <i>Solanum lycopersicum</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Cuajimalpa             | 2           | Parcela                        |
| <i>Z. mays</i> , <i>S. lycopersicum</i> , <i>Cucurbita pepo</i> ,<br><i>Lactuca sativa</i> , <i>Physalis ixocarpa</i>                                                                                                                                                                                                                                        | Magdalena<br>Contreras | 10          | Parcela                        |
| <i>Z. mays</i> , <i>Opuntia ficus-indica</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Milpa Alta             | 12          | Parcela                        |
| <i>Z. mays</i> , <i>O. ficus-indica</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Tláhuac                | 7           | Parcela                        |
| <i>Z. mays</i> , <i>C. pepo</i> , <i>S. lycopersicum</i> ,<br><i>Raphanus sativus</i> , <i>L. sativa</i> , <i>Capsicum annuum</i>                                                                                                                                                                                                                            | Tlalpan                | 18          | Parcela                        |
| <i>Z. mays</i> , <i>C. annuum</i> , <i>L. sativa</i> , <i>S. lycopersicum</i> ,<br><i>P. ixocarpa</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>C. pepo</i> ,<br><i>Daucus carota</i> , <i>R. sativus</i> , <i>Pisum sativum</i> ,<br><i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> , <i>Portulaca</i><br><i>oleracea</i> , <i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabellica</i> | Xochimilco             | 38          | Chinampa                       |

<sup>x</sup>Parcela is a conventional production unit; Chinampa is a productive unit linked to a land management system and artificial wetlands.  
 / <sup>x</sup>Parcela es una unidad de producción convencional; Chinampa es una unidad productiva vinculado a un sistema de manejo de tierra y humedales artificiales.

cultivation, with a total of 2,397 producers who planted together up to 23 native types of corn in 2016 (SEDEREC, 2016), the predominance of this crop during the COVID-19 pandemic could be due to its lower requirements of labor and low production costs compared to vegetables or ornamental plants. These characteristics of corn cultivation helped producers to overcome the potential operational problems created by the health emergency, and provided them enough corn for self-consumption, ensuring a source of food for persons and animals. Corn is also easy to preserve and store, and more versatile, in culinary terms, than vegetables (Vera-Sánchez, 2016). The survey found that during this productive cycle, the harvested grain and vegetables were used for self-consumption and sale in local markets. This change in the production pattern from more profitable crops to crops that provide food security demonstrated the versatility and resilience of small producers in the face of crises such as that created by SARS-CoV-2.

impuestos por la emergencia sanitaria además de proveerse de maíz para autoconsumo asegurando una fuente de alimento propio y para animales de traspatio, de fácil preservación y almacenaje, y culinariamente más versátil que las hortalizas (Vera-Sánchez, 2016). La encuesta constató que en ese ciclo productivo el propósito de la cosecha era el autoconsumo y mercados locales. Este cambio de patrón productivo de cultivos más rentables a aquellos que proveen seguridad alimentaria demostraría la versatilidad y resiliencia de pequeños productores ante crisis como la impuesta por SARS-CoV-2 y el potencial de unidades de producción urbanos para garantizar alimento local con baja o limitada dependencia de productos foráneos. Esto se demostró con países europeos que padecieron limitación de alimentos, por efecto COVID-19 en países proveedores, a pesar de su alto poder adquisitivo (<https://www.agronegocios.co/agricultura/productos-frescos-seran-mas-escasos-en-europa-por-cuenta-de-la-crisis-del-covid-19-2984253>).

It also shows the potential of urban production units to guarantee the local food supply with low or limited dependence on foreign products. Despite their high purchasing power, European countries suffered from food restrictions due to the effect of the COVID-19 pandemic on supplier countries, (<https://www.agronegocios.co/agricultura/productos-frescos-seran-mas-esrazas-in-Europe-on-account-of-the-crisis-of-covid-19-2984253>). At the macroeconomic level, countries or regions with strong agricultural activity had a lower food security risk from COVID-19 (FAO and ECLAC, 2020). Even Mexico increased its agricultural exports due to the global demand for food. This sector was the only one that had positive growth in 2020 (P. Rivas, in this Special Issue).

The producers corroborated the technicians' appreciation that the seeds are usually obtained by purchase or exchange (65%), while 35% of the producers used seeds from previous harvests. Between 2008 and 2009, a series of surveys applied in different rural areas of Mexico City found that 90% of farmers used their own seeds, while 9% used seeds from other producers in other communities (Vera *et al.*, 2014). This is an example of empirical knowledge applied by producers to avoid productive 'erosion' by mixing the genotype of their crops with foreign genotypes. This is a viable strategy for small producers, who, with this practice, also preserve their agricultural genetic resources *in situ*, as opposed to large producers, who use seed varieties created by private companies that can genetically restrict the possibility of reusing the seeds after harvest. This is precisely the case of hybrid maize. This type of knowledge must be preserved and improved under a sustainable agricultural system.

Regarding IPM, 82% of the producers were unaware of its technical principles. However, they were able to describe it as the use of various methods

A nivel macroeconómico, países o regiones con fuerte actividad agrícola tuvieron menor riesgo de seguridad alimentaria ante COVID-19 (FAO y CEPAL, 2020). Incluso México incrementó sus exportaciones agrícolas ante la demanda mundial de alimentos, siendo este sector el único que exhibió un crecimiento positivo en 2020 (P. Rivas-Valencia, en este Número Especial).

Los productores corroboraron la apreciación de los técnicos respecto a que la semilla es obtenida por compra o intercambio (65%), mientras que el 35% lo obtienen de cosechas previas. Entre 2008 y 2009 se aplicó un sistema de encuestas en diferentes zonas rurales de CDMX encontrándose que 90% de los agricultores usaban su propia semilla y el 9% de otros productores de otras comunidades (Vera *et al.*, 2014). Este es un ejemplo de un conocimiento empírico aplicado por productores para evitar la 'erosión' productiva al mezclar sus genotipos con genotipos foráneos. Estrategia viable para pequeños productores que además con esa práctica conservan *in situ* los recursos genéticos agrícolas contrario a los grandes productores que son consumidores de variedades generadas por consorcios que pueden además restringir genéticamente la posibilidad de reuso a partir de cosecha. Este es el caso justamente de los maíces híbridos. Este tipo de conocimientos y saberes deben conservarse y mejorarse bajo una visión agrícola sustentable.

Desde la perspectiva del MIP, el 82% de los productores desconocen sus principios técnicos. Sin embargo, pudieron describirlo como el uso de diversas tácticas para el control de una plaga o enfermedades. Es decir, tienen la comprensión empírica. Este grupo de productores también tiene la noción amplia, y correcta, de plaga al referirse a cualquier insecto u organismo que causa daño a su cultivo, sea insecto, hongos, bacterias, etc. (Figura 1F). Identifican además las diversas plagas de sus cultivos reportando que insectos son el mayor

to control a pest or disease, which means that they had an empirical understanding of the system. This group of producers also define “pests” in a broad way when referring to any insect or organism that causes damage to their crops, be it insects, fungi, bacteria, etc. (Figure 1F). They also identified the various pests that affect their crops, most of them (65%) stating that insects are their greatest problem (Table 2) but recognized the existence of beneficial insects that can contribute to pest control.

Pests affect 99% of producers, so they all apply some control method (Figure 4). However, as already indicated, the urban agricultural model imposes the need for pest control strategies with the least effect on the environment. Interestingly, the main strategy is mechanical control for *preventive* purposes (67%) followed by chemical control (52%) for *curative* purposes. This *preventive-curative* strategy is the basis of a rational management that is hardly ever applied in extensive agriculture, which favors chemical control due to the high

problema con una incidencia del 65% (Cuadro 2), y reconocen además la existencia de insectos benéficos que pueden coadyuvar en el control de plagas.

La ocurrencia de plagas afecta al 99% de productores por lo que todos aplican alguna acción de control (Figura 4). Sin embargo, como ya se indicó el modelo agrícola urbano impone la búsqueda de estrategias con el menor efecto al entorno. De este modo, es notorio que la mayor estrategia empleada es el control mecánico principalmente con fines *preventivo* (67%) seguido del control químico (52%) con propósito *curativo*. Esta estrategia *preventiva-curativa* es la base de un manejo racional que difícilmente se aplica en la agricultura extensiva la cual privilegia el control químico debido al alto nivel de inversión y la exigencia del mercado por productos con propiedades organolépticas específicas logradas con ingredientes activos totales de gran impacto al ambiente. Otro resultado destacable es el uso de control biológico tanto a nivel *preventivo* (8%) como *curativo* (25%), y la combinación

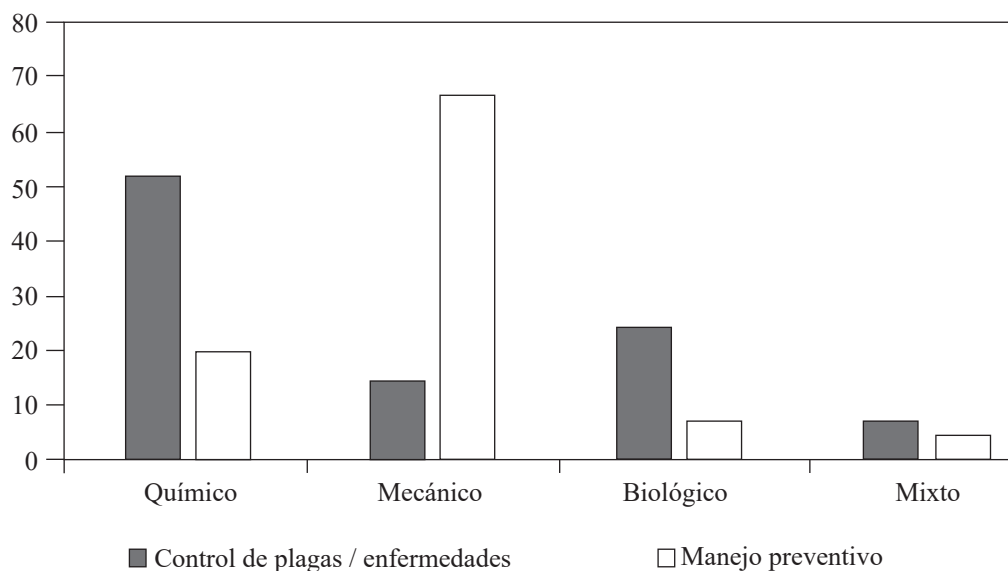
**Table 2. Main pests (common and scientific names) identified in the field by urban agricultural producers in Mexico City.**

**Cuadro 2. Principales plagas que son identificadas en campo, a nivel de nombre común, por productores de agricultura urbana de siete alcaldías de CDMX.**

| *Plaga               | Nombre científico                                                                               |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pulgón               | <i>Aphis</i> spp.                                                                               |
| Picudo del nopal     | <i>Cactophagus spinolae</i>                                                                     |
| Gusano cogollero     | <i>Spodoptera frugiperda</i>                                                                    |
| Mosquita blanca      | <i>Bemisia tabaci</i> , <i>Trialeurodes vaporariorum</i>                                        |
| Cochinilla del nopal | <i>Dactylopius coccus</i>                                                                       |
| Gallina ciega        | <i>Phyllophaga</i> spp.                                                                         |
| Trips                | <i>Frankliniella occidentalis</i> , <i>Thrips tabaci</i>                                        |
| Araña roja           | <i>Tetranychus urticae</i>                                                                      |
| Minador de la hoja   | <i>Liriomyza</i> spp.                                                                           |
| Cenicilla            | <i>Oidium</i> sp., <i>Leveillula taurica</i>                                                    |
| Huitlacoche          | <i>Ustilago maydis</i>                                                                          |
| Damping off          | <i>Pythium</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Phytophthora</i> spp. |
| Marchitez            | <i>Phytophthora</i> spp., <i>Fusarium</i> spp.                                                  |

\*Pest is used here in its broad meaning from the IPPC, FAO. / \*Plaga se emplea aquí en su amplia acepción de la CIPF, FAO.





**Figure 4.** Control strategies used by producers to control pests in urban agricultural production systems of seven municipalities of CDMX. Source: own, with survey applied by digital means during the COVID-19 epidemic.

**Figura 4.** Estrategias de control empleadas por productores para el control de plagas en sistemas de producción agrícola urbana de siete alcaldías de CDMX. Fuente: propia con encuesta aplicada por medios digitales durante la epidemia COVID-19.

level of investment and the market demand for products with specific organoleptic properties that are produced using total active ingredients of great impact to the environment. Another notable result is the use of biological controls for both *preventive* (8%) and *curative* (25%) processes. Less than 10% of the surveyed producers combined more than one technique. These control scenarios indicate that IPM has great chances to be implemented holistically and systemically together with other environmental strategies. Mechanical or cultural control pest control, which is very costly in large productive units due to the need for labor, is viable in small production units. Mechanical control includes pruning of damaged plant parts, manual pest collection, soil management, types of planting beds, the cleaning and sanitization of seeds, etc. Many of these practices have an ancient origin, such as manual pest elimination, which could be

de más de una técnica en menos del 10%. Estos escenarios de control indican claramente que el MIP tiene grandes posibilidades de implementarse de manera holística y sistémica debido al empleo intuitivo de estrategias de bajo impacto al ambiente e inversión. Por ejemplo, el control mecánico o cultural, con gran costo en grandes extensiones productivas por requerimiento de mano de obra, es viable en pequeñas unidades de producción. Estas incluyen podas de partes dañadas de plantas, recolección manual de plagas, manejo de suelo, tipologías de camas de siembra, limpieza y sanitización de semillas, etc. Muchas de estas prácticas tiene un origen ancestral, como la eliminación manual de plagas la cual podría estar asociada al consumo de insectos (p.e. chapulines y gusanos de maguey) y hongos (huitlacoche), generalizados en la culinaria de amplios sectores rurales y urbanos del altiplano de México.

associated with the consumption of insects (e.g. grasshoppers and maguey worms) and fungi (huitlacoche), ingredients that are widely used in the cuisine of large rural and urban sectors of the Mexican highlands.

It is thus possible to state that there is an intuitive understanding of the benefits of IPM for producers in the region. However, the establishment of IPM systems must be carried out through cooperative research with producers to generate the actionability criteria for each pest and determine the biological effectiveness of possible control strategies suitable for an urban environment. That is, a correct application of the IPM (Kogan and Bajwa, 1999). Once a technological innovation is generated, it is transferred to producers. IPM is not a combination of strategies based on published recipes. Each productive system must be studied from a regional perspective, integrating the traditional knowledge of each community. Producers are willing to use the IPM strategy because they perceive its usefulness in an urban environment that has limited productive resources, expectations for healthy food, and ecological concerns. Producers recognize that the healthiness of their products can provide added value. Various organic nopal production programs in Milpa Alta have had this aim, even if their results have been modest (<https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/cdmx-impulsa-cultivo-organico-nopal/>). The COVID-19 pandemic made more people aware of the need to improve their health through the consumption of a healthy diet consisting of fresh and innocuous products. Coinciding with the COVID-19 pandemic, the Mexican Ministry of Health promoted an improved food labeling system as a result of the high incidence of chronic metabolic, cardiovascular and other diseases, which are associated with greater mortality from SARS-CoV-2. Urban agriculture faces great prospects for comprehensive optimization but requires the accompaniment of public and institutional policies.

En este contexto, es posible afirmar que existe una comprensión intuitiva de los beneficios del MIP en los productores de la región. El establecimiento de sistemas MIP deben sin embargo generarse por medio de investigación cooperativa con productores para generar los criterios de accionabilidad de una plaga y la efectividad biológica de las posibles estrategias aptas a un entorno urbano. Es decir, una correcta aplicación del MIP (Kogan y Bajwa, 1999). Una vez generada la innovación tecnológica se transfiere a productores. El MIP no es la combinación de estrategias con base en ‘recetas’ de publicaciones. Cada sistema productivo debe ser investigado bajo visiones regionales e integrando la diversidad de saberes comunitarios. El productor es anuente a integrar la estrategia MIP porque percibe su utilidad en un medio urbano que tiene recursos productivos acotados, expectativas por alimento sano y demandas de cuidado del ambiente. Reconoce que un producto sano puede conferir valor agregado. Diversos programas de producción orgánica de nopal verdura en Milpa Alta han tenido ese propósito aun con modestos resultados (<https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/cdmx-impulsa-cultivo-organico-nopal/>).

Adicionalmente, la contingencia sanitaria COVID-19 impulsó la conciencia por mejorar los niveles de salud mediante la ingesta de dietas saludables planteándose el consumo de productos frescos e inocuos. En este periodo COVID-19, la Secretaría de Salud del gobierno mexicano promovió el sistema de etiquetado de alimentos ante la alta incidencia de enfermedades crónicas metabólicas, cardiovasculares y otras asociadas con mayor letalidad de SARS-CoV-2. La agricultura urbana se encuentra ante grandes perspectivas de optimización integral, pero requiere el acompañamiento de políticas públicas e institucionales de gran visión.

### **Alerta sanitaria por COVID-9 y productores**

A partir de la situación de emergencia sanitaria generada por el SARS-CoV-2 en 2020, la mayoría

### Health emergency due to COVID-9 and agricultural producers

Despite the health emergency created by the SARS-CoV-2 in 2020, most agricultural producers (72%) in Mexico City continued with their daily activities in plots and chinampas, complying with the preventive measures established by the Secretary of Health of Mexico City (García, 2020). Thanks to this, the incidence of pests did not increase (Table 2, Figure 3). Although 75% of the producers reported production losses, these were not less than 20% and were not considered significant. An extensive producer would certainly consider this a significant loss.

The main problem during the period under study was the scarcity of labor since 50% of producers hire agricultural workers. To guarantee the health of its workers and generate labor confidence, proper sanitary measures were implemented at the production unit level. Despite this, the laborers did not go to work, which is understandable because the maximum peak of positive cases in Mexico City occurred in the summer-autumn of 2020, and for several months Mexico City was classified into the red traffic light category. Agricultural workers would have had to use a public transport system, which, in addition to the risk of contagion posed by it, has a limited number of transport units. Confinement was never mandatory in Mexico, which led to the concentration of people in certain essential areas such as markets, supply centers, pharmacies, and self-service stores. These areas were frequently identified with COVID-19 outbreaks in Mexico City. In that period, it was frequent to read journalistic reports of COVID-19 outbreaks among agricultural workers due to the overcrowded conditions in work areas,

de los productores (72%) continuaron de manera cotidiana sus actividades en parcelas y chinampas atendiendo las medidas preventivas definidas por la Secretaría de Salud CDMX (García, 2020). Debido a esto, las plagas no incrementaron su incidencia por el control oportuno (Cuadro 2). Aunque 75% de productores reportaron pérdidas de producción, estas no fueron mayores al 20% y no las consideraron significativas. Otra diferencia en visiones de agricultura de escala. Un productor extensivo sin duda consideraría esta una pérdida significativa.

El principal problema fue falta de mano de obra, ya que el 50% de productores contrata trabajadores agrícolas. Para garantizar la salud a sus trabajadores y genera confianza laboral se implementaron las medidas sanitarias necesarias a nivel de unidad de producción. A pesar de ello, los jornaleros se ausentaron. Lo cual es explicable ya que en verano-otoño se tuvo el pico máximo de casos positivos en CDMX y por varios meses se implantó el semáforo rojo de riesgo COVID-19. El trabajador agrícola tendría que emplear sistema de transporte público, los cuales, además del riesgo que representaban fueron limitados en número. El confinamiento nunca fue obligatorio en México, lo que implicó concentración de personas en ciertas áreas esenciales como mercados, centrales de abasto, farmacias y tiendas de autoservicio. Áreas que con frecuencia se identificaron con brotes COVID-19 en CDMX. Fue frecuente en ese periodo leer reportes periodísticos de brotes de COVID-19 en trabajadores agrícolas por condiciones de hacinamiento en áreas de trabajo, trasportación, flujos migrantes y carencia de servicios médicos (Valadez, 2020; González-Gaona y Col. en este Número Especial). La agricultura se consideró esencial en México, pero se expuso al trabajador agrícola a un mayor riesgo a la enfermedad.

transportation, migrant flows, and lack of medical services (Valadez, 2020; González-Gaona and Col. in this Special Issue). Agriculture was considered essential in Mexico, but agricultural workers were exposed to a greater risk of the disease.

## CONCLUSIONS

A survey was digitally generated and applied to a total of 108 urban agriculture technicians and producers from seven municipalities of Mexico City during the first COVID-19 epidemic wave in Mexico in 2020. The results showed that agricultural technicians kept providing advice and training in person, attending to the sanitary measures established by the Ministry of Health, and using digital technologies with good acceptance from producers. Agricultural technicians knew IPM and its possible benefits for the environment and human health. Although producers were unaware of the main aspects of the IPM strategy, they had an empirical understanding of it, implementing different pest control methods, the least frequent being chemical pest control. It is important to delve into the impact of the COVID-19 epidemic and the opportunities for urban agriculture given the growing social demand for sustainable agriculture, with low environmental impact, as a source of healthy, unprocessed food, the consumption of which constitutes a preventive health strategy. The resilience of urban agriculture in productive, cultural, and social terms, in the face of the COVID-19 pandemic, demonstrated that this type of agricultural production units can be part of a holistic food security system for large cities with a high incidence of disease. Such a system could be put in place with the explicit support of public institutions.

## CONCLUSIONES

Se generó y aplicó digitalmente una encuesta a un total de 108 técnicos y productores de agricultura urbana de siete alcaldías de CDMX durante la primera ola epidémica COVID-19 en México en 2020. Los resultados demostraron que los técnicos continuaron sus asesorías y capacitaciones en modalidad presencial, atendiendo las medidas sanitarias establecidas por la Secretaría de Salud, y mediante uso de tecnologías digitales con buena aceptación de productores. Los técnicos tuvieron conocimientos MIP y de los beneficios que puede aportar al ambiente y salud humana. Los productores, aunque desconocieron los principios MIP, tienen una comprensión empírica al implementar diferentes tácticas siendo la menos frecuente el control químico de plagas. Es importante profundizar sobre el impacto de la epidemia COVID-19 y las oportunidades de la agricultura urbana ante la creciente demanda social por una agricultura sostenible, de bajo impacto ambiental, y por alimentos sanos, no procesados, como estrategia de salud preventiva. La resiliencia de la agricultura urbana, en términos productivos, culturales y sociales, demostrada ante COVID-19 en una entidad federativa con alta incidencia de la enfermedad, puede constituirse, con soporte de políticas públicas e institucionales explícitas, en un modelo holístico sistémico de seguridad alimentaria del área metropolitana con énfasis en servicios agroecosistémicos y en el fortalecimiento de valores socioculturales.

## AGRADECIMIENTOS

A técnicos y productores que respondieron a la encuesta aplicada por medios digitales debido a la contingencia sanitaria COVID-19. A la Lic. Tania Vargas, por la gestión para implementar las encuestas a técnicos de CDMX.



**ACKNOWLEDGMENTS**

The authors wish to thank the technicians and producers who participated in the survey applied by digital means. They also thank Tania Vargas for her invaluable support in getting agricultural technicians from Mexico City to participate in the survey.

**ACKNOWLEDGMENTS**

We are grateful to the technicians and producers who participated in the survey and to Lic. Tania Vargas for her collaboration in the application of the survey to agricultural technicians working in Mexico City.

**LITERATURE CITED**

- Ávila-Alistac N. 2010. Dinámica poblacional de las principales plagas insectiles y situación del manejo fitosanitario del cultivo de chile y tomate en el Bajío Michoacano. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Texcoco, Edo. De México. 132 p.
- FAO y CEPAL. 2020. Sistemas alimentarios y COVID-19 en América Latina y el Caribe: Impactos y oportunidades en la producción de alimentos frescos. Boletín 11: 1-24. [https://repositorio.cepal.org/handle/cb0501\\_es](https://repositorio.cepal.org/handle/cb0501_es)
- CEDRSSA, Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. 2015. Las semillas en México. [www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/93Las\\_semillas\\_en\\_M%C3%A9xico\\_-\\_agosto\\_2015.pdf](http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/93Las_semillas_en_M%C3%A9xico_-_agosto_2015.pdf)
- Galindo G. 2011. La sanidad vegetal en México: situación actual y perspectivas. Pp.17-38. In: Ramírez DE y Gavia HO (eds.). La vigilancia epidemiológica fitosanitaria en México: un acercamiento metodológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 209 p. [www.researchgate.net/publication/299819200\\_LA\\_SANIDAD\\_VEGETAL\\_EN\\_MEXICO\\_SITUACION\\_ACTUAL\\_Y\\_PERSPECTIVAS](http://www.researchgate.net/publication/299819200_LA_SANIDAD_VEGETAL_EN_MEXICO_SITUACION_ACTUAL_Y_PERSPECTIVAS).
- García VL. 2020. Cuarentena por coronavirus en México, todo lo que tienes que saber. El Universal. [www.eluniversal.com.mx/nacion/coronavirus-cuarentena-en-mexico-todo-lo-que-tienes-que-saber](http://www.eluniversal.com.mx/nacion/coronavirus-cuarentena-en-mexico-todo-lo-que-tienes-que-saber).
- González FV, Ardiles RS y Sepúlveda MR. 2014. Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE) en el cultivo de tomate bajo malla antiáfido en el Valle de Azapa. Centro de investigación especializado en agricultura del desierto y altiplano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Folleto informativo No.89. Arica, Parinacota. Chile. 4p. [biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40237.pdf](http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40237.pdf)
- Harapan H, Itoh N, Yufika A, Winardi W, Keam S, Te H, Megawati D, Hayati Z, Wagner A and Mudatsir M. 2020. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): A literature review. *Journal of Infection and Public Health* 13(5): 667-673. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.03.019>.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2017. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) Resultados. [www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2017/doc/mini\\_ena17.pdf](http://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2017/doc/mini_ena17.pdf) (Junio 2020).
- Ludwing S and Zarbock A. 2020. Coronaviruses and SARS-CoV-2: A brief overview. *Anesthesia and Analgesia* 131(1):93-96. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004845>
- Martínez-Luz A, Cuevas-Castilleja J, López-Arzate MA, Ramírez-García IA y Ávila-Alistac N. 2020. Percepción de productores sobre manejo integrado y resiliencia productiva ante COVID-19. *Revista Mexicana de Fitopatología* 38(Suplemento): S140. <https://rmf.smf.org.mx/suplemento/Suplemento382020.html>
- Ciudades y Gobiernos Locales Unidos (CGLU). 2020. Tecnologías digitales y la pandemia de COVID-19. Experiencia de aprendizaje en vivo: Más allá de la respuesta inmediata al brote COVID-19. Informe y nota de aprendizaje. [https://www.uclg.org/sites/default/files/eng\\_briefing\\_technology\\_es.pdf](https://www.uclg.org/sites/default/files/eng_briefing_technology_es.pdf).
- Mendoza CX. 2018. Las Chinampas del Humedal de Xochimilco: Sistemas de Biorremediación para la Sostenibilidad. <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2019/02/TESIS-Mendoza-Correa-Ximena-Aide.pdf> (consulta julio 2020).
- Mora AG, Galindo MA y Quijano CJ. 2009. Proyecto de facilitación del tratado de libre comercio entre México y la UE. Componente Medidas Sanitarias y Fitosanitarias. Actividad C3A5-5. Estudio comparativo de la operación de sistemas de monitoreo, vigilancia y alerta de plagas de la UE y de México. México. 28p. <http://publico.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento=26907&IdUrl=68009&objeto=P%El%gina&IdObjetoBase=6080&down=true>.
- OMS, Organización Mundial de la Salud. 2020. COVID-19: Cronología de la actuación de la OMS. [www.who.int/es/news-room/detail/27-04-2020-who-timeline---covid-19](http://www.who.int/es/news-room/detail/27-04-2020-who-timeline---covid-19).
- Pérez CN. 2005. Manejo ecológico de plagas. Primera edición. CEDAR. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural. La Habana, Cuba. 296 p. [roa.ult.edu.cu/handle/123456789/2238](http://roa.ult.edu.cu/handle/123456789/2238) (consulta junio 2020).
- Kogan M and Bajwa WI. 1999. Forum Integrated pest management: a Global reality? *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 28(1): 1-25. <https://doi.org/10.1590/S0301-80591999000100001>
- SEDEREC. 2016. CDMX, guardiana de maíz nativo. Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades (SEDEREC). México. (Agosto, 2016). <https://www.sepi.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/la-cdmx-produce-mas-de-3-mil-toneladas-de-maiz-criollo-al-ano>
- Seleiman MF, Selim S, Alhammad BA, Alharbi BM and Juliatti FC. 2020. Will novel coronavirus (Covid-19) pandemic impact agriculture, food security and animal sectors? *Bioscience Journal* 36(4): 1315-1326. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v36n4a2020-54560>
- SSA, Secretaría de Salud. 2020. 077. Se confirma en México caso importado de coronavirus COVID-19. [www.gob.mx/salud/prensa/077-se-confirma-en-mexico-caso-importado-de-coronavirus-covid-19](http://www.gob.mx/salud/prensa/077-se-confirma-en-mexico-caso-importado-de-coronavirus-covid-19). (Junio 2020).

- Torres-Lima P and Rodríguez-Sánchez L. 2007. Farming dynamics and social capital: A case study in the urban fringe of Mexico City. *Environment Development Sustainability* 10:193-208. <http://dx.doi.org/10.1007/s10668-006-9059-y>
- Valadez RA. 2020. En riesgo jornaleros agrícolas por Covid-19 en Zacatecas. *La Jornada* (03 de julio 2020). <https://www.jornada.com.mx/ultimas/estados/2020/07/03/en-riesgo-jornaleros-agricolas-por-covid-19-en-zacatecas-4911.html>
- Vera CJ, López AF, Anguiano FM y Lizárraga CX. 2014. *Temas de la antropología mexicana vol. II*. Primera edición. Academia mexicana de ciencias antropológicas A.C. CDMX, México. 389p. [www.academia.edu/7377321/Temas\\_de\\_la\\_Antropolog%C3%ADa\\_Mexicana\\_II](http://www.academia.edu/7377321/Temas_de_la_Antropolog%C3%ADa_Mexicana_II)
- Vera-Sánchez K, Cadena-Iñiguez J, Latournerie-Moreno L, Santiaguillo-Hernández J, Rodríguez-Contreras A, Basurto-Peña F, Castro-Lara D, Rodríguez-Guzmán E, López-López P y Ríos-Santos E. 2016. *Conservación y utilización sostenible de las hortalizas nativas de México*. Primera edición. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas SNICS. Estado de México, México. 132p. [fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca\\_digital/conservacion-y-utilizacion-sostenible-de-las-hortalizas-nativas-de-mexico.pdf](http://fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca_digital/conservacion-y-utilizacion-sostenible-de-las-hortalizas-nativas-de-mexico.pdf)
- Zepeda-Jaso I. 2018. Manejo sustentable de plagas agrícolas en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo* 15(1): 99-108. [www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722018000100099#B16](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000100099#B16)

# Tomate (*Solanum lycopersicum*) production and bacterial canker management during COVID-19

## Producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*) y manejo del cancro bacteriano durante COVID-19

**Alfredo Reyes-Tena\***, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Colonia Ex Hacienda de San José de la Huerta, 58190 Morelia, Michoacán, Mexico; **Sylvia P. Fernández-Pavía**, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF), Km 9.5, carretera Morelia-Zinapécuaro, Tarímbaro, Michoacán, México. CP 58880; **Bárbara Hernández-Macías**, Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria-DGSV-SENASICA, Carretera Federal México-Pachuca Km 37.5, Tecámac, Estado de México, México. CP 55740. Corresponding author: eyesnator@hotmail.com

Received: February 02, 2021.

Accepted: April 15, 2021.

Reyes-Tena A, Fernández-Pavía SP and Hernández-Macías B. 2021. Tomate (*Solanum lycopersicum*) production and bacterial canker management during COVID-19. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 351-361.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-8>

**Abstract.** The tomato (*Solanum lycopersicum*) is part of the food basket of Mexicans and is the most consumed vegetable worldwide. Mexico is one of the main producer and exporter countries, the main market to export is the United States of America. The pandemic caused by the severe acute respiratory syndrome coronavirus (SARS-CoV-2) seriously affected the economy and consequently the production and distribution of basic foods, including tomatoes. This work summarizes the experiences derived from the production, detection and phytosanitary management of *Clavibacter*

**Resumen.** El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es parte de la canasta básica de los mexicanos y es la hortaliza más consumida en el mundo. México es uno de los principales países productores y exportadores, teniendo como mercado principal a los Estados Unidos de América. La pandemia causada por el coronavirus del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV-2) afectó gravemente la economía y en consecuencia la producción y distribución de alimentos básicos, incluido el jitomate. En el presente escrito, se resumen las experiencias derivadas de la producción, detección y manejo fitosanitario de *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* durante la temporada julio–diciembre 2020 en el cultivo de jitomate bajo macrotúnel localizado en Copándaro, Michoacán, México. La agricultura como actividad económica esencial en la producción de alimentos básicos, debe mantenerse activa al ser un proceso productivo no confinado, con bajo riesgo de contagio, y ser

*michiganensis* subsp. *michiganensis* during the July–December 2020 season in a tomato crop under macro tunnel located in Copándaro, Michoacán, Mexico. Agriculture, as an essential economic activity in the production of basic foods, must remain active as it is an unconfined productive process, with a low risk of contagion, and it's a necessary activity for the economic support of agricultural workers.

**Key words:** SARS-CoV-2, *Clavibacter michiganensis*, SVTE8444, macrotúnel

The novel coronavirus (SARS-CoV-2), cause of the *severe acute respiratory syndrome* (SARS) better known as COVID-19, appeared in the city of Wuhan, China in December of 2019. The virus spread globally at an incredible speed via international symptomatic or asymptomatic travelers, resulting in the ongoing pandemic (WHO, 2020), which has been a challenge to the world economy due to the closure or drastic reduction of unessential activities to reduce the risk of infection throughout the entire population (McKibbin and Roshen, 2020). The closure of wholesale and local markets, as well as the transborder mobility with the USA, with a strong incidence of COVID-19, has made vegetable trade and distribution in Mexico complicated. According to the Johns Hopkins University, up to January of 2021, the United States had 23.4 million cases positive to SARS-CoV-2 and over 389 thousand deaths. This situation caused the general reduction of economic activities and consequently, a crisis that led to the reduction in the shipment of vegetables from Mexico. This affected the production of tomato (*Solanum lycopersicum*) which, along with the chili pepper (*Capsicum* spp.), has the largest volume of export (Espitia *et al.*, 2020). Locally, Mexico experienced a similar crisis with the reduction in consumption levels, forcing

una actividad necesaria para el sustento económico de los trabajadores agrícolas.

**Palabras clave:** SARS-CoV-2, *Clavibacter michiganensis*, SVTE8444, macrotúnel

El nuevo coronavirus (SARS-CoV-2), causante de la enfermedad *síndrome respiratorio agudo severo* (SARS, por siglas en inglés), ampliamente conocido como COVID-19, surgió en la ciudad de Wuhan, China en diciembre de 2019. El virus se dispersó globalmente a una velocidad impresionante mediante viajeros internacionales sintomáticos o asintomáticos resultando en la pandemia actual (WHO, 2020), la cual ha representado un reto para la economía mundial debido al cierre o reducción drástica de actividades no esenciales para disminuir el riesgo de contagio en la población (McKibbin y Roshen, 2020). El cierre de centrales de abasto y mercados locales, así como la movilidad transfronteriza con EUA, con fuerte incidencia de COVID-19, ha complicado el comercio y distribución de hortalizas en México. De acuerdo con la Universidad Johns Hopkins, hasta enero de 2021, EUA tenía de 23.4 millones de casos positivos a SARS-CoV-2 y más de 389 mil muertes. Esta situación provocó reducción de las actividades económicas de manera general y en consecuencia una crisis que conllevó a la reducción del envío de hortalizas desde México. Esto afectó la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*), que junto con el chile (*Capsicum* spp.), ocupan el mayor volumen de exportación (Espitia *et al.*, 2020). A nivel local, México experimentó una crisis similar al disminuir el nivel de consumo, provocando que los productores tuvieran que reducir el valor de sus cosechas. Lo anterior, aunado a escasez de insumos agrícolas, ocasionado por cierre de fábricas y de cadenas de distribución, incrementó el costo productivo afectando de manera directa la economía de productores.



farmers to lower the cost of their harvests. This, in addition to a scarcity of agricultural inputs caused by the closure of factories and distribution chains, increased the productive cost, affecting farmers' economies directly.

Mexico is the country with the highest tomato exports in the world, with 33% of global exports (Álvarez-Medina *et al.*, 2017). The states with the highest production rates are Sinaloa, Chiapas, Jalisco, Michoacán, Tamaulipas and Veracruz, which account for 38.8% of the production of the country (SADER, 2021). Like most agricultural activities in the country, in Michoacán, although the surface planted with this crop was reduced, it continued in the main production areas, composed of the municipal areas of Apatzingán, Carácuaro, Copándaro, Tacámbaro, Tanhuato and Yurécuaro. The aim of this investigation was to display the results of an investigation related to the management of bacterial canker carried out in a commercial field owned by a tomato farmer during lockdown and the interruption of in-person activities in the UMSNH.

### **Establishment of tomato planting and health**

The experiment was established with the variety SVTE8444 (Semini<sup>®</sup>) in a 1.3 ha field with 90% of the plantation under a plastic macro tunnel. The remaining 10% was kept in the open due to the heterogenous characteristics of the field and the geometry of the land. A fertigation system was used, with drip tape (30 cm between droppers) with an irrigation frequency as required by the crop. The setup took place between July and December of 2020 in the municipal area of Copándaro, Michoacán at an elevation of 1870 masl, a subhumid temperate climate with rains in the summer (Cw) (w), an average annual rainfall of 741-959 mm and an average annual temperature between 16 and 18 °C (Hurtado-Rico *et al.*, 2006). The agricultural

México es el principal país exportador de jitomate en el mundo con el 33% de exportaciones globales (Álvarez-Medina *et al.*, 2017), los principales estados productores son Sinaloa, Chiapas, Jalisco, Michoacán, Tamaulipas y Veracruz los cuales concentran el 38.8% de la producción nacional (SADER, 2021). Como la amplia mayoría de las actividades agrícolas en el país, en Michoacán, aunque se redujo la superficie sembrada, el cultivo de esta hortaliza continuó en las principales zonas de producción que comprenden los municipios de Apatzingán, Carácuaro, Copándaro, Tacámbaro, Tanhuato y Yurécuaro. Este trabajo tuvo como propósito mostrar los resultados de una investigación, relativa al manejo del cancro bacteriano, desarrollada en un predio comercial de un productor de jitomate durante la fase de confinamiento y la interrupción de las actividades presenciales en la UMSNH.

### **Establecimiento de plantación y fitosanidad de jitomate**

El experimento se estableció con la variedad SVTE8444 (Semini<sup>®</sup>) en una parcela de 1.3 ha con 90% de la plantación bajo macrotúnel de plástico. El 10% restante se mantuvo a campo abierto debido a las características heterogéneas de la parcela y la geometría del terreno. Se empleó un sistema de fertirriego mediante cintillas de goteo (30 cm entre goteros) con frecuencia de riego según requerimientos del cultivo. El cultivo se desarrolló de julio a diciembre 2020 en el municipio de Copándaro, Michoacán a 1870 msnm, clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw)(w), precipitación media anual de 741-959 mm y temperatura promedio anual entre 16 y 18 °C (Hurtado-Rico *et al.*, 2006). El personal agrícola empleado acató las medidas sanitarias establecidas por la Secretaría de Salud del gobierno federal para prevenir el

staff followed the health measures established by the Secretariat of Health of the Federal Government to prevent the spreading of SARS-CoV-2, such as the use of face masks, a social distance of 1.5m between individuals and frequent hand washing. The main phytosanitary activities included the trimming of axillary buds with scissors 20 days after transplanting; fluopicolide and propamocarb in drench to prevent diseases caused by oomycetes in the soil; gentamicin and oxytetracycline to prevent airborne bacterial diseases; and the application of flupyradifurone, thiamethoxam, cyantraniliprole, abamectin and bifenthrin against the main insect pests, such as whiteflies (*Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum*), leaf miners (*Liriomyza* sp.) and thrips (*Frankiniella occidentalis*). Seven days after transplanting, damping off was found, with an incidence of 25%, due to which it became necessary to purchase another 5000 plants from another supplier in the municipal area of Yurécuaro, Michoacán, and Infinito (fluopicolide + propamocarb) (Bayer®) was applied in drench, reducing the incidence of the disease down to 4%. During the development of the crop, according to the empirical knowledge of the farmer and to the book “Diseases of the tomato”, originally ‘Enfermedades del tomate’ (Blancard *et al.*, 2011), the following diseases were found, with an incidence below 1%: damping off, stem rot, pith necrosis, and a viral disease putative to the *Cucumber mosaic virus*.

### Detection and management of the bacterial canker

Fifty days after transplanting, with constant rainfalls, a relative humidity >90% and a temperature between 20 and 32 °C, whitish lesions were found on the edges of the leaves with an incidence of 10% (Figure 1A), which evolved

contagio de SARS-CoV-2, como uso de cubrebocas, *sana distancia* de 1.5 m entre personas y lavado frecuente de manos. Las principales actividades de manejo fitosanitario incluyeron: poda de yemas axilares con tijeras 20 días después del trasplante; fluopicolide y propamocarb en ‘drench’ para prevención de enfermedades causadas por inóculo de oomycetes presente en suelo; gentamicina y oxitetraciclina para la prevención de enfermedades bacterianas aéreas; y aplicación de flupyradifurone, tiametoxam, cyantraniliprole, abamectina y bifentrina para el manejo de las principales plagas insectiles como mosca blanca (*Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum*), minador (*Liriomyza* sp.) y trips (*Frankiniella occidentalis*). Siete días después del trasplante se tuvo ‘damping off’ con incidencia del 25%, por lo cual fue necesario adquirir 5000 plantas adicionales de otro proveedor del municipio de Yurécuaro, Michoacán, y se aplicó Infinito (fluopicolide + propamocarb) (Bayer®) en ‘drench’, reduciéndose hasta en 4% la incidencia de la enfermedad. Durante el desarrollo del cultivo, de acuerdo al conocimiento empírico del productor y al libro ‘Enfermedades del Jitomate’ (Blancard *et al.*, 2011), se detectaron las siguientes enfermedades con una incidencia menor al 1%: ‘damping off’, podredumbre del tallo, mancha negra de la médula y una enfermedad viral putativa al *Cucumber mosaic virus*.

### Detección y manejo del cancro bacteriano

Cincuenta días después del trasplante, con ocurrencia de lluvias constante, >90% de humedad relativa y temperatura entre 20-32 °C se detectaron lesiones blanquecinas en los bordes de las hojas con un 10% de incidencia (Figura 1A), las cuales evolucionaron a lesiones cloróticas (Figura 1B). En plantas expuestas a cielo abierto, las lesiones se tornaron necróticas con apariencia de tizón foliar



**Figure 1.** Symptoms of bacterial canker (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) on a tomato plant, variety SVTE8444 in Copándaro, Michoacán, Mexico: A) whitish lesions on the edge of the leaflets; B) chlorotic lesions on the edges of the leaflets; C) necrotic lesions with the appearance of marginal blight on leaflets; D) whitish spots on fruits; E) production of fruits from healthy and diseased fruits inside the macro tunnel; F) death of plants in the open field.

**Figura 1.** Síntomas de cancro bacteriano (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) en una plantación de jitomate variedad SVTE8444 en Copándaro, Michoacán, México: A) lesiones blanquecinas en el borde de los foliolos; B) lesiones cloróticas en el borde de los foliolos; C) lesiones necróticas con aspecto de tizón marginal en foliolos; D) manchas blanquecinas en frutos; E) producción de frutos de plantas sanas y enfermas bajo cubierta; F) muerte de plantas expuestas a cielo abierto.



into chlorotic lesions (Figure 1B). In plants in the open field, the lesions turned necrotic, with the appearance of leaf blight (Figure 1C). Fruits were also found to have whitish spots with a dark center (Figure 1D). Eighty days after transplanting, the plants in the open field displayed greater damage due to the disease with necrotic lesions on sections of the stem (Figure 1F). The distribution of diseased plants was heterogenous in the crop. The characteristics of the lesions coincided with the description of the bacterial canker in tomato (Sen *et al.*, 2015). Samples of foliar, stem and fruit tissue with symptoms of *bacterial canker* were collected and taken to the Phytopathology Laboratory of the Guanajuato State Plant Health Committee (Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Guanajuato - CESAVEG) for processing and to determine the causal agent using the ELISA immunology test adapted by the CESAVEG (MA-LDF-#2B; MA-LDF-1V). The results confirmed the causal agent of the disease to be *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (Cmm).

For the management of the disease, kasugamycin, oxytetracycline, gentamicin and copper hydroxide-based bactericides were applied every seven days, and up to one week before harvest, in the doses recommended by the manufacturer. In addition, the nbelyax-based product *Nanoagro solutions* Exodus Max<sup>®</sup> was used at 15%, which is recommended for bacterial diseases in tomato plants (Nanoagro, 2020). The furrows with diseased plants were labelled using red stakes to avoid manipulating them, since it is a disease that is mainly transmitted mechanically. Ninety days after the transplant, all plants were partially defoliated to obtain an even maturation and to improve ventilation. This activity was performed using cotton wool gloves soaked with the product Microdyn<sup>®</sup>, made of an ionized silver solution and bidistilled water. Following the dose recommended by the manufacturer, the

(Figura 1C). También se registraron frutos con manchas blanquecinas con centro oscuro (Figura 1D). A 80 días después del trasplante las plantas que se encontraban en exposición a cielo abierto mostraron mayor daño a causa de la enfermedad con lesiones necróticas en secciones del tallo (Figura 1F). La distribución de las plantas enfermas fue heterogénea en el cultivo. Las características de las lesiones coincidieron con la descripción del *cancro bacteriano* del jitomate (Sen *et al.*, 2015). Muestras de tejido foliar, tallo y frutos con síntomas de *cancro bacteriano* se colectaron y se llevaron al Laboratorio de Fitopatología del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Guanajuato (CESAVEG) para su procesamiento y determinación del agente causal mediante la prueba inmunológica ELISA adaptadas por el CESAVEG (MA-LDF-#2B; MA-LDF-1V). Los resultados de confirmaron al agente causal de la enfermedad como *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (Cmm).

Para el manejo de la enfermedad se aplicaron cada siete días, y hasta una semana antes de la cosecha, bactericidas a base de kasugamicina, oxitetraciclina, gentamicina e hidróxido de cobre de acuerdo a dosis recomendada por el fabricante. Adicionalmente, se empleó el producto Exodus Max<sup>®</sup> de *Nanoagro solutions* a base de nbelyax al 15% el cual está recomendado para enfermedades bacterianas en jitomate (Nanoagro, 2020). Los surcos que presentaron plantas enfermas se marcaron con estacas de color rojo para evitar su manipulación al ser una enfermedad que se transmite principalmente por vía mecánica. Noventa días después del trasplante, todas las plantas se deshojaron parcialmente para obtener una maduración uniforme y mejorar la ventilación. Esta actividad se realizó empleando guantes de tela de algodón empapados con el producto Microdyn<sup>®</sup>, compuesto a base de una solución de plata ionizada y agua bidestilada. De acuerdo a la dosis del fabricante, se aplicó el



product was applied into plastic containers with 10 L of water, and the gloves were then submerged for 5 min; the agricultural staff submerged the gloves into the Microdyn® solution every 10 min to avoid the accumulation of culture-forming units and the transmission to healthy plants. Starting on day 95 after transplanting, the harvest began, leaving symptomatic plants until the end. The harvest period lasted until 190 days after transplant.

### **Productive loss putative to the bacterial canker**

The aggressiveness of the disease was less in plants covered by the macro tunnel. During the harvest period, the intensity of the damage to these plants did not increase, maintaining a similar production to healthy plants (Figure 1E); the plants in the open field died 120 days after transplanting (Figure 1F). The average crop yield obtained was 130 t ha<sup>-1</sup>, which represents a loss in production of 10% in comparison with the yield obtained in the same season in 2019 (144 t ha<sup>-1</sup>).

The variety SVTE8444 is robust and the technical datasheet reports a wide spectrum in tolerance/resistance to fungal, viral pathogens or others caused by nematodes. This study displayed susceptibility to damping off and an apparent tolerance to Cmm under the macro-tunnel, since the genetic effect was complemented with bactericides; however, it was susceptible in plants in the open field. This contrasts with reports of greater damage taking place in covered plants (Blancard *et al.*, 2011). The nbelyax-based bactericide proved to be efficient in reducing the aggressiveness of the disease under the macro tunnel, yet it was not efficient on the plants in the open field. Therefore, further studies are required to determine if the reduction in the aggressiveness is an effect of the nbelyax or of the protective cover of the macro tunnel, which helps avoid the

producto en recipientes de plástico con 10 L de agua y posteriormente los guantes se sumergieron durante 5 min; el personal agrícola sumergió los guantes en la solución Microdyn® cada 10 m para evitar la acumulación de unidades formadoras de colonias impidiendo la transmisión a plantas sanas. A partir de 95 días después del trasplante se comenzó con la cosecha dejando al final las plantas con síntomas. El periodo de cosecha culminó a los 190 días después del trasplante.

### **Pérdida productiva putativa al cancro bacteriano**

La agresividad de la enfermedad fue menor en plantas bajo macrotúnel. Durante el periodo de cosecha no incrementó la intensidad del daño en esas plantas enfermas manteniéndose una producción similar a plantas sanas (Figura 1E); las plantas que se encontraban a cielo abierto murieron a los 120 días después del trasplante (Figura 1F). El rendimiento promedio obtenido del cultivo fue de 130 t ha<sup>-1</sup>, lo cual representó una disminución en la producción del 10% con respecto al rendimiento obtenido en la misma temporada en 2019 (144 t ha<sup>-1</sup>).

La variedad SVTE8444 es robusta y la ficha técnica reporta amplio espectro en tolerancia/resistencia a patógenos fúngicos, virales y nematodos. El presente estudio demostró susceptibilidad a ‘damping off’ y aparente tolerancia a Cmm bajo cubierta de macrotúnel ya que se complementó el efecto genético con bactericidas; no obstante, fue susceptible en plantas expuestas a cielo abierto. Esto contrasta con reportes donde se ha documentado mayor daño bajo cubierta (Blancard *et al.*, 2011). El bactericida a base de nbelyax demostró ser eficaz en disminuir la agresividad de la enfermedad bajo macrotúnel, sin embargo, no fue eficaz en las plantas a cielo abierto. Por lo tanto, se requieren estudios posteriores para determinar si la disminución de la agresividad de la enfermedad es por

accumulation of rainwater and dew on leaves, both of which are factors that favor the development of bacterial canker (Blank *et al.*, 2016; de León *et al.*, 2011). On the other hand, the use of cotton wool gloves soaked with Microdyn<sup>®</sup> was able to reduce the transmission of the disease during defoliation, since no new diseased plants were registered during the harvest period (October-December). There are no studies on the application of ionized silver solutions for the management of bacterial diseases in plants, therefore experiments must be carried out to determine their efficiency under controlled conditions. The 10% reduction in the productive yield and the incidence of bacterial canker, with the plant health management described, contrasts with reported losses of over 50% and incidences of 70 to 100% (Frías-Pizano *et al.*, 2016; Lamichhane *et al.*, 2011). It was not possible to determine the origin of the strain found in the tomato plants. According to the experience of farmers, this is the first time Cmm was found in plantations in Copándaro, although it was previously reported in Zamora, Michoacán (Frías-Pizano *et al.*, 2016). It is possible that some of the plants acquired for replanting were infected. However, this is difficult to determine, since the plants don't normally present symptoms until the flowering stage and one of their mechanisms of transmission is via the seeds (Blancard *et al.*, 2011).

### **Effect of COVID-19 on the price of tomato**

The COVID-19 pandemic had a direct effect on the price of tomato in national and American markets, where the reduction in the number of consumers in sales points lowered the price by up to 50% in comparison with previous years (SMATTCOM, 2021). The economic recession caused by the reduction in non-essential economic activities in Mexico and the USA produced an oversupply of tomato in the main markets. This led

efecto de nbelyax o por la cubierta protectora del macrotúnel, el cual ayuda a evitar la acumulación del agua de lluvia y el rocío en las hojas, factores que favorecen el desarrollo del cancro bacteriano (Blank *et al.*, 2016; de León *et al.*, 2011). Por otro lado, el uso de guantes de tela de algodón impregnados con Microdyn<sup>®</sup> pudo reducir la transmisión de la enfermedad durante el deshoje al no registrarse nuevas plantas enfermas durante el periodo de cosecha (octubre-diciembre). No existen estudios acerca de la aplicación de soluciones de plata ionizada para el manejo de enfermedades bacterianas en plantas, por lo cual es necesario realizar experimentos para determinar su eficacia en condiciones controladas. La disminución del 10% en el rendimiento productivo y la incidencia del *cancro bacteriano*, con el manejo fitosanitario descrito, contrasta con pérdidas reportadas superiores al 50% e incidencias entre el 70 al 100% (Frías-Pizano *et al.*, 2016; Lamichhane *et al.*, 2011). No fue posible determinar el origen de la cepa detectada en el cultivo de jitomate. De acuerdo a la experiencia de los productores esta es la primera vez que se detecta Cmm en cultivos de Copándaro, aunque previamente fue reportada en Zamora, Michoacán (Frías-Pizano *et al.*, 2016). Es posible que plantas adquiridas para replantar estuviesen infectadas. Sin embargo, esta afirmación es difícil de determinar debido a que las plantas normalmente no manifiestan síntomas hasta la etapa de floración y uno de sus mecanismos de transmisión es por medio de semilla (Blancard *et al.*, 2011).

### **Efecto COVID-19 en precio de jitomate**

La pandemia COVID-19 tuvo un efecto directo en el precio del jitomate en mercados nacionales y EUA, donde la disminución de consumidores en punto de venta redujo hasta en 50% el precio en comparación con años anteriores (SMATTCOM, 2021). La recesión económica generada por la

to the reduction in the price of the crop in November and December, when prices tend to be highest. The advancement in vaccination campaigns against SARS-CoV-2, which began in Mexico on December 24th, 2020, along with the gradual reopening of socioeconomic and educational activities, could reactivate the demand for tomato and improve sales prices in the 2021 cycle, benefitting farmers.

### **Productive perspectives in the light of the bacterial canker**

The management of diseases in crops such as tomato, which is susceptible to diverse genera of pathogens, was a challenge when obtaining inputs and products for the preventive management became difficult. The services provided by plant health diagnosis laboratories was valuable to apply management strategies for the relevant diseases. This work reports the presence of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* for the first time in tomato plantations in Copándaro, Michoacán. This crop, in the productive areas of the region, must be produced following under strict guidelines to prevent its spread into pathogen-free fields. These include crop rotation for 5 years after finding the presence of the pathogen; the use of certified seed; the establishment of seedbeds in disease-free areas or nurseries; and the disinfection of tilling material and work tools.

### **Perspectives in the light of COVID-19**

In general terms, it was an atypical year for vegetable farmers throughout the country due to the uncertainty in the market caused by COVID-19. Farmers related to a primary economic activity kept themselves active by investing and providing jobs to rural communities. In the case of this study in particular, agricultural workers have no stable jobs and have the need to work in agricultural fields

disminución de las actividades económicas no esenciales en México y EUA provocó una sobreoferta de jitomate en los principales mercados. Esto condujo al abaratamiento del producto durante noviembre y diciembre cuando normalmente se registran los precios más elevados. El avance en las campañas de vacunación contra SARS-CoV-2, iniciadas el 24 de diciembre 2020 en México, en adición a la reapertura gradual de actividades socio-económicas y educativas podría reactivar la demanda de jitomate y mejorar precios de venta en el ciclo 2021 beneficiando al productor.

### **Perspectivas productivas ante el cancro bacteriano**

El manejo de enfermedades en cultivos como el jitomate, el cual es susceptible a diversos géneros de patógenos representó un reto ante la dificultad de conseguir insumos y productos para el manejo preventivo. La prestación de servicios por parte de laboratorios de diagnóstico fitosanitario durante la pandemia ha sido valiosa para aplicar estrategias de manejo de las enfermedades pertinentes. En este trabajo reportamos por primera vez la presencia de *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* en cultivo de jitomate de Copándaro, Michoacán. La producción de esta hortaliza en las zonas productivas de la región deberá realizarse bajo estrictas medidas de prevención para evitar su diseminación a terrenos libres del patógeno. Estas incluyen rotación de cultivos por un intervalo de 5 años después de detectar la presencia del patógeno; uso de semilla certificada; establecer almácigos en zonas o viveros libres de la enfermedad; y desinfección del material de labranza y herramientas de trabajo.

### **Perspectivas ante COVID-19**

De manera general, fue un año atípico para productores de hortalizas a nivel nacional debido a la

whenever they are required. One advantage of the place of study was the low number of infections at a municipal level, with 50 positive cases in the period between July and December 2020, which represented 0.48% of the municipal area's total population and el 0.16% of the total of people infected in the state of Michoacán (SALUD, 2021). Another measure that helped avoid infections was that workers that traveled to the work area did so individually and they were not allowed into the macro tunnel if they were suspected of having symptoms of COVID-19. Inside the macro tunnel, the workers were given one furrow each, which were separated by 1.8 m, considered safe, according to the social distancing measures implemented by the federal government (GOBMX 2021). Another important aspect was that 3 to 8 workers were normally hired for the different activities of the productive cycle to avoid the overcrowding of staff in the work area. This experience suggests that agricultural activities must continue, with the use of recommended measures, since it is an unconfined productive process, it has a low risk of spreading due to it being mostly carried out in the open and with exposure to sunlight, and being a necessary activity for the economic sustenance of agricultural workers, who work temporarily and have limited access to public health services.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank MC. Juan Luis Marín León for his advice in the detection and management of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, as well as to farmer Gerardo Reyes Tena for providing his field so we could carry out our work.

incertidumbre del mercado a causa de COVID-19. Los productores del campo, asociados a una actividad económica primaria, se mantuvieron activos invirtiendo y proporcionando fuente de empleo a comunidades rurales. En el caso particular del presente estudio, los trabajadores agrícolas no poseen un empleo fijo y tienen la necesidad de acudir a los campos agrícolas cuando son requeridos. Una ventaja del lugar de estudio fue el bajo número de contagios a nivel municipal, registrándose 50 casos positivos en el período de Julio-Diciembre 2020, lo que representó una proporción del 0.48% del total de la población del municipio y el 0.16% del total de infectados en Michoacán (SALUD, 2021). Otra medida que ayudó a evitar contagios fue que los trabajadores se trasladaban principalmente de manera individual al área de trabajo y no se les permitía el ingreso al macrotúnel si presentaban síntomas sospechosos de COVID-19. Dentro del macrotúnel, los trabajadores se distribuían uno por surco, los cuales estaban separados por 1.8 m de distancia, considerada segura de acuerdo a las medidas de *sana distancia* implementadas por el gobierno federal (GOBMX, 2021). Otro aspecto importante fue que normalmente se empleaban entre 3 y 8 trabajadores para las diversas actividades del ciclo productivo, evitando así la saturación de personal en el área de trabajo. Esta experiencia, sugiere que la actividad agrícola, aplicando las medidas preventivas recomendadas, debe mantenerse activa en zonas rurales al ser un proceso productivo no confinado, representar bajo riesgo de contagio por la aeración y exposición solar, y ser una actividad necesaria para el sustento económico de los trabajadores agrícolas, con ocupación temporal y limitado acceso a servicios de salud pública.



## LITERATURE CITED

- Álvarez-Medina MT, Núñez-Ramírez MA and Wendlant-Amezaga TR. 2017. Caracterización de la cadena de valor del tomate rojo fresco en México. *Revista Global de Negocios* 5(3): 45-58. <http://www.theibfr2.com/RePEc/ibfr/rgnego/rgn-v5n3-2017/RGN-V5N3-2017.pdf#page=47>
- Blancard D, Laterrot H, Marchoux G and Candresse T. 2011. Enfermedades del tomate, identificar, conocer, controlar. Edición española. ISBN: 9788484764274.
- Blank L, Cohen Y, Borenstein M, Shulhani R, Lofthouse M, Sofer M and Shtienberg D. 2016. Variables associated with severity of bacterial canker and wilt caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* in tomato greenhouses. *Phytopathology* 106(3): 254-261. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-15-0159-R>
- de León L, Siverio F, López MM and Rodríguez A. 2011. *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, a seedborne tomato pathogen: healthy seeds are still the goal. *Plant Disease* 95(11): 1328-1339. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-11-0091>
- Espitia A, Rocha N and Ruta M. 2020. Covid-19 and food protectionism: the impact of the pandemic and export restrictions on world food markets. *Policy Research Working Papers*. <http://dx.doi.org/10.1596/1813-9450-9253>
- Frías-Pizano J, Acosta-García G, Sánchez-Rico KF, González-Chavira MM, Guevara-González RG, Torres-Pacheco I and Guevara-Olvera L. 2016. Detección de *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* por PCR en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(6): 1347-1357. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/182/160>
- GOBMX. 2021. Susana distancia. <https://coronavirus.gob.mx/susana-distancia/> (consultada, enero 2021).
- Hurtado-Rico NE, Rodríguez-Jiménez C and Aguilar-Contreras A. 2006. Estudio cualitativo y cuantitativo de la flora medicinal del municipio de Copándaro de Galeana, Michoacán, México. *Polibotánica* 22. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682006000200021](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682006000200021)

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al MC. Juan Luis Marín León por su asesoría en la detección y manejo de *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. Al productor Gerardo Reyes Tena por facilitar la parcela para la conducción de este trabajo.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Lamichhane JR, Balestra GM and Varvaro L. 2011. Severe outbreak of bacterial canker caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* on tomato in central Italy. *Plant Disease* 95(2): 221-221. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-10-0635>
- McKibbin WJ and Roshen F. 2020. The global macroeconomic impacts of COVID-19: seven scenarios. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3547729>
- Nanoagro, 2020. Exodus max, fungicida, bactericida. <https://www.nanoagro-solutions.com/exodusmax.html>. Consulta, enero 2021.
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2020. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. <https://www.gob.mx/siap>. Consulta, enero 2021.
- SALUD, Secretaría de Salud de Michoacán. 2021. COVID-19 Michoacán, <https://covid19.srs.care/#/michoacan>. Consulta, enero 2021.
- Sen Y, van del Wolf J, Visser RGF and van Heusden S. 2015. Bacterial canker of tomato: current knowledge of detection, management, resistance and interactions. *Plant Disease* 99(1): 4-13. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-05-14-0499-FE>
- SMATTCOM. 2020. Comercio inteligente para el agro. <https://www.smatcom.com/precio-productos-agricolas/precio-tomate-saladet>. Consulta, enero 2021.
- WHO, World Health Organization. 2020. Coronavirus disease (COVID-19). <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20201012-weekly-epi-update-9.pdf>. Consulta, enero 2021.

Effect of COVID-19 on the phytosanitary condition and commercialization of avocado in Jalisco

Efecto de COVID-19 en la fitosanidad y comercio del aguacate en Jalisco

Cecilio Castañeda-Cabrera, Catarino Perales-Segovia*, Tecnológico Nacional de México, Km. 18 Carretera Ags. - SLP, El Llano Aguascalientes, C.P. 20330; Mario A. Miranda-Salcedo, INIFAP Apatzingán, Km. 17.5, Carretera Apatzingán-Cuatro Caminos, Apatzingán, Michoacán, C.P. 60781; Ernesto González Gaona, INIFAP, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, C.P. 20660 *Corresponding author: cperales55@hotmail.com

Received: February 28, 2021.

Accepted: April 20, 2021.

Castañeda-Cabrera C, Perales-Segovia C, Miranda-Salcedo MA and González-Gaona E. 2021. Effect of COVID-19 on the phytosanitary conditions and commercialization of avocado in Jalisco. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 362-371.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-17>

Abstract. Avocado crop (*Persea americana*) in Ciudad Guzmán, Jalisco, Mexico, is affected by pests and diseases that have worsened with the COVID-19 (SARS-CoV-2) pandemic. Damage to fruits has increased due to the reduction of the workforce by more than half, which restricts crop sampling and the timely control of pests. Furthermore, the closure of businesses and the consequent lack of agricultural inputs have affected the management and profitability of avocado crop. The restricted access to markets such as Monterrey, Mexico City and Guadalajara has also affected avocado availability.

Key words: SARS-CoV-2, agriculture, fruit cultivation, plant health

Resumen. El cultivo de aguacate (*Persea americana*) en Ciudad Guzmán, Jalisco, México, es afectado por plagas y enfermedades que se han agudizado con la pandemia del COVID-19 (SARS-CoV-2). Los daños en frutos han aumentado por la reducción a más de la mitad de la fuerza laboral, limitando el muestreo y el control oportuno de las plagas. Además, el cierre de negocios y la consecuente falta de agro insumos ha limitado el manejo y rentabilidad del cultivo de aguacate. El cierre del acceso a los mercados como Monterrey, Ciudad de México y Guadalajara ha afectado también la disponibilidad del aguacate.

Palabras claves: SARS-CoV-2, agricultura, fruticultura, sanidad vegetal

La enfermedad COVID-19

La enfermedad COVID-19, causada por el coronavirus SARS-CoV-2, ocasiona afecciones al sistema respiratorio que incluyen síntomas similares a un resfriado con fiebre, dolor de articulaciones

COVID-19 disease

The COVID-19 disease, caused by the SARS-CoV-2 coronavirus, affects the respiratory system, producing symptoms similar to those of a cold with fever, joint and headache pain, and even oxygenation difficulties, which may lead to hospitalization and intubation in severe cases. In people with chronic degenerative problems such as diabetes, hypertension, and obesity, or with pneumonic affectations, infection with SARS-CoV-2 can produce clinical complications that increase the risk of death. SARS-CoV-2 is an RNA virus of zoonotic origin that was first observed in chiropterans and later mutated to infect humans. It appeared in China's Wuhan province in December 2019 and is currently distributed throughout the world. It was officially declared a pandemic on March 11, 2020, by the World Health Organization (WHO). Mexico adopted health emergency measures on March 20 of the same year (DOF, 2020). As of February 8, 2021, 105 million positive cases of SARS-CoV-2 and 2.3 million deaths had been reported worldwide (WHO, 2021). In Mexico, 2.13 million positives and 192866 deaths were estimated by that time (SSa, 2021). Nine months later, at press time, Mexico recorded 3.78 million cases and 286 thousand deaths, an increase of 69 and 48%, respectively, despite an active vaccination program (Editor's Note). The COVID-19 pandemic has affected the labor and productive sectors in several ways: 1) the amount of employment (both in terms of unemployment and underemployment); 2) the quality of work (with respect to wages and access to social protection); 3) the ability of the most vulnerable groups to stay afloat in the face of the adverse consequences in the labor market (ILO, 2020).

y cabeza, hasta dificultades para oxigenar adecuadamente pudiendo requerirse hospitalización e intubación en casos graves. La infección viral en personas con problemas crónico-degenerativos como diabetes, hipertensión y obesidad, y con afectaciones neumónicas, pueden surgir complicaciones clínicas incrementando el riesgo de muerte. El SARS-CoV-2 es un virus de ARN de origen zoonótico que se presentó primero en quirópteros y posteriormente mutó para infectar humanos. Apareció en la provincia de Wuhan en China en diciembre de 2019 y actualmente está distribuido en el mundo. Fue oficialmente declarada pandemia el 11 de marzo 2020 por la Organización Mundial de la Salud (OMS). México adoptó lineamientos de emergencia sanitaria el 20 de marzo del mismo año (DOF, 2020). Al 8 de febrero 2021 se reportaron 105 millones de casos positivos a SARS-CoV-2 y 2.3 millones de muertes a nivel mundial (OMS, 2021), mientras que en México se estimaron 2.13 millones de positivos y 192866 muertes (SSa, 2021). Nueve meses después, al cierre de la edición, México registraba 3.78 millones de casos y 286 mil decesos, un incremento del 69 y 48 %, respectivamente, a pesar de un programa de vacunación activo (Nota del Editor). Las consecuencias de COVID-19 en el entorno laboral y productivo se estimó que podría impactar en: 1) la cantidad de empleo (tanto en materia de desempleo como de subempleo); 2) la calidad del trabajo (con respecto a los salarios y el acceso a protección social); y 3) los efectos en los grupos específicos más vulnerables frente a las consecuencias adversas en el mercado laboral (OIT, 2020).

La actividad agrícola en la contingencia COVID-19

En el contexto de la emergencia COVID-19, el Gobierno Mexicano consideró como actividad

Agricultural activity during the COVID-19 contingency

In the context of the COVID-19 emergency, the Mexican Government considered agriculture, together with the inputs and supply chains associated with it, like an essential activity (DOF, 2020). This included agricultural labor, fuel, seeds, fertilizers, chemical, and organic synthesis pesticides, biopesticides, and the production of biological control agents such as fungi, bacteria, insects, and mites. In Mexico, 38 crops are considered of strategic importance from a socio-economic perspective (SRE, 2016). However, the Mexican agricultural production is more extensive due to the diversity of agroecosystems, cultivated plants, and culinary tradition, with a productive reserve of 2,500 species of plants. Although the human diet throughout the world is traditionally based mainly on wheat (*Triticum aestivum*), rice (*Oryza sativa*), and corn (*Zea mays*) (UNCSN, 2020), other products have become part of the diet of many people as food supplements as a consequence of globalization. One of these products is avocado (*Persea americana*), which is native to Mesoamerica and currently among the 10 most important crops worldwide. Mexico is the main supplier, with a cultivated area of 231 thousand hectares and an annual production of 2.3 million tons (SIAP, 2019). Michoacán, the largest avocado-producing state in Mexico, has 28 to 30 thousand producers and 64 packing plants. In this state, avocado production generates an annual income of 2.7 billion dollars and 400 thousand jobs (APEAM, 2020). Michoacan accounts for 34% of the international market for this fruit (SADER, 2019). Avocado is an important food supplement that provides a rich source of vitamins and minerals (Rajendran *et al.*, 2017; SRE, 2016; Atlas Agroalimentario, 2018; SIAP, 2019). The nutraceutical properties of avocado block the

esencial a la agricultura, sus insumos y cadenas de aprovisionamiento (DOF, 2020). Esto incluye mano de obra, combustibles, semillas, fertilizantes, plaguicidas de síntesis química y orgánica, bio-plaguicidas, producción de agentes de control biológico como hongos, bacterias, insectos y ácaros. En México, 38 cultivos se consideran estratégicos desde la perspectiva socio-económica (SRE, 2016). Sin embargo, la oferta agrícola mexicana es más amplia debido a la diversidad de agroecosistemas, plantas cultivadas y culturas culinarias, contando con un acervo productivo de 2,500 especies de plantas. Aunque nivel mundial la dieta tradicional humana se basa principalmente en trigo (*Triticum aestivum*), arroz (*Oryza sativa*) y maíz (*Zea mays*) (UNCSN, 2020), la globalización ha permitido la integración de otros productos como complementos alimenticios. Uno de estos productos es el aguacate (*Persea americana*), nativo de Mesoamérica, el cual se ubica actualmente entre los 10 cultivos más importantes en el mundo. México es el principal proveedor con 231 mil hectáreas y una producción anual de 2.3 millones de toneladas (SIAP, 2019). Michoacán, la principal entidad federativa productora de este frutal con 28 a 30 mil productores y 64 empacadoras, produce una derrama económica de 2,700 millones de dólares y genera 400 mil empleos (APEAM, 2020). Aporta el 34 % del mercado internacional de esta fruta (SADER, 2019). El aguacate contribuye al aporte de vitaminas y minerales en la dieta complementaria humana (Rajendran *et al.*, 2017; SRE, 2016; Atlas Agroalimentario, 2018; SIAP, 2019). Las propiedades nutraceuticas del aguacate permiten bloquear la reducción de concentraciones de óxido nítrico y de peroxidación de lípidos, clave para la función del sistema inmunológico, y como antioxidante al disminuir formas reactivas de oxígeno (Raya-Farías *et al.*, 2018). El alto contenido en grasas no saturadas permite la extracción de aceites para la industria cosmética y farmacéutica.

reduction of nitric oxide and has a protective effect against lipid peroxidation, a key contribution to the well-functioning of the immune system. It also acts as an antioxidant by reducing reactive forms of oxygen (Raya-Farías *et al.*, 2018). Its high content of unsaturated fats makes it a rich source of oils for the cosmetic and pharmaceutical industries.

In Ciudad Guzmán, Jalisco, an expanding productive region, avocado crops are affected by several pests, including thrips (*Frankliniella bruneri*, *Heliothrips haemorrhoidalis*, *Scirtothrips perseae*, *S. aguacatae*, *S. kupandae*, and *Pseudophilothrips perseae*), mites (*Oligonychus punicae* and *O. perseae*), bone and branch borers (*Heilipmus lauri*), armored scales (*Abgrallaspis aguacatae* and *Hemiberlesia lataniae*), (Equihua-Martínez *et al.*, 2007). Avocado diseases include avocado sadness (*Phytophthora cinnamomi*) and verticillium wilt (*Verticillium albo-atrum*). The nematodes *Helicotylenchus* sp., *Rotylenchulus* sp., and *Pratylenchus* sp., have also gained importance in nurseries and seedlings (Tamayo, 2007).

The present work aims to provide information on the effects of COVID-19 on the health of avocado plants cultivated in Ciudad Guzmán, Jalisco, Mexico.

Increased damage to crops by pests and diseases

The COVID-19 pandemic disrupted the phytosanitary management of avocado crops by hindering the sampling of thrips (*Scirtothrips aguacatae*), brown mites (*O. punicae*), and crystalline spiders (*O. perseae*) due to the reduced number of technical personnel responsible for monitoring and management. These activities are part of state technical assistance programs. The disruption led to an increase in infestation, external damage to flowering and fruits. It has been reported that these pests can reduce the photosynthetic rate of plants by up to 50% and decrease production by 20% (Moaz *et al.*, 2010).

El aguacate en Cd. Guzmán, Jalisco, una región en expansión productiva, es afectado por varios organismos plaga que impactan en la producción. Entre estas, destacan trips (*Frankliniella bruneri*, *Heliothrips haemorrhoidalis*, *Scirtothrips perseae*, *S. aguacatae*, *S. kupandae* y *Pseudophilothrips perseae*), ácaros (*Oligonychus punicae* y *O. perseae*), barrenadores de hueso y ramas (*Heilipus lauri*), escamas armadas (*Abgrallaspis aguacatae* y *Hemiberlesia lataniae*), (Equihua-Martínez *et al.*, 2007). Entre las enfermedades destacan la tristeza del aguacatero (*Phytophthora cinnamomi*) y languidez del aguacate (*Verticillium albo-atrum*). Los nematodos *Helicotylenchus* sp., *Rotylenchulus* sp. y *Pratylenchus* sp., también han adquirido importancia en viveros y almácigos (Tamayo, 2007). El objetivo de este escrito fue proporcionar información del impacto de la COVID-19 en la fitosanidad del cultivo de aguacate en Cd. Guzmán, Jalisco, México.

Incremento de daños al cultivo por plagas y enfermedades

El manejo fitosanitario del cultivo que de manera indirecta afectó la pandemia fue el muestreo de trips (*Scirtothrips aguacatae*), acaro café (*O. punicae*) y cristalino y (*O. perseae*) debido al ausentismo de personal técnico responsable del monitoreo y manejo. Estas actividades están programadas en esquemas de asistencia técnica estatal. Esta limitante originó que se incrementara la infestación, el daño externo en la floración y frutos. Está documentado que estas plagas pueden reducir la tasa fotosintética hasta un 50 % y disminuir la producción en 20 % (Moaz *et al.*, 2010).

Personal técnico y aplicadores de plaguicidas

Para el manejo óptimo de plagas y enfermedades que afectan el cultivo del aguacate se requieren

Technical personnel and pesticide applicators

The optimal management of avocado pests and diseases requires around 48.8 working days per hectare/year. When COVID-19 was declared a pandemic, Mexico's Secretary of Health recommended voluntary confinement to the population. Despite the essential nature of agricultural work, it was estimated that the agricultural labor force decreased by 50%. This caused delays in the application of pesticides (conventional, organic, biological), which multiplied the impact by *O. perseae* and *O. punicae*, as well as the incidence (10%) of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) (Personal Communication, 2020. Phytosanitary technicians) (Figure 1).

Supply of inputs and pesticides

There is a direct relationship between alterations of the immune system induced by exposure to pesticides and the prevalence of diseases associated with the immune response (Corsini *et al.*, 2008). This poses a potentially serious health risk for populations exposed to diseases like COVID-19. The lower number of agricultural workers since the declaration of the pandemic was declared caused suppliers of agricultural inputs to reduce their working hours and days, which reduced the immediate availability of synthetic and organic agrochemicals for the control of pests and diseases. At the end of 2020, respiratory diseases caused by seasonal flu and influenza type A and B increased due to the presence of cold temperatures, which also had an impact on the availability of labor. Agricultural production companies restricted access to people with possible COVID-19 symptoms to avoid the spread of the virus among production units. In this way, the production, selection, purchase, and

alrededor de 48.8 jornales por hectárea / año. A partir de la declaración pandémica, la Secretaría de Salud recomendó a la población el confinamiento voluntario. A pesar del carácter esencial agrícola se estimó que la fuerza laborar disminuyó 50 %. Esto ocasionó retrasos en aplicaciones de plaguicidas (convencionales, orgánicos, biológicos), por lo que se incrementó la afectación por *O. perseae* y *O. punicae* y la incidencia de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en 10% (Comunicación Personal, 2020. Técnicos fitosanitarios) (Figura 1).

Suministro de insumos y plaguicidas

Existe una relación directa entre la alteración del sistema inmunitario inducida por la exposición a plaguicidas y la prevalencia de enfermedades asociadas de la respuesta inmunitaria (Corsini *et al.*, 2008). Esto plantea un riesgo de salud potencialmente grave para poblaciones expuestas a enfermedades como COVID-19. La reducción de personal, a partir de la declaración de la pandemia, ocasionó que los proveedores de insumos agrícolas redujeran sus horarios y días laborales afectando la disponibilidad inmediata de agroquímicos sintéticos y orgánicos para el control de plagas y enfermedades. A finales del 2020 las enfermedades respiratorias causadas por la gripa estacional e influenza tipo A y B aumentaron por la presencia de temperaturas frías, lo cual también repercutió en disponibilidad de mano de obra. Las empresas de producción agrícola restringieron el acceso a personas con síntomas sospechosos a COVID-19 para evitar contagios en unidades de producción. Así, la producción, selección, compra y aplicación oportuna de plaguicidas fue afectada por la pandemia COVID-19. En ausencia de una contingencia sanitaria global como la actual, sin las dificultades de insumos y mano de obra descritas, las pérdidas por plagas en los cultivos agrícolas en general (p.e.,



Figure 1. The operational management of the main avocado pests (*Persea americana*) was affected during the COVID-19 pandemic. It is exemplified with the mite *Olygonychus punicae*. Rational management is based on monitoring (A) the mite population level (B) and its natural control agents such as the predatory mite *Amblyseius swirskii* (C); with these criteria biorational products are applied (D). With effective management it is possible to reduce damage and obtain healthy and safety fruits (E). The growers training was not carried out with the frequency and interaction required due to social distance (F, H, I). There were delays in harvest due to lack of labor and limited transport (G).

Figura 1. El manejo operativo de las principales plagas del aguacate (*Persea americana*) resultó afectado durante la pandemia COVID-19. Se ejemplifica con el ácaro plaga *Olygonychus punicae*. El manejo racional se basa en monitorear (A) el nivel poblacional del ácaro (B) y de sus agentes de control natural como el ácaro depredador *Amblyseius swirskii* (C); con estos criterios se aplican productos bioracionales (D). Con buen manejo se logra reducir daños y obtener frutos sanos e inocuos (E). La capacitación a productores no se realizó con la frecuencia e interacción requerida por la sana distancia (F, H, I). Se presentaron retrasos en cosecha por falta de mano de obra y limitación del transporte (G).

timely application of pesticides was affected by the COVID-19 pandemic. In the absence of a global health contingency such as the current one, without the associated restrictions in the supply of inputs and

ácaros, trips y escamas), enfermedades (p.e. antracnosis) y malezas pueden alcanzar hasta el 80% (Oerke, 2006). Solo las pérdidas por fitopatógenos cuestan a la economía mundial 220 mil millones de

labor, crop losses due to pests (e.g., mites, thrips, and scales), diseases (e.g. anthracnose), and weeds can reach up to 80% (Oerke, 2006). Losses caused by plant pathogens alone cost the world economy US \$220 billion each year (Savary *et al.*, 2019). The impact of the COVID-19 pandemic should be added to these costs, although there are still no global estimates of agricultural losses derived from the pandemic. However, the shortage of inputs and labor affected agricultural production in different ways, according to the production model. For example, organic agriculture and agroecological farming systems are less dependent on synthetic inputs compared to technified agricultural systems.

Marketing of agricultural products

Consumer requirements have changed over time and the agri-food industry is following new trends in health and safety. The factors that influence these trends include health considerations, marketing, work habits, idiosyncrasies, and socio-economic conditions. In Mexico, as in most countries affected by the COVID-19 pandemic, restrictions were established on the movement of people; crowd events or activities were canceled; shops, public spaces, and educational centers were closed. The restrictions on mobility in cities such as Monterrey, Guadalajara, and Mexico City, reduced the flow of food (foreign and local), which constitutes a major problem in places with high population density. The pandemic highlighted various aspects of the sustainability problems of large cities (Altieri and Nicholls, 2018), mainly those related to health systems since large cities were the most affected. Avocado prices fell between 25 and 30% during the pandemic (APEAM, 2020). In the first phase of the pandemic, the demand for food products increased due to panic purchases. Afterward, the demand for food decreased. Companies involved in the food

dólares anuales (Savary *et al.*, 2019). A estos costos habría que sumar el impacto COVID-19, aunque aún no se tienen estimaciones globales en pérdidas agrícolas derivadas de la pandemia. Sin embargo, el desabasto de insumos y mano de obra afectó de manera diferenciada según el modelo productivo. Por ejemplo, la agricultura orgánica y los sistemas de cultivo considerados agroecológicos tienen menor dependencia de insumos sintéticos en comparación con sistemas tecnificados.

Comercialización de productos agrícolas

Los requerimientos de consumidores han cambiado a través del tiempo y la industria agroalimentaria tiene nuevas tendencias de sanidad e inocuidad. Entre los factores que han modificado dichas tendencias están las consideraciones de salud, mercadotecnia, hábitos laborales, idiosincrasia, y situaciones socio-económicas. En México, como en la mayoría de países afectados por la pandemia COVID-19, se establecieron restricciones al movimiento de personas, cancelación de eventos o actividades que implicaran aglomeraciones y cierre de comercios, centros públicos y educativos. La limitación de movilidad en ciudades como Monterrey, Guadalajara y Cd. México, han restringido el flujo de alimentos (foráneos y locales), los cuales, por su alta densidad poblacional, necesitan 6 mil toneladas de alimentos por día. La pandemia ha resaltado los problemas de sustentabilidad de las grandes urbes en sus múltiples dimensiones (Altieri y Nicholls, 2018), claramente en salud ya que fueron las más afectadas con altas incidencia COVID-19. Los precios del aguacate cayeron entre 25 y 30% durante la pandemia (APEAM, 2020). En una primera fase de la pandemia, la demanda de productos alimenticios aumentó debido a compras de pánico. Sin embargo, posteriormente hubo una reducción de demanda. Las empresas involucradas en toda la

chain are activating continuity plans to reduce the destructive effect of activities on the world economy. Retail companies are struggling to maintain supplies of staples, such as avocado. Manufacturers are actively adjusting their production and distribution strategies based on the needs and changing factors affecting the industry. The food products with the highest demand have been prioritized to guarantee an efficient supply in the short term. The decrease in air and land transport has limited the capacity to transport fresh produce over long distances by up to 20%, making supply a challenge (UWT, 2021; FAO, 2021). Paradoxically, food is being underutilized as demand from restaurants, hotels, schools, stadiums, theme parks, and cruise ships decreases. Furthermore, transportation blockages disrupt fresh food supply chains and lead to higher levels of food loss and waste (Purdy, 2020).

CONCLUSIONS

Avocado producers and phytosanitary management specialists in Ciudad Guzmán, Jalisco, estimate that the impact of the pandemic, in terms of phytosanitary conditions, might be between 10 and 20%. It is important to monitor the productive needs of avocado crops, such as inputs and labor, since agriculture, in general, has remained essentially active. Safe food production is a priority. This would allow societies and governments to be better prepared for a new health crisis. The strategy of rationally using the resources of an agroecosystem and producing artisanal products for the management of pests and diseases are alternatives that can help produce food in a sustainable way in small productive units. The use of biotechnological products is more appropriate for extensive agriculture systems (See contributions of Zelaya-Molina *et al.* and Ayala-

cadena de suministro de alimentos están activando planes de continuidad, ya que la reducción o cancelación de actividades ha afectado la economía en el mundo. Empresas minoristas están luchando por mantener la provisión de productos básicos, como el aguacate. Los fabricantes activamente ajustan sus estrategias de producción y distribución con base en necesidades reales y de factores cambiantes que afectan a la industria. Se ha priorizado productos alimenticios de mayor demanda para garantizar suministro eficiente a corto plazo. La disminución en transporte aéreo y terrestre ha limitado la capacidad de transportar a largas distancias productos frescos hasta en 20%, por lo que los suministros es un desafío (UWT, 2021; FAO, 2021). Paradójicamente, la comida es subutilizada, debido a que la demanda disminuye para los restaurantes, hoteles, escuelas, estadios, parques temáticos y cruceros cerrados. Sin duda, los bloqueos en rutas de transporte son obstructores para las cadenas de suministro de alimentos frescos y ocasionan mayores niveles de pérdida y desperdicio de alimentos (Purdy, 2020).

CONCLUSIONES

Los productores y técnicos especialistas en fitosanidad del aguacate en Cd. Guzmán Jalisco estiman que el impacto de la pandemia, en materia fitosanitaria, puede estar entre el 10 y 20 %. Es importante monitorear las necesidades productivas del cultivo, como insumos y mano de obra, ya que la agricultura en general ha continuado esencialmente activa. La producción inocua y segura de alimentos es una prioridad. Con ello, la sociedad y gobiernos podrían estar mejor preparados ante una nueva situación sanitaria, similar a la actual con la pandemia COVID-19. La estrategia de emplear racionalmente los recursos del agroecosistema y producir artesanalmente productos para manejo de plagas y

Zepeda *et al.*). For example, the use of domestically produced plant extracts with antimicrobial or pest suppressive properties as a preventive strategy or during the early stages of the development of pests and diseases is a safe and sustainable management alternative. Plant extracts contain semiochemicals and toxins that can affect directly (Carrillo-Rodríguez *et al.*, 2011) or indirectly a wide variety of pests and pathogens (Rocuzzo *et al.*, 2016). However, further research is needed for these types of sustainable approaches. Agriculture can become an ally of human health through quality and healthy products.

LITERATURE CITED

- Altieri MA and Nicholls CI. 2018. Urban Agroecology: designing biodiverse, productive, and resilient city farms. *AgroSur* 46: 49–60. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2018.v46n2-07>
- APEAM (Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México). 2020. <https://www.elsoldemorelia.com.mx/local/pandemia-afecta-precio-de-aguacate-asegura-apeam-5734401.html>
- Atlas Agroalimentario. 2018. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018. Consulta 8 de febrero de 2021.
- Carrillo-Rodríguez JC, Hernández-Cruz B, Chávez-Servia JL y Vera-Guzmán AM. 2011. Efecto de extractos vegetales sobre la mortalidad de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), en laboratorio. *Journal of the Interamerican Society for Tropical Horticulture* 53:154–157. https://www.researchgate.net/publication/234112906_Efecto_de_extractos_vegetales_sobre_la_mortalidad_de_Tetranychus_urticae_Koch_Acari_Tetranychidae_en_laboratorio
- Corsini E, Liesivuori J, Vergieva T, Loveren V and Colosio C. 2008. Effects of pesticide exposure on the human immune system. *Human & Experimental Toxicology* 27 (9): 671–680. <https://doi.org/10.1177/0960327108094509>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2020. <https://www.gob.mx/cjef/documentos/se-declara-como-emergencia-sanitaria-la-epidemia-generada-por-covid-19?idiom=es>
- Equihua-Martínez A, Estrada-Venegas E y González-Hernández H. 2007. Plagas del Aguacate. pp. 133-169. En: Téliz, D. y A. Mora (eds.). *El Aguacate y su Manejo Integrado*. Ed. Mundi-Prensa. 2a. Edición. México.
- Maoz Y, Gal S, Argov Y, Coll M and Palevski E. 2011. Biocontrol of persea mite, *Oligonychus perseae*, with an exotic spider mite predator and an indigenous pollen feeder. *Biological Control* 59:147-157. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.07.014>
- Oerke EC. 2006. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* 144: 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2021. Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. <https://covid19.who.int/>. Consulta 8 de febrero de 2021.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas). 2021. Enfrentar los impactos de COVID-19 y la crisis estructural en el Pacífico. <http://www.fao.org/news/story/es/item/1279330/icode/>
- OIT (Organización Internacional del Trabajo). 2020. El COVID-19 y el mundo del trabajo: Repercusiones y respuestas. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/documents/briefingnote/wcms_739158.pdf
- Purdy C. 2020. Covid-19 is about to reach US farms in a major test for food supply chains. <https://qz.com/1829558/covid-19-is-about-to-reach-us-farms/>
- Rajendran S, Afari-Sefa V, Shee A, Brocher T, Bekunda M, Dominick I and Lukumay PJ. 2017. Does crop diversity contribute to dietary diversity? Evidence from integration of vegetables into maize-based farming systems. *Agriculture & Food Security* 6:50. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0127-3>

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Raya-Farías A, Carranza-Madriral J, Campos-Pérez Y, Cortés-Rojo C y Sánchez-Pérez TA. 2018. El aguacate inhibe el estrés oxidativo y la disfunción endotelial inducida por el consumo de una hamburguesa en pacientes con síndrome metabólico. *Medicina Interna de México* 34(6):840-847. <https://doi.org/10.24245/mim.v34i6.2117>
- Rocuzzo S, Beckerman AP and Pandhal J. 2016. The use of natural infochemicals for sustainable and efficient harvesting of the microalgae *Scenedesmus* spp. for biotechnology: insights from a meta-analysis. *Biotechnology Letters* 38(12):1983-1990. <https://doi.org/10.1007/s10529-016-2192-2>.
- Savary S, Willocquet L, Pethybridge SJ, Esker P, McRoberts N and Nelson A. 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution* 3: 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2019. Reporte del mercado de Aguacate. [https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2019/Reporte\\_mercado\\_aguacate\\_070419.pdf](https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2019/Reporte_mercado_aguacate_070419.pdf). Consulta 10 de marzo 2021.
- SER (Secretaría de Relaciones Exteriores). 2016. Aguacate: El oro verde mexicano. <https://embamex.sre.gob.mx/japon/images/pdf/PRENSA/saladeprensa/aguaca.pdf>, Consulta 8 de febrero de 2021.
- SSa (Secretaría de Salud). 2021. Covid-19 en México. <https://www.gob.mx/salud/> consulta 8 de febrero de 2021.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca). 2019. Avance de siembras y cosecha, resumen por cultivo. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenDelegacion.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do). Consulta 8 de febrero de 2021.
- Tamayo PJ. 2007. Enfermedades del aguacate. *Revista Politécnica* 4:52-71.
- UNCSN (United Nation System Standing Committee on Nutrition). 2020. The COVID-19 Pandemic is disrupting people's food environments. <https://www.unscn.org/en/news-events/recent-news?idnews=2039>
- UWT (United World Transportation). 2021. Efectos del COVID-19 en la demanda del transporte refrigerado. <https://unitedworldtransportation.com/es/efectos-del-covid-19-en-la-demanda-del-transporte-refrigerado/>

# COVID-19 impacts on the guava crop production system in Calvillo, Aguascalientes, Mexico

## Impacto de COVID-19 en el sistema de producción del Guayabo en Calvillo, Aguascalientes, México

**Ernesto González-Gaona, José Saúl Padilla-Ramírez** INIFAP/CIRNOC/CEPAB, km 32.5 carr. Ags. - Zacatecas, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, CP 20660; **Catarino Perales-Segovia\***, **Cecilio Castañeda-Cabrera**, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico El Llano Ags., Km. 18 Carretera Ags. - SLP, El Llano Ags., C.P. 20330; **Mario A. Miranda-Salcedo**, INIFAP Apatzingán, Km. 17.5, Carretera Apatzingán-Cuatro Caminos. C.P. 60781, Apatzingán, Mich., México. \*Corresponding author: cperales55@hotmail.com

Received: March 01, 2021.

Accepted: April 30, 2021.

González-Gaona E, Padilla-Ramírez JS, Perales-Segovia C, Castañeda-Cabrera C and Miranda-Salcedo MA. 2021. COVID-19 impacts on the guava crop production system in Calvillo, Aguascalientes, Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 372-383.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-20>

**Abstract.** The COVID-19 pandemic, caused by SARS-CoV-2, caused productive disruptions in the guava production system of the municipality of Calvillo, Aguascalientes. These disruptions included delays in the application of phytosanitary management measures against weevils and fruit flies, pests of quarantine, and economic importance, due to the appearance of positive cases among operational and technical personnel. Manual harvesting, an activity that requires large crews of agricultural workers, was delayed due to labor shortages. The cost and supply of fertilizers and pesticides were also affected due to problems in the supply chains of agro-inputs. The sale price

**Resumen.** La pandemia COVID-19, causada por SARS-CoV-2, ha ocasionado problemas productivos al sistema producto guayaba en el municipio de Calvillo, Aguascalientes. Incluye retraso de medidas de manejo fitosanitario en campañas contra picudo y moscas de la fruta, de importancia cuarentenaria y económica, debido a la ocurrencia de COVID-19 entre personal técnico operativo. La cosecha manual, actividad que requiere de cuadrillas numerosas de trabajadores agrícolas, se retrasó por escasez de jornales. El costo y provisión de fertilizantes y pesticidas también se afectó debido a problemas en las cadenas de suministro de agro-insumos, tales como el transporte, almacenamiento y distribución. El precio de venta de guayaba en centrales de abasto y mercados locales se redujo en promedio de 10.83 a 10 MN/kg en meses de mayor demanda debido a la reducción de operaciones hasta del 60%. En Calvillo, se percibió el retorno de migrantes mexicanos debido al COVID-19 y a infecciones asintomáticas en la diseminación de SARS-CoV-2 entre la comunidad rural.



of guava in supply centers and local markets fell on average from 10.83 to 10 MN/kg during the months of highest demand due to a 60% reduction in agricultural activities. In Calvillo, the return of Mexican migrants from the US and the presence of asymptomatic cases influenced the spread of SARS-CoV-2 among the local rural community.

**Key words:** *Psidium guajava*, Calvillo, SARS-CoV-2, Commercialization

### COVID-19 disease

The SARS-CoV-2 pandemic has transformed humanity. This virus is transmitted through particles expelled by sick people when sneezing or talking (Aguilar *et al.*, 2020; MSE, 2021). The most important preventive measures are maintaining social distance and the correct use of face masks. This implies avoiding physical contact and not participating in agglomerations of people (SSA, 2021; Hernández *et al.*, 2020). Even respecting these measures, the fear of contracting the disease prevails since it can cause respiratory problems and complications that can lead to the death of susceptible people or with chronic degenerative diseases such as diabetes, hypertension, and obesity (Díaz-Castrillón and Toro-Montoya, 2020). In Mexico, COVID-19 was declared a health emergency in March 2020, the same month that the WHO declared it a pandemic. A year later, 1.9 million infected people and more than 160 thousand deaths had been recorded in Mexico (DOF, 2020; CONACYT, 2021). At press time, these figures have increased by almost 100 and 80%, respectively. The 2020 GDP of Mexico fell by -8.5% and a timid recovery of 2.7 and 5.6 was forecast for 2021 and 2022 (Rivas-Valencia *et al.*, Special Issue). It is estimated that the economic

**Palabras clave:** *Psidium guajava*, Calvillo, SARS-CoV-2, Comercialización

### La enfermedad COVID-19

La pandemia ocasionada por SARS-CoV-2 ha transformado la humanidad. La transmisión de este virus se realiza por medio de partículas expulsadas por personas enfermas al estornudar o hablar (Aguilar *et al.*, 2020; MSE, 2021). Las medidas de prevención más importantes son sana distancia y el uso correcto de cubrebocas. Esto implica evitar el contacto físico y no acudir a lugares donde exista aglomeración de personas (SSA, 2021; Hernández *et al.*, 2020). Aun respetando estas medidas prevalece el miedo de contraer la enfermedad ya que puede ocasionar problemas respiratorios y complicaciones que llegan a ocasionar la muerte de personas susceptibles o con enfermedades crónicas degenerativas como diabetes, hipertensión y obesidad (Díaz-Castrillón y Toro-Montoya, 2020). En México, COVID-19 se declaró emergencia sanitaria en marzo de 2020, mismo mes que la OMS la declara pandemia, y un año después se han registrado 1.9 millones de personas contagiadas y más de 160 mil decesos (DOF, 2020; CONACYT, 2021). Al cierre de la edición estas cifras se han incrementado casi el 100 y 80%, respectivamente (Nota del Editor). En México, el PIB global del 2020 fue de -8.5 y para el 2021 se pronosticó una tímida recuperación de 2.7 y 5.6 (Rivas-Valencia y col., Número Especial). Se estima que el proceso de recuperación de la economía será lento y quizá tendrán que pasar al menos tres años poder superar los niveles pre COVID-19 en todos los índices, tanto económicos como financieros (González, 2020). Sin embargo, al cierre de la edición, el PIB mexicano se ubica en 5.0 con una clara recuperación del empleo y del consumo cercano a la condición prepandémica, con

recovery will be slow. It may take three years to surpass pre-COVID-19 economic (González, 2020). However, at press time, the Mexican GDP is growing at 5%, with a clear recovery in employment and consumption, which are close to pre-pandemic levels, thanks to a large GDP contribution from the agricultural sector in 2020 and 2021. There is no doubt that the health emergency affected agricultural production systems, mainly fruit production since harvesting, pest prevention and marketing require many workers. The present work aimed to provide information on the production system of guava fruits in Calvillo, Aguascalientes, the effect of the COVID-19 pandemic, and possible recovery strategies.

### Productive system in Calvillo

Guava (*Psidium guajava*) is a fruit tree that grows in tropical and subtropical areas of the world. Most of the guava-producing area is in India, Pakistan, Brazil, Thailand, and Mexico (NHB, 2014). In Mexico, it is one of the 12 most important fruit trees, with an annual production of close to 300 thousand tons from 22.1 thousand ha. The states with the largest guava-producing area are Michoacan, Aguascalientes, and Zacatecas, with 11.9, 6.2, and 2.5 thousand ha respectively. The productive system of Calvillo, Aguascalientes, is the most technologically advanced, with yields of 15 t ha<sup>-1</sup>. Most of the guava production (80%) is consumed fresh within the country. The per capita consumption of guava in Mexico is 3 kg/person/year (Padilla *et al.*, 2007; SIAP, 2021). Guava is consumed for its flavor and pleasant aroma. Due to its nutraceutical properties, guava is recognized as an important source of Vitamin C and ascorbic acid (Hidalgo *et al.*, 2015); it is also used as an auxiliary treatment for gastric diseases and has even some anticancer properties (Pacheco *et al.*, 2009; Sánchez-Zúñiga *et al.*, 2017).

gran aporte del sector agrícola al PIB en 2020 y 2021 (Nota del Editor). Es indudable que la emergencia sanitaria ha afectado los sistemas productivos agrícolas. En particular la producción de frutas, pues actividades como cosecha, prevención de plagas y comercialización requieren de mucho personal. El objetivo del presente escrito fue proporcionar información sobre el sistema de producción del cultivo de guayabo en Calvillo, Aguascalientes, los efectos COVID-19 y las estrategias para una posible solución.

### Sistema productivo en Calvillo

El guayabo (*Psidium guajava*) es un frutal que se produce en áreas tropicales y subtropicales del mundo. La mayor superficie se ubica en India, Pakistán, Brasil, Tailandia y México (NHB, 2014). En México se ubica dentro de los 12 frutales de mayor importancia, con una producción cercana a 300 mil t/año, producidas en 22.1 mil ha. Las entidades federativas con mayor superficie, productividad y tecnificación son Michoacán, Aguascalientes y Zacatecas con 11.9, 6.2 y 2.5 mil ha respectivamente. Calvillo, Aguascalientes posee la más alta tecnificación con rendimientos de 15 t ha<sup>-1</sup>. La mayor parte de la producción (80%) se consume en fresco en el mercado nacional con un consumo *per cápita* de 3 kg/persona/año (Padilla *et al.*, 2007; SIAP, 2021). La guayaba es consumida por su sabor y agradable aroma. Es reconocida por sus propiedades nutraceuticas como fuente importante de Vitamina C y ácido ascórbico (Hidalgo *et al.*, 2015), auxiliar en enfermedades gástricas y efectos anticancerígenos (Pacheco *et al.*, 2009; Sánchez-Zúñiga *et al.*, 2017).

La zona productora de guayaba en Calvillo, con 6,268 ha, es la más antigua de México con más de 100 años. Aporta 30% de la producción nacional con un valor comercial de 300 millones de pesos (SIAP, 2021; Elizalde-González y Segura-Rivera,

The guava-producing area in Calvillo, which occupies 6268 ha, is the oldest in Mexico, going back more than 100 years. It accounts for 30% of the national production, with a commercial value of 300 million pesos (SIAP, 2021; Elizalde-González and Segura-Rivera, 2018). Most guava orchards are located on slopes greater than 20% (Padilla *et al.*, 2003), in poor soils with a high content of calcium carbonates, alkaline pH, and 600-1800 meters above sea level. The planting density is 204-1000 trees per ha with a yield of 15-30 t ha<sup>-1</sup> respectively (Padilla *et al.*, 2010). The agronomic management of guava includes irrigation with micro-sprinklers and non-compensated sprinklers, annual trimming of mature shoots, chemical fertilization with NPK (1:1:1), application of organic fertilizer (20 kg/tree every two years), and control of pests and diseases using pesticides. Harvest takes place from September to December, after a water stress period locally referred to as period without irrigation “calmeo” (Reyes *et al.*, 2003; Padilla *et al.*, 2015). Guava crops are attacked by various pest insects and diseases that can affect exports if guava shipments meet quarantine criteria. Pests and diseases can also affect the cosmetic value of guava fruits and reduce production (Vargas-Madriz *et al.*, 2018; González *et al.*, 2009; González -Gaona, 2002b; González-Gaona, 2002a) (Table 1; Figure 1).

### COVID-19 and agricultural production

Until the end of the first semester of 2020, no positive SARS-CoV-2 cases had been recorded in the municipality of Calvillo, Aguascalientes. The reported cases were of people who came from cities such as Aguascalientes and Guadalajara, or tourist areas such as Rincón de Guayabitos, Puerto Vallarta, and Manzanillo. Due to the low local incidence, it was considered a disease with little probability of affecting the Calvillo

2018). Las huertas están en laderas y cerros con pendientes superiores al 20% (Padilla *et al.*, 2003), suelos pobres con alto contenido de carbonatos de calcio, pH alcalino y una altitud de 600-1,800 msnm. La densidad de plantación es de 204-1000 árboles por ha con producciones de 15-30 t ha<sup>-1</sup> respectivamente (Padilla *et al.*, 2010). El manejo agronómico incluye sistema de riego por microaspersión y aspersores no compensados, despuntes anuales de brotes maduros, fertilización química 1:1:1 de N-P-K, aplicación de abono orgánico 20 kg/árbol cada dos años, y control de plagas y enfermedades mediante la aplicación de plaguicidas. La cosecha es de septiembre a diciembre, después de un estrés hídrico, denominado localmente como ‘calmeo’ (Reyes *et al.*, 2003; Padilla *et al.*, 2015). El cultivo es afectado por diversos insectos plaga y enfermedades los cuales pueden restringir las exportaciones por criterios cuarentenarios, afectar el valor cosmético del fruto en comercialización o mermar la producción (Vargas-Madriz *et al.*, 2018; González *et al.*, 2009; González-Gaona, 2002b; González-Gaona, 2002a) (Cuadro 1; Figura 1).

### COVID-19 en la producción agrícola

En el municipio de Calvillo, Aguascalientes, hasta fines del primer semestre 2020 no se habían registrado localmente positivos a SARS-CoV-2. Se reportaban casos de personas que provenían de ciudades como Aguascalientes y Guadalajara, o zonas turísticas como Rincón de Guayabitos, Puerto Vallarta y Manzanillo. Por esta baja prevalencia se consideraba como una enfermedad con pocas posibilidades de afectar la región de Calvillo. Sin embargo; en el segundo semestre, se empezaron a presentar casos confirmados debido al arribo de migrantes provenientes de EUA. En enero 2021, Calvillo se situó en un nivel de riesgo mayor, sobre todo considerando el índice de casos activos (GEA,

**Table 1. Main pests, and diseases of guava (*Psidium guajava*) in the municipality of Calvillo, Aguascalientes.**  
**Cuadro 1. Principales insectos plagas y enfermedades de la guayaba (*Psidium guajava*) en el municipio de Calvillo, Aguascalientes.**

| <sup>x</sup> Nombre común | Nombre científico                | Importancia                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Picudo de la guayaba      | <i>Conotrachelus</i> spp.        | <b>Insectos Plaga</b><br>Infestación endémica. Requiere 3-10 aspersiones de insecticidas por temporada para mantener niveles de daño menores al 10%                                                                                                              |
| Mosca de la fruta         | <i>Anastrepha striata</i>        | Plaga cuarentenaria cuya presencia restringe exportaciones a EUA. Calvillo es <i>zona de baja prevalencia</i> que permite la inscripción de huertos al programa de exportación. Requiere la aplicación de un tratamiento cuarentenario con fines de irradiación. |
| Temolillo                 | <i>Cyclocephala lunulata</i>     | Coleóptero que afecta fruta en estado amarillo próxima a cosecha en la época de junio-agosto.                                                                                                                                                                    |
| Nematodo agallador        | <i>Meloidogyne</i> spp.          | <b>Enfermedades</b><br>Diseminado por hijuelos de raíz (material vegetativo) infestado. Afecta nuevos huertos                                                                                                                                                    |
| Clavo de la guayaba       | <i>Pestalotiopsis clavispora</i> | Ocasiona lesiones circulares, tipo antracnosis, sobre la epidermis del fruto, lo cual demerita su calidad y comercialización. La chinche Miridae ( <i>Monalonion</i> sp.) transmite al hongo requiriendo fungicidas + malatión para su manejo.                   |
| Peca o Baqueteado         | Etiología desconocida            | Manchas circulares rojizas en la epidermis de frutos maduros. Puede afectar la comercialización.                                                                                                                                                                 |

<sup>x</sup>**Fuentes:** Vargas-Madriz *et al.*, 2018; González *et al.*, 2009; González-Gaona, 2002b; González-Gaona, 2002a.

region. However, in the second semester of 2020, confirmed cases began to appear after the arrival of migrants from the United States. In January 2021, Calvillo was classified as a high-risk location, especially considering the index of active cases (GEA, 2021). In mid-March 2021, 938 COVID-19 cases were reported, with 21 deaths, mainly among the elderly (GNCYS, 2021). Many of those infected were asymptomatic, which contributed to increase the dispersal rate. Agricultural workers carried out their activities without face masks and without taking even minimal preventive measures. Young people met at parties without consideration for the sanitary guidelines established by the health authorities. On the other hand, companies, banks, restaurants, and grocery stores did comply with the preventive measures, establishing temperature screening practices, sanitary mats, mandatory use of face masks, and continuous use of alcohol-based

2021). A mediados de marzo del 2021 se reportaron 938 casos COVID-19, con 21 defunciones, sobre todo en personas de la tercera edad (GNCYS, 2021). Muchos de los contagiados fueron asintomáticos aumentando la tasa de dispersión. Los trabajadores agrícolas realizaban sus actividades sin uso de cubrebocas y sin las mínimas medidas de prevención. Los jóvenes se reunían en fiestas sin respetar lo establecido por el sector salud. Por otro lado, empresas, bancos, restaurantes, tiendas de abarrotes si acataron las indicaciones preventivas y establecieron filtros de toma de temperatura, tapetes sanitarios, uso de cubrebocas y aplicación de geles con base en alcohol para su atención (Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes, 2021).

Las actividades agrícolas fueron consideradas esenciales por el gobierno federal a nivel nacional. Por lo que la producción de guayaba formalmente no tenía la restricción de confinamiento del personal.





**Figure 1.** The management of the main diseases and pests of guava, such as the guava weevil (*Conotrachelus dimidiatus*), were affected by the COVID 19 pandemic. The guava weevil, for example, if not controlled, can damage up to 60% of the crop: External (A) and internal appearance of a damaged fruit (B) and size of the affected fruit (C). Adult weevils are difficult to observe, which is why guava fruits are checked (D) for feeding damage (E). Phytosanitary management activities start when the first fruits with oviposition damage are found (F). The application of chemical synthesis products (G) is the main control strategy. The COVID-19 pandemic affected the training of producers and technicians in these control strategies (H, I, and J).

**Figura 1.** Durante la pandemia COVID 19, el manejo de las principales enfermedades y plagas, como el picudo de la guayaba (*Conotrachelus dimidiatus*) fueron afectadas. Por ejemplo, esta plaga si no se controla ocasiona 60% de daño: Apariencia externa (A) e interna de fruto dañado (B) y tamaño de fruto afectado (C). Los adultos son difíciles de observar, por lo cual se realiza el manteo (D) y el ‘escauteo’ o revisión de frutos por daños de alimentación (E). El inicio de las actividades de manejo ocurre cuando se observan los primeros frutos con daños de ovoposición (F). Preponderantemente se aplican productos de síntesis química (G). La capacitación de productores y técnicos fue afectada por riesgo COVID-19 (H, I y J).

gels (Official Gazette of the State of Aguascalientes, 2021).

Agricultural activities were classified as essential by the federal government across the country. Thus, the production of guava did not face formal personnel restrictions. However, the COVID-19 pandemic did have an impact on guava production. Phytosanitary management activities were the first to be affected, mainly the sampling of pests and diseases. The detection of SARS-CoV-2 in more than 10 technicians from the State Plant Health Committee forced the imposition of quarantine until all PCR tests came back negative. This interrupted the activities and management measures against fruit flies and guava weevils, which are of quarantine and economic importance (Table 1, Figure 1). According to the State Plant Health Committee, most technicians had recovered and returned to work by the end of March 2021.

Guava producers usually hire five to seven full-time workers for pruning, fertilization, irrigation, weed control, and application of foliar fertilizers on their plots. Unfortunately, absenteeism due to quarantine restrictions and fear of contagion delayed most agronomic activities. Guava fruits are harvested manually twice a week for three months. The fruits are selected within the orchard. These two activities require the work of 10 to 15 people. The shortage of labor in the region forced producers to hire migrant laborers, mainly from the Pacific coast and “Huicholes” (indigenous people from the mountainous regions of Jalisco and Nayarit). This raised costs and increased the risk of spreading COVID-19. Most of these day laborers think their risk of becoming infected is nil because their activities are carried out in the open air. Thus, they do not follow preventive measures and prioritize financial gain over health (Personal communication from producers and technical advisers from Calvillo) (Figure 1).

Sin embargo, COVID-19 sí tuvo un impacto. Las actividades de manejo fitosanitario fueron las primeras que se afectaron, en especial el muestreo de plagas y enfermedades. La detección del SARS-CoV-2 en más de 10 técnicos del Comité Estatal de Sanidad Vegetal obligó a iniciar un proceso de cuarentenario hasta que la prueba con la técnica molecular de detección (PCR) indicó negativo. Esto interrumpió las campañas y medidas de manejo contra *moscas de la fruta* y del *picudo de la guayaba* de importancia cuarentenaria y económica (Cuadro 1, Figura 1). De acuerdo al Comité Estatal de Sanidad Vegetal, para finales marzo 2021, la mayoría de los técnicos se habían recuperado y reintegrado a sus labores.

Por otro lado, los productores de guayaba usualmente contratan de cinco a siete jornales de tiempo completo para las actividades de poda, fertilización, riego, control de malezas y aplicación de fertilizantes foliares en sus parcelas. Desafortunadamente el ausentismo por las restricciones cuarentenarias y el temor al contagio ocasionó retraso en las actividades agronómicas. La cosecha se realiza dos veces por semana de forma manual durante un periodo de tres meses. Los frutos se seleccionan dentro de la misma huerta. Para estas dos actividades se contratan de 10 a 15 personas y por lo que la escasez de mano de obra en la región obliga a contratar jornaleros migrantes, principalmente del Pacífico y huicholes (indígenas de regiones montañosas de Jalisco y Nayarit). Esto ocasionó que los costos se incrementarán y aumentara la posibilidad de dispersión de COVID-19. La mayor parte de estos jornaleros consideran que la posibilidad de contagiarse es nula pues sus actividades se realizan al aire libre por lo que no siguen medidas de prevención, priorizando la obtención de recursos económicos sobre la salud (Comunicación personal de productores y técnicos asesores de Calvillo) (Figura 1).

An increased incidence of chronic kidney diseases has been reported in Calvillo, associated with overexposure to pesticides, mainly malathion and cypermethrin (Mendoza *et al.*, 2015). An alteration of the immune system has also been reported, predisposing the subject to other diseases and of course to COVID-19 (Corsini *et al.*, 2008). For these reasons, several studies have tried to obtain natural and biological alternatives for the control of pests and diseases in guava crops (González *et al.*, 2020; Carrillo *et al.*, 1993).

### COVID-19 and the supply chain

The health and economic crisis caused by SARS-CoV-2 affected supply chains at the global, national, and regional levels. It affected other productive activities too, such as negotiation and supply, development and production, transportation, storage, and distribution. This situation is a consequence of the logistical difficulties generated by the pandemic, particularly the restrictions on movement between and within countries, coupled with labor shortage problems caused by confinement measures (ILO, 2020).

The logistics of agri-food value chains include all the activities that make possible the flow of agricultural inputs and related products and services, such as transportation, storage, procurement, packaging, and inventory management. Efficient logistic systems are essential for the agri-food sector, especially in times of crisis, since any alteration can have a negative impact on the production and quality of food. Logistic problems have a differential effect, depending on the scale of each agricultural production system. Thus, large-scale agriculture could be the most affected, particularly in cases where production depends on a great variety and quantity of inputs such as seeds, fertilizers, pesticides, lubricants, and fuels.

En Calvillo se ha reportado un incremento de enfermedades renales crónicas, asociadas a la aplicación de plaguicidas, especialmente a una sobreexposición a malatión y cipermetrina (Mendoza *et al.*, 2015). También se ha señalado una alteración en el sistema inmunológico, lo cual predispone a otras enfermedades y por supuesto a COVID-19 (Corsini *et al.*, 2008). Por estas razones se han realizado estudios con la finalidad de obtener alternativas naturales y biológicas para el control de plagas y enfermedades en el cultivo (González *et al.*, 2020; Carrillo *et al.*, 1993).

### COVID-19 y cadena de suministros

A nivel macroeconómico, la crisis sanitaria y económica causada por SARS-CoV-2 ha impactado a las cadenas de suministro, tanto a nivel global, como nacional y regional en las diferentes actividades de las empresas, como la negociación y abastecimiento, desarrollo y producción, transporte, almacenamiento, y la distribución hasta el punto de venta. Esta situación es consecuencia de dificultades logísticas, particularmente debido a las restricciones de movimiento entre países y al interior de estos, aunado a los problemas laborales originados por el confinamiento para reducir riesgo de contagios (OIT, 2020).

La logística de las cadenas de valor agroalimentarias engloba todas las actividades que hacen posible el flujo de insumos agrícolas, productos y servicios relacionados, tales como el transporte, el almacenamiento, la adquisición, el envasado y la gestión de inventarios. La eficacia de la logística es fundamental para el sector agroalimentario, sobre todo en épocas de crisis, ya que cualquier alteración puede repercutir negativamente en la producción y calidad de los alimentos. Los problemas en la logística, afectan de manera diferente, dependiendo de la escala en que se practique la agricultura. Así,



Small producers are less affected because some of their inputs are produced on their farms. However, they must also buy other inputs in local or regional markets, including fertilizers, pesticides, and fuels. The lack of these products and/or the delays in their supply affect producers in general (FAO, 2020).

The basic inputs for guava production include fertilizers, organic fertilizers, and pesticides. In the case of technified producers, purchasing supplies in bulk helps somewhat to overcome input supply problems, even during the pandemic. Intermediate and traditional producers usually buy their inputs from local agro-input suppliers, and sometimes face difficulties to acquire some products due to lack of availability as a result of transport or production restrictions at the country of origin. Furthermore, none of the three groups of guava producers are protected by the economic policies of the Government, to the detriment of the production chain of guava fruits (Borja-Bravo *et al.*, 2020), which worsened during the COVID-19 pandemic.

### COVID-19 and commercialization

The commercialization of guava fruits is carried out in collection centers such as ‘La Panadera’, from where it is distributed to the cities of Mexico, Guadalajara, and Monterrey. Shipments are not immediately paid, which in many cases affects producers directly. Furthermore, the price of guava fruits decreased due to decreased demand. The price per kilogram of premium guava decreased from MXN 10.83 to MXN 10.00 on average from January to March 2021 (SNIIM, 2021). This is contrary to what normally occurs, with above-average prices during the months with the lowest market supply, from February to May (Ramos *et al.*, 2017). Another means of commercializing guava fruits is selling them in local markets and ‘tianguis’ (street markets). Unfortunately, adherence to the

la agricultura a gran escala, podría ser la más afectada, en particular en los casos en que la producción depende de una gran variedad y cantidad de insumos como semillas, fertilizantes, plaguicidas, lubricantes y combustibles. Por otro lado, los pequeños productores son menos afectados, ya que utilizan algunos insumos producidos en su propia explotación, aunque también deben comprar sus insumos en mercados locales o regionales como los fertilizantes, plaguicidas y combustibles, por lo que la falta de estos productos o el retraso en el suministro de los mismos afectan a los productores en general (FAO, 2020).

Los insumos básicos para la producción de guayaba incluyen fertilizantes, abonos orgánicos y plaguicidas. En el caso de productores tecnificados, la compra por volumen contribuye en parte a la solución a problemas de suministro de insumos aún durante la pandemia. Sin embargo, los productores intermedios y tradicionales, normalmente acuden a proveedores de agro-insumos locales, lo que puede dificultar la adquisición de algunos productos por falta de disponibilidad debido a restricciones de transporte o producción en origen. Aunado a esto, se menciona que en los tres grupos de productores se tiene una desprotección de políticas económicas en detrimento de la competitividad de la cadena productiva del cultivo de guayabo (Borja-Bravo *et al.*, 2020), lo cual se agudizó durante la pandemia por COVID-19.

### COVID-19 y comercialización

La comercialización de frutos de guayaba se realiza en centros de acopio como ‘La Panadera’, de donde se distribuye a las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey. El pago del embarque no se realiza de inmediato lo que en muchas ocasiones afecta directamente al productor. Además, el precio de la fruta disminuyó, ya que los consumidores no



measures established by the health authorities resulted in the closure or reduction of both types of market. The Aguascalientes city council kept all markets and 'tianguis' on pandemic alert during most of 2020 and until the writing of this study. The purpose of this alert was to avoid the spread of the disease. Preventive screening systems were also supervised and strengthened filters so that the population could make their purchases without putting their health at risk (AA, 2020). All markets are working at 60% of their capacity and with a customer influx of less than 50%. This explains the reduction in sales of agricultural products in local and regional consumption sites.

## PERSPECTIVES

Mexican people, especially those working in agriculture, do not have a clear understanding of the measures put in place to control this new disease. There is no doubt that accurate and timely information is the best strategy for mitigating the impact of the pandemic. It is also necessary to have a reliable, simple, and inexpensive screening test that allows increasing the number of outpatient tests. COLPOS developed a low-risk, inexpensive and practical qPCR test based on mouthwash. This test was proposed to SADER as an alternative for agricultural workers (G. Mora-Aguilera, 2021; Personal Communication). China and India have shown evidence that controlling polycyclic diseases, such as those caused by SARS-CoV-2, requires breaking the secondary cycles of infection (community contagion) for up to 15 days to eliminate infectious agents. This cannot be done without a policy that restricts the movement of people. However, movement restrictions are insufficient by themselves and have a high socio-economic impact. This is why vaccination is also being used as a mitigation strategy. Agriculture is an essential activity for Mexico and the world.

demandaban este producto como de costumbre. El precio por kilogramo de guayaba de primera disminuyó de \$10.83 a \$10.00 en promedio de enero a marzo de 2021 (SNIIM, 2021). Lo anterior, es contrario a lo que ocurre normalmente ya que los precios por encima del valor promedio se presentan en los meses de menor oferta en el mercado como son de febrero a mayo (Ramos *et al.*, 2017). Otro medio de comercializar la fruta es mediante su venta en mercados locales y 'tianguis'. Desafortunadamente el apego a las medidas establecidas por el sector salud resultó en el cierre o disminución de ambos. El ayuntamiento de Aguascalientes mantuvo durante casi todo 2020, y hasta la redacción de este escrito, la alerta en tianguis y mercados para evitar la propagación de la enfermedad, supervisando y fortaleciendo filtros preventivos para que la población realice sus compras cuidando su salud (AA, 2020). Los tianguis y mercados se encuentran trabajando a un 60% de su capacidad y con una afluencia menor al 50%. Lo anterior, explica la reducción de ventas de productos agropecuarios en estos sitios de consumo local y regional.

## PERSPECTIVAS

La población, sobre todo en el ámbito agrícola, no tiene claro el manejo de esta nueva enfermedad. Es indudable que la información veraz y oportuna es la mejor estrategia para su mitigación. Además, es necesario contar con una prueba de detección confiable, sencilla y barata que permita incrementar el número de pruebas ambulatorias. El COLPOS desarrolló una prueba qPCR de bajo riesgo, económica y práctica basada en enjuague bucal. Esta prueba fue propuesta a la SADER como una alternativa para trabajadores agrícolas (G. Mora-Aguilera, 2021. Comunicación Personal). China e India han mostrado evidencias que enfermedades policíclicas, como la ocasionada por el SARS-CoV-2, el romper los ciclos secundarios de infección

Classifying it as essential and keeping it active was a successful decision, helping ensure food security during the pandemic. The Ministry of Agriculture (SADER) must prioritize the protection of technical personnel, farmers, advisers, and researchers involved in primary production processes, giving priority to the health of workers in the agro-food value chains and the health of consumers. Health authorities must continue to insist on the application of preventive measures such as the use of face masks, maintaining social distance, the use of alcohol-based gel, frequent hand washing, etc., to reduce the risk of infection by SARS-CoV-2, especially among the rural population, which does not have adequate access to primary and secondary health care systems.

## LITERATURE CITED

- Aguilar GNE, Hernández AAS y Ibanes CG. 2020. Características del SARS CoV-2 y sus mecanismos de transmisión. *Revista Latinoamericana de Infectología Pediátrica* 33(3):143-148. <https://doi.org/10.3566/95651>.
- AA (Ayuntamiento de Aguascalientes). 2020. Mantiene Municipio medidas sanitarias preventivas contra COVID-19 en tianguis y mercados. *Boletín No. 2426* <https://www.ags.gob.mx/cont.aspx?p=7582>.
- Borja-Bravo M, Garcia-Salazar JA, Cuevas-Reyes V, Arellano SA y Almeraya QAS. 2020. Competitividad y eficiencia económica de los sistemas de producción de guayaba en Calvillo, Aguascalientes. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas* 10(7): 1551-1563. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1810>
- Carrillo D, Peña J y Duncan R. 1993. Guava pests and beneficial insects. Department of Entomology and Nematology, UF/IFAS Extension. Original publication date October 1993. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/IG/IG07200.pdf>
- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). 2021. <https://datos.covid-19.conacyt.mx/>. Consulta 12 de febrero 2021.
- Corsini E, Liesivuori J, Vergieva T, Van Loveren y Colosio C. 2008. Effects of Pesticide Exposure on the Human Immune System. *Human & Experimental Toxicology* 27(9): 671–680. <https://doi.org/10.1177/0960327108094509>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2020. Se declara emergencia sanitaria la epidemia generada por COVID-19. <https://www.gob.mx/cjef/documentos/se-declara-como-emergencia-sanitaria-la-epidemia-generada-por-covid-19?idiom=es>
- Díaz-Castrillón FJ y Toro-Montoya AI. 2020. SARS-CoV-2/ COVID-19: el virus, la enfermedad y la pandemia. *Medicina y Laboratorio* 24(3): 183-205.
- (contagio comunitario), es la solución para eliminar a los agentes infecciosos, hasta en un periodo de 15 días, por lo que es importante una política que restrinja el movimiento de personas. Sin embargo, por si sola es insuficiente y tuvo un alto impacto socio-económico global por lo que actualmente la vacunación es una adición estratégica de mitigación (Nota del Editor). La agricultura es una actividad prioritaria para México y el mundo. Considerarla esencial y activa fue un acierto al contribuir a la seguridad alimentaria mundial en esta etapa pandémica. La Secretaría de Agricultura (SADER) deberá priorizar la protección del personal técnico, agricultores, asesores e instituciones de investigación involucrados en los procesos productivos primarios, dando prioridad a la salud de los trabajadores de las cadenas de valor agro-alimentarias y de consumidores. Las autoridades del sector salud, deben seguir enfatizando medidas preventivas como uso de cubrebocas, sana distancia, usos del gel, lavado frecuente de manos, etc., para reducir el riesgo de contagios por SARS-CoV-2, especialmente en la población rural que no cuenta con suficientes o accesibles sistemas de salud de atención primaria y secundaria.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Elizalde-González MP and Segura-Rivera EJ. 2018. Volatile compounds in different parts of the fruit *Psidium guajava* L. cv “Media China” identified at distinct phenological stages using HS-SPME-GC-QTOF/MS. *Phytochemical Analysis* 29(6): 649-660 <https://doi.org/10.1002/pca.2778>.
- FAO. 2020. Responder a las repercusiones del brote de la COVID-19 sobre las cadenas de valor alimentarias a través de una logística eficiente. <http://www.fao.org/3/ca8466es/CA8466ES.pdf>
- GEA (Gobierno del Estado de Aguascalientes). 2021. Indicador Estatal COVID. <https://www.aguascalientes.gob.mx/coronavirus/reportes/31%20de%20enero%20a%200602021%20Indicador%20Estatel%20Covid.pdf>. Consultado el 23 de marzo 2021.
- González GE. 2002a. Control de plagas insectiles. En: Guayaba. Su cultivo en México. Libro Técnico No. 1. CIR Norte Centro. C. E. Pabellón. Aguascalientes. pp. 86-111.

- González GE. 2002b. Enfermedades y nematodos. En: Guayaba. Su cultivo en México. Libro Técnico No. 1. CIR Norte Centro. C. E. Pabellón. Aguascalientes. pp. 112-127
- González GE, Padilla RJS y Perales de la CMA. 2009. Estrategias para el manejo del clavo de la guayaba (*Pestalotiopsis psidii*). Folleto técnico núm. 40. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Pabellón. Pabellón de Arteaga, Ags. México. 29 p. file:///C:/Users/EGG/Descargas/3809%20Estrategias%20para%20el%20manejo%20del%20Clavo%20de%20la%20Guayaba.pdf.
- González GE, Silos EH, Perales SC, Padilla RJS, López MIG y Acosta DE. 2020. Control del clavo de la guayaba con extractos de plantas. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas 11(2): 365-376. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v11n2/2007-0934-remexca-11-02-365.pdf>
- González ZE. 2020. La economía y las finanzas en México durante la pandemia. El economista. <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/La-economia-y-las-finanzas-en-Mexico-durante-la-pandemia-20201106-0031.html>.
- GNCYS. 2021. Coronavirus (COVID-19) en Calvillo, Aguascalientes. <http://www.gncys.com/covid19/covid19-municipio.aspx?edoid=AS&munid=003>. Consultado el 23 de marzo 2021.
- Hernández OHG, Ramiro MSM y Trejo RG. 2020. ¿Cuáles son las medidas prevención contra el novel Coronavirus (COVID-19)? Revista Latinoamericana de Infectología Pediátrica 33(1):4-6. <https://doi.org/35366/92380>.
- Hidalgo FR, Gómez MU, Escalera DAC y Quisbert ED. 2015. Beneficios de la guayaba para la salud. Revista de Investigación e Información en Salud 10(25): 27-32. <https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=112330>
- Mendoza EC, González RC, Martínez SMC, Avelar GFJ, Valdívía FAG, Aldana MML, Rodríguez OG y Jaramillo JF. 2015. Estudio de exposición a Malatión y Cipermetrina y su relación con el riesgo de daño renal en habitantes del municipio de Calvillo, Aguascalientes, México. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas 46(3): 62-72. <https://www.Redalyc.org/articulo.oa?id=57945705007>.
- MSE (Ministerio de Salud España). 2021. Enfermedad por Coronavirus, COVID-19. Información científica- técnica. Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias. Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación. Consultado el 20/02/21. [mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/ITCoronavirus.pdf](https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/ITCoronavirus.pdf).
- HHB (National Horticulture Board). 2014. Indian Horticulture Database 2014. <http://www.nhb.gov.in/area%20production.html>. Consultado mayo 2015.
- OIT (Organización Internacional del Trabajo). 2020. Nota informativa sectorial de la OIT. El COVID-19 y su impacto en la agricultura y la seguridad alimentaria. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/ed_dialogue/sector/documents/briefingnote/wcms_749861.pdf
- Pacheco PM, Poma G y Reyes ELN. 2009. Propiedades antioxidantes de la guayaba (*Psidium guajava* L.). Revista de la Sociedad Química del Perú 75 (2): 228-234. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v75n2/a10v75n2.pdf>
- Padilla RJS, González EG, Esquivel FV, Reyes LM y Mayek NP. 2003. Recuperación de árboles de guayabo (*Psidium guajava* L.) con problemas fitosanitarios de la raíz. Agricultura Técnica en México 29 (1): 61- 67.
- Padilla RJS, González EG, Perales MA de la C, Reyes HRP y Osuna ESC. 2007. Variabilidad del fruto de la guayaba (*Psidium guajava* L.) mexicana. Avances de Investigación. Publicación Especial No. 31. SAGARPA, SNICS, INIFAP - CIRNOC, Campo Experimental Pabellón. México. 61 p.
- Padilla RJS, González EG y Perales MA de La C. 2010. Nuevas variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.). Folleto Técnico Núm. 42. INIFAP-CIRNOC- CEPAB.28 p.
- Padilla-Ramírez JS, Rodríguez-Moreno VM y González-Gaona E. 2015. Evaluación ex post del PBZ en el rendimiento de genotipos de guayabo establecidos en alta densidad. En: Memoria del XVI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. pp 19-24.
- Periódico Oficial del Estado de Aguascalientes. 2021. Medio de Difusión del Gobierno Constitucional del Estado. Edición vespertina. Tomo LXXXIV Aguascalientes, Ags., 25 de enero de 2021. Núm. 4. https://www.aguascalientes.gob.mx/coronavirus/reportes/periodico_num4_edicion_vespertina.pdf. Consultado el 20 de marzo 2021.
- Ramos SIN, García SJA, Borja BM, Guajardo HLG, Almeraya QSX y Arana C OA. 2017. El mercado de la guayaba en Aguascalientes: un análisis para reducir la volatilidad de los precios. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas 8(18): 3755-3767. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017001003755
- Reyes ML, González EG, Padilla JSR, Reyes HRP y Perales MA de la C. 2003. Estatus de las plagas del guayabo en la región Calvillo, Aguascalientes, México. En: Memorias del primer Simposio Internacional de la Guayaba. Padilla RJS, Reyes ML, González EG y Perales MA de la C (eds.). INIFAP CIRNOC-CEPAB, México. pp 297-301.
- Sánchez-Zuñiga K, Castro- Piedra S, Moreira-González I, Arnáez-Serrano E, Navarro-Hoyos M, Vargas-Huertas F. 2017. Evaluación de las propiedades citotóxicas de un extracto de frutos de guayaba (*Psidium guajava* var Tai-Kuo-Bar). Tecnología en Marcha 30(4): 150-157. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3424>.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesca). 2021. Producción Agrícola. <https://www.gob.mx/siap>. Consultado 23 de marzo 2021.
- SSA (Secretaría de Salud). 2021. Proceso de prevención de infecciones para las personas con COVID-19 (Enfermedad por SARS-CoV-2) contactos y personal de salud. Gobierno de México. Consultado el 19/02/2021. E_AÑO%202021/guayaba%20y%20covid%2019/Proceso_DE_Prevenccion_COVID-19%20mex.pdf
- SNIIM (Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados). 2021. Mercados Nacionales: frutas y hortalizas. <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/Home.aspx?opcion=Consultas/MercadosNacionales/PreciosDeMercado/Agricolas/ConsultaFrutasYHortalizas.aspx?SubOpcion=4%7C0>
- Vargas-Madriz H, Azuara-Domínguez A, Juan-Lara J, Ibarra-Cortes KH, Grifaldo-Alcántara PF, Talavera-Villareal A, Tafoya-Rangel F y Lázaro-Dzul MO. 2018. Picudo de la guayaba *Conotrachelus dimidiatus* (Champion) una plaga de importancia económica para el cultivo de guayaba *Psidium guajava* L en México. Revista Mexicana de Fitosanidad 2(3): 25-38.

SECTION 4

TEACHING AND RESEARCH DURING CONFINEMENT

*

DOCENCIA E INVESTIGACIÓN DURANTE EL CONFINAMIENTO

Brief teaching experience facing COVID-19

Breve experiencia docente ante el COVID-19

Erika Janet Zamora-Macorra, Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5, carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. CP 56230. Corresponding author: erikazam@gmail.com

*Can a virus contained in a glacier “melt” and become a new threat to humanity?
Why a lot of people has been infected in my town if there is always a lot of sunlight in my home?
‘You said that the “UV light” in the sun denatures the virus’
‘What you said about the face mask is helping but it doesn’t stop viral particles from coming through is true,
because when my dad got COVID I used a mask all the time while I watched over him, and I still got sick.*

Received: February 02, 2021.

Accepted: March 15, 2021.

Zamora-Macorra EJ. 2021. Brief teaching experience facing COVID-19. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 384-386.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-11>

These questions and comments that genuinely arose in my remote classes with youngsters aged 15 to 18 showed me the impact of the pandemic on their way of thinking regarding a topic I have been explaining for years: **VIRUSES**. Now, these youngsters understood that answering the question they always had asked me every cycle (*Are viruses alive or dead?*) was irrelevant, and they focused on what really matters: How can something so small cause such an impact on the human lives? So, they understood that all tiny living beings, which they cannot see, are crucial to the balance of life and

Estas dudas y comentarios que genuinamente surgían en mis clases virtuales con jóvenes de 15 a 18 años me demostró el impacto de la pandemia en su forma de pensar respecto a un tema que varios años llevo explicando: Los **VIRUS**. Ahora los jóvenes comprendieron que no es relevante contestar la pregunta que en cada ciclo siempre me hacían *¿Los virus están vivos o muertos?*, y se centraron en lo que realmente importa: Como es que algo tan pequeño puede causar tanto impacto en la vida de los seres humanos. Con lo cual, comprendieron que todos los seres vivos diminutos, que ellos no ven, son fundamentales en el equilibrio de la vida y que nosotros tenemos la responsabilidad de impactar lo menos posible ese mundo microbiológico.

Me di cuenta que la pandemia ha despertado el interés en adolescentes, y probablemente en todas las personas, respecto a los virus. Desde el punto

we do have the responsibility of making the least possible impact on that microbiological world.

I realized that the pandemic had awoken interest in teenagers, and probably in all people, regarding viruses. From the agronomic point of view, I hope the minds of young men and women who are preparing to become future agronomists in Mexico, also become interested in phytopathogenic viruses, a somewhat forgotten area in the Mexican field. Thus, it is desirable for more virologists to be present to understand the role of these biological entities on an agricultural crop, in vectors and weeds. And maybe, in the mind of parasitologists would also be relevant to understand better the viruses, and the automatic approach for a plant with viruses on the field, not only would be eliminated them immediately.

As an agronomist/phytopathologist, I understood the importance of viruses on plants in the few years I have been studying them, and not only because they cause diseases, but I have often seen that viruses “have learned” to coexist with plants without causing great harm to them. In fact, I dare to guarantee that some even help their host to survive adverse situations, although it is easier to claim it than to prove it scientifically. The current knowledge of microorganisms in the biome of the plant will soon help us recognize beneficial viruses. The same surely happens in viruses that are able to infect humans, but because they are invisible, we have focused on those that harm us, leaving a large scientific omission that must be explored.

As an investigative professor, I explained to my worried and stressed students that we may have to accept that viruses are sometimes deadly, but sooner or later, with the help of scientists working on developing vaccines, this pandemic would pass. They then understood that, in order to survive this health crisis, they should better understand the viruses, know how and what they are made up of,

de vista agronómico, espero que la mente de jovencitos que se están preparando para ser futuros agrónomos en México, se interese por los virus fitopatógenos, un área de conocimiento un tanto abandonado en el campo mexicano. De esta manera, es deseable que haya más virólogos que ayuden a comprender el papel de estos entes biológicos en un cultivo agrícola, en vectores y en las arvenses. Sería trascendente que también se tuvieran un cambio en el enfoque automático del parasitólogo: una planta virosa en campo debe eliminarse de inmediato.

Como agrónoma/fitopatóloga comprendí la importancia que los virus tienen en las plantas con los breves años que llevo estudiándolos, y no solo porque causan enfermedades; sino porque he visto en muchas ocasiones que los virus “han aprendido” a convivir con las plantas sin causarles un gran daño. Es más, me atrevo a asegurar que inclusive algunos ayudan a su huésped a sobrevivir a condiciones adversas, aunque es más fácil postularlo que demostrarlo científicamente. El reconocimiento actual de la diversidad de microorganismos en el bioma de la planta pronto nos permitirá reconocer virus benéficos. Seguramente pasa lo mismo en virus capaces de infectar humanos, pero dado que son invisibles, nos hemos enfocado a los que nos causan daño, dejando una gran laguna científica que debe ser explorada.

Como profesora/investigadora, les expliqué a mis estudiantes preocupados y estresados, que habría que aceptar que a veces los virus son mortales pero que, tarde o temprano y con ayuda de los científicos dedicados al desarrollo de vacunas, esta pandemia pasaría. Ellos comprendieron entonces que para sobrevivir a esta crisis sanitaria es necesario entender mejor a los virus, conocer cómo y de qué están hechos, saber cómo se transmiten y cómo son capaces de utilizar células del huésped para replicarse y causar enfermedad. Así, podrían

how they are transmitted and how they can use the cells of their host to replicate and cause diseases. In this way they could make reasonable decisions that will benefit them and their families.

tomar decisiones razonadas que los beneficiarían a ellos y a sus familiares.

Research challenges during the COVID-19 pandemic: The experience of a functional genomics laboratory

Desafíos de investigación durante la pandemia COVID-19: La experiencia de un laboratorio de genómica funcional

Arthikala Manoj-Kumar, Ciencias Agrogenómicas, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), León, C.P. 37684, Guanajuato, México. Corresponding author: manoj@enes.unam.mx

Received: February 28, 2021.

Accepted: March 30, 2021.

Manoj-Kumar A. 2021. Research challenges during the COVID-19 pandemic: The experience of a functional genomics laboratory. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 387-388.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-14>

Measures to mitigate and prevent COVID-19 infections included closing universities around the world for an indefinite time and transferring their educational activities to online platforms. Universities were not prepared for such a transition and the online teaching-learning process evolved gradually. Fortunately, there have been many advances in educational technology in recent decades which proved useful during this pandemic. I am proud that the National School of Higher Studies (Escuela Nacional de Estudios Superiores, ENES), Unidad León, of the National Autonomous University of Mexico (UNAM), was one of the institutions that was able to make this digital transition.

Las medidas de mitigación y prevención de contagio COVID-19 incluyeron el cierre de universidades de todo el mundo tiempo indefinido y el traslado de sus actividades educativas a plataformas en línea. Las universidades no estaban preparadas para tal transición y los proceso enseñanza-aprendizaje en línea evolucionaron gradualmente. Afortunadamente, ha habido muchos avances en tecnología educativa en las últimas décadas la cual demostró su utilidad durante esta pandemia. Estoy orgulloso que la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad León, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), haya sido una de las instituciones que pudo hacer esta transición digital.

La investigación básica enfrentó sus propios desafíos durante la actual pandemia. Mi laboratorio trabaja en la investigación de genómica funcional de plantas con estudiantes de pregrado y maestría. Los estudiantes se encontraban en diferentes etapas de sus experimentos cuando inició la pandemia y no podían dejar de acudir al laboratorio debido a

Basic research has faced its own challenges during the current pandemic. My laboratory does functional genomics research in plants with undergraduate and master's students. The experiments of the students were at different stages when the pandemic began and could not stop going to the laboratory due to the need to care for experimental plants and cell cultures. Different strategies were developed to maintain research activities, such as: 1) Scheduling research shifts to promote social distancing, 2) Postponing non-essential experiments, 3) Rationing research supplies that were in short supply during the pandemic.

Personally, I consider that the use of digital platforms has also generated unexpected opportunities such as new types of scientific collaboration. I had enough free time to edit student theses, write and publish research articles. Interestingly, the students in my work team have participated in virtual international scientific conferences, the only format that evolved during this pandemic. Digital platforms allowed tutors to be in constant contact with students to advise and support them emotionally. The students in my laboratory have been through difficult times. I asked them to tell their story in their own words (These can be read in the student's section. Editor's Note).

la necesidad de mantener plantas experimentales y cultivos celulares. Para continuar con la investigación se han empleado múltiples estrategias como: 1) Se programaron turnos de investigación para promover el distanciamiento social, 2) Los experimentos no esenciales se postergaron, 3) Se racionalizaron los insumos de investigación que podrían escasear durante la pandemia.

Personalmente, considero que el uso de plataformas digitales también ha generado oportunidades inesperadas como nuevas colaboraciones científicas. Sin embargo, tuve suficiente tiempo libre para editar tesis de estudiantes, escribir y publicar artículos de investigación. Interesantemente, los estudiantes de mi equipo de trabajo han participado en conferencias científicas internacionales virtuales que son los formatos únicos que evolucionaron durante esta pandemia. Las plataformas digitales permitieron que los tutores estuvieran en contacto constante con estudiantes para asesorarlos y apoyarlos emocionalmente. Los alumnos de mi laboratorio han pasado por tiempos difíciles. Les he pedido que las expresen en sus propias palabras (Estas se pueden leer en la sección de estudiantes. Nota del Editor).

Reflections on the scientific research carried out in Mexico during the COVID-19 pandemic

Reflexiones sobre el desarrollo de la investigación científica mexicana durante la pandemia COVID-19

Gustavo Santoyo, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 58030, Morelia, México. Corresponding author: gustavo.santoyo@umich.mx

Received: February 25, 2021.

Accepted: March 29, 2021.

Santoyo G. 2021. Reflections on the scientific research carried out in Mexico during the COVID-19 pandemic. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 389-396.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-15>

Abstract. Mexican researchers have developed resilience as a result of sustained public and institutional policies that fail to optimize the creative and productive processes of this valuable human resource. Nevertheless, they still manage to produce competitive research. Since March 20, 2020, Mexican researchers have had to cope with the COVID-19 pandemic, in addition to the institutional and work challenges they already faced. They continued working under the conditions created by the preventive measures imposed by their institutions thanks to the commitment with students and with higher education. Because of the passion for researching and teaching, and because Mexico requires and demands it.

Key words: SARS-CoV-2, Mitigation, Postgraduate, Educational Institutions

Resumen. Los investigadores mexicanos tienen una resiliencia inducida por políticas públicas e institucionales a lo largo de muchos años, las cuales no optimizan los procesos creativos y productivos del valioso recurso humano. No obstante, se logra desarrollar investigación competitiva. Desde el 20 de marzo de 2020, los investigadores se sumaron a los retos institucionales y laborales cotidianos causados por la pandemia COVID-19. De esta manera se continuó trabajando bajo acciones de prevención institucionalizadas, motivados por el compromiso con estudiantes y con las instituciones de educación superior, por la pasión por investigar y enseñar, y porque México lo requiere y demanda.

Palabras claves: SARS-CoV-2, Mitigación, Postgrado, Instituciones Educativas.

El impacto global de la pandemia

La enfermedad del coronavirus 2019, o mejor conocida como COVID-19, causada por el virus SARS-CoV-2, ha dejado más de un millón de muertes en el mundo (Atalla *et al.*, 2021) (4.8

The global impact of the pandemic

The coronavirus disease 2019, better known as COVID-19, caused by the SARS-CoV-2 virus, has caused more than one million deaths around the world (Atalla *et al.*, 2021) (4.8 million at the time of publication; Editor's Note). Some countries, such as the United States of America, have reported the death of almost half a million people, and according to current data, the trend may continue to increase (<https://covidtracking.com/>). The same has happened in Mexico, where the death of almost 200,000 people has been reported (284k at press time; Editor's Note), with an increasing tendency for the following months. The disease has also left many people with recovery sequelae ranging from mild to severe (Hamadneh *et al.*, 2021). At the time of writing this essay, a mass vaccination campaign is being conducted in several countries. However, the distribution of the two or three available vaccines has not been homogeneous (Walker *et al.*, 2020). Likewise, the impact of COVID-19 has also been uneven in some countries due to differences in occupational activity, gender, age, related chronic diseases, or prior infection with SARS-CoV-2 (Ruiz-Cantero, 2021; Singh, 2021). Countries with more economic power have hoarded a large number of vaccines. This strategy may backfire, given the large flows of people between countries, which would require broader efforts from high-GDP countries to support the populations of developing countries, neighboring or not, (Walker *et al.*, 2020). The economic consequences of COVID-19 are still unmeasurable. In Mexico, GDP fell by 8.5% in 2020, the worst economic downturn since 1932. Interestingly, the agricultural sector did not register a production decrease; in fact, agricultural revenues rose by 2% (Saldivar, B. El Economista. Note of January 29, 2021). This happened mainly because agriculture, and the supply of food in general, was

millones al momento de edición. Nota del Editor). Algunos países como los Estados Unidos de América, han reportado la muerte de casi medio millón de personas, y según datos actuales, la tendencia puede seguir creciendo (<https://covidtracking.com/>). Lo mismo sucede para México, donde se ha reportado la muerte de casi 200,000 personas (284 k al cierre de edición. Nota del Editor), con una tendencia a seguir incrementando en los siguientes meses, además de dejar secuelas de recuperación que van desde leves a graves en aquellos pacientes que fueron contagiados con el SARS-CoV-2 (Hamadneh *et al.*, 2021). Al momento en que se está escribiendo esta nota, se comenzó una amplia estrategia de vacunación en diversos países, sin embargo, la distribución de las dos o tres vacunas disponibles no es homogénea (Walker *et al.*, 2020). Así mismo, el impacto que COVID-19 ha tenido en la población, ya sea por la actividad ocupacional, por género, edad, o por enfermedades crónicas asociadas o previas al contagio por el SAR-COV-2, también ha sido desigual en algunos países (Ruiz-Cantero, 2021; Singh, 2021). Aquellas regiones con mejor poder económico han acaparado un gran número de vacunas y las están aplicando a sus poblaciones. Una estrategia que puede fallar debido a que el flujo de personas entre países requeriría esfuerzos más amplios por apoyar aquellas poblaciones del país en vías de desarrollo, vecinos o no, de países con un alto PIB (Walker *et al.*, 2020). Las afectaciones económicas por COVID-19 hasta este momento son incalculables. En nuestro país, se registró una disminución en el PIB de 8.5% en el 2020, un efecto negativo en la economía que no se había registrado desde el año 1932. Interesantemente, el sector agrícola no registró disminuciones y, por el contrario, subió un 2% sus ingresos (Saldivar, B. El Economista. Nota del 29 de enero 2021). En gran medida debido a que la agricultura, y la provisión de alimentos, fue considerada esencial en México y en la mayoría de países.

considered an essential activity in Mexico and most countries.

Preventive measures against COVID-19 in higher education institutions

The impact of COVID-19 on Universities and Research Institutes, whether public or private, has been deeply negative. Mexico's Secretary of Education implemented a lockdown that forced all educational institutions to convert to online mode since March 20, 2020 (<https://www.animalpolitico.com/2020/03/sep-adelanta-vacaciones-semana-santa-30-dias-coronavirus/>). Universities around the world, including the Universidad Michoacana University de San Nicolás de Hidalgo, in which I work as a Professor, implemented several measures to avoid COVID-19 contagions among teachers and students at all educational levels. These measures were based mainly on four principles:

- All classes, at all educational levels, must be delivered online;
- All research not considered essential or of critical importance should be suspended;
- Access to laboratories should be limited; safe distance must be maintained, and all users must wear a mask;
- Administrative activities will also be limited to a few people in constricted spaces such as offices.

Universities are at a crossroads. Should they continue to function or keep their student population away from the risk of contagion? Unfortunately, many of the professors of higher education institutions are part of the population at risk, which means that they are over 60 years old and suffer from chronic diseases such as hypertension, diabetes, cardiovascular or respiratory problems (Atalla *et al.*, 2021).

Acciones preventivas contra COVID-19 en instituciones de educación superior

El impacto que ha tenido COVID-19 en las Universidades e Institutos de Investigación, ya sean públicos o privados, ha sido muy negativo. La Secretaría de Educación Pública del país implementó un confinamiento para tomar clases en línea a todos los niveles educativos desde el 20 de marzo (<https://www.animalpolitico.com/2020/03/sep-adelanta-vacaciones-semana-santa-30-dias-coronavirus/>). Las Universidades del mundo y de nuestro país, incluyendo la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, a la cual pertenezco como Profesor Investigador, implementaron varias medidas para evitar el contagio COVID-19 en el profesorado y alumnos, incluyendo aquellos de posgrado, basándose esencialmente en cuatro puntos:

- Todas las clases de programas de bachillerato, licenciatura, Maestría y Doctorado, deben ser virtuales;
- Aquellas investigaciones que no son consideradas esenciales o críticas deben evitarse;
- La asistencia a laboratorios debe limitarse, mantener sana distancia y uso del cubrebocas;
- Las actividades administrativas también se limitarán a unas cuantas personas en espacios como oficinas.

Por supuesto, las Universidades se encuentran en la encrucijada de seguir funcionando y mantener a su población estudiantil sin riesgo de contagio. Desafortunadamente, muchos de los profesores de instituciones superiores son parte de la población de riesgo; es decir, tienen más de 60 años y padecen enfermedades crónicas como hipertensión, diabetes, problemas cardiovasculares o respiratorios (Atalla *et al.*, 2021).

Impact of COVID-19 on Scientific Research

In Mexico, the vast majority of scientific research and publications are done in public education institutions, although some private institutions are implementing strong measures to hire and retain teachers that also carry out research work (Ortega-Rubio *et al.*, 2020; Rodríguez-Miramontes *et al.*, 2017). The current confinement measures have had different effects on research activities. For example, researchers who work with living models, such as animals or plants, need to carry out experiments in person, but due to the existing restrictions for accessing institutional laboratories, many of the experiments have been truncated. Expensive materials and reagents have had to be discarded. Given the lack of strong financing sources, the damage is even greater.

Likewise, most of the research is carried out by graduate students as part of their thesis projects (Ortega-Rubio *et al.*, 2020; Mazón and Aguirre, 2017). Theoretical investigations, performed in 'dry' laboratories, where *in silico* research is carried out, have been the 'least affected' since they require only good computer equipment and the necessary software. Some students/advisers have chosen to change or modify the thesis topic due to the impossibility of carrying out certain experiments in laboratories or greenhouses. Students are forced to finish their research in time because some programs, including master's programs, which usually last 4 semesters, must fulfill their obligations toward CONACYT and other institutions, otherwise the students would not obtain their degree on time. In my case, we have been restricted to access the institution laboratories for almost a year (19 months at the time of publication; Editor's Note). Thus, 50% of the courses and research activities of master's students have been carried out away from the University. The effect on doctoral students has

Impacto de COVID-19 en la investigación científica

En México, la gran mayoría de las investigaciones y publicaciones se realizan en instituciones de educación pública, aunque algunas instituciones privadas están implementando fuertes acciones para contratar y retener profesores que realicen investigación (Ortega-Rubio *et al.*, 2020; Rodríguez-Miramontes *et al.*, 2017). En consecuencia, el actual confinamiento ha tenido diversos impactos en la investigación. Por ejemplo, los investigadores que requieren trabajar con modelos vivos, como animales o plantas, es necesaria su presencia para realizar experimentos, pero si es permitido el ingreso a laboratorios, muchos de los experimentos se ven truncados. En distintos casos se ha tenido que desechar materiales y reactivos, los cuales son costosos, y si no existe un financiamiento fuerte, el daño es mayor.

Así mismo, la gran mayoría de las investigaciones son realizadas por estudiantes de postgrado a través de sus proyectos de tesis (Ortega-Rubio *et al.*, 2020; Mazón y Aguirre, 2017). Las investigaciones teóricas o de laboratorios 'secos', donde se realiza investigación *in silico* han sido las 'menos afectadas', pues si se cuenta con un buen equipo de cómputo y los softwares necesarios, los análisis de datos pueden continuar casi en la normalidad. Algunos estudiantes/consejeros han optado por cambiar o modificar tema de tesis, ante la imposibilidad de realizar ciertos experimentos en laboratorio o invernadero. Esto último debido a que algunos programas, como los de Maestría, que usualmente son de 4 semestres, deben cumplir su programa previsto ante CONACYT e instituciones, para obtener el grado. En este caso, llevamos casi un año con restricciones de asistencia a laboratorios (19 meses al cierre de edición. Nota del Editor), por lo que el 50% de los estudios de estudiantes de maestría

been perhaps milder. However, they need to publish in prestigious journals, for which they require to carry out research activities in the laboratory in order to generate results. Thus, students face the dilemma of conducting quality research or staying healthy at home in the face of COVID-19.

How to keep investigating in the face of the COVID-19 threat?

In 2021, COVID-19 has continued to be a threat to the student, administrative and faculty populations. It is increasingly common to learn of infected students and teachers, as well as, sadly, of the death of beloved colleagues. Thus, how to keep investigating in the face of COVID-19? Although the question seems more philosophical than existential, confinement has had a tangible effect on the mental health of many students and teachers (Copeland *et al.*, 2021). The constant worry and stress generated by the confinement does are not conducive to the work of reviewing research works and theses, writing articles, and keeping publications up to date, all of which must be submitted to competency evaluation programs such as the ESDEPED (Program of Incentives to the Performance of Teaching Personnel), SNI (National System of Researchers), and internal financing programs, among others.

Some colleagues have chosen to continue performing their academic activities through online means and still present progress reports and seminars at a distance through online platforms such as Youtube, Meet, Bluejeans, etc., the use of some of them requires payment. These online platforms have undoubtedly 'saved' (and continue to do so) many academic programs and have allowed to maintain contact between colleagues, advisors, and undergraduate and graduate students. Postgraduate students have been able to present

han sido a distancia. En el caso de estudiantes de doctorado, quizás el efecto pueda ser menor; sin embargo, también en ellos existe la necesidad de publicar en revistas de prestigio, por lo que se necesita de continuar con las investigaciones y la asistencia a los laboratorios para generar resultados. Así, lo estudiantes enfrentan la paradoja de realizar investigación de calidad y mantenerse a sanos ante COVID-19.

¿Cómo seguir investigado ante la amenaza COVID-19?

Durante el 2021, COVID-19 sigue siendo un riesgo de contagio en la población estudiantil, administrativa y profesorado. Cada vez es más frecuente enterarse de estudiantes y profesores contagiados, y tristemente, del fallecimiento de colegas queridos. Por lo tanto, ¿Cómo seguir investigando teniendo en contra al COVID-19? Aunque la pregunta parece más filosófica que puramente existencial, es tangible el efecto que tiene el confinamiento en la salud mental de muchos estudiantes y profesores (Copeland *et al.*, 2021). Es decir, la preocupación, el estrés generado por el encerramiento no permite un desenvolvimiento total para seguir revisando trabajos de investigación, tesis, escribir artículos y mantener las publicaciones al día, las cuales son parte de diversas evaluaciones de competencia como los programas ESDEPED (Programa de Estímulos al Desempeño del Personal Docente), SNI (Sistema Nacional de Investigadores), programas internos de financiamiento, entre otros.

Algunos colegas han optado por continuar con interacciones en línea y seguir presentando avances de proyectos y presentación de seminarios a distancia, utilizando las plataformas como Youtube, Meet, Bluejeans, etc., algunas de ellas, o ciertas configuraciones, requieren un pago para su uso. Sin duda, estas plataformas en línea han 'salvado' (y lo

research progress seminars, a requirement for fulfilling the conditions established by CONACYT (National Council of Science and Technology) for all graduate programs that are part of the National Quality Graduate Program (PNPC).

Applied research requires experiments in agricultural fields, the use of greenhouses, and/or “wet” laboratories. This is the case of much of the research related to Plant Health. This type of research requires the physical presence of students, and in many cases of their academic advisers, especially when the students are just starting their research projects. Confinement measures have affected all work related to taking care of plants, maintaining research facilities, and purchasing research supplies. So that laboratories and greenhouses are not abandoned, students and staff have started to attend the university facilities on alternate days, in some cases only for a few hours. This has allowed students and other researchers to keep doing experimental work to some extent. Figure 1 shows students and professors working on a safe Lab environment. All of them immunized with different vaccines anti-SARS-CoV-2.

CONCLUSIONS

I sustain that researchers in Mexico and other Latin American countries have developed a certain resilience as a result of the public and institutional policies that influence their work. The opportunity to travel and carry out studies or research stays in countries with better economic conditions and scientific infrastructure has allowed us to gain a critical perspective on the situation with which we have to deal every day in our institutions. Bureaucratic procedures, an excessive administrative burden, strikes, delayed wages, multitasking not associated with didactic or

siguen haciendo) a muchos programas académicos y han mantenido el contacto entre colegas, asesores y estudiantes de licenciatura y posgrado. También, se han podido presentar seminarios de avances de investigación de postgrados, los cuales deben cumplir con las metas y evaluaciones que exige CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) a sus postgrados inscritos en el padrón del Programa Nacional de Postgrados de Calidad (PNPC).

En el caso de investigación aplicada, la cual requiere experimentos en campos agrícolas, uso de invernaderos, y/o laboratorios “húmedos”, como ocurre con gran parte de las investigaciones relacionadas con la Fitosanidad, requieren de la presencia física de estudiantes, y en muchos casos de los asesores, cuando los alumnos recién inician sus proyectos. El cuidado de las plantas, el mantenimiento mismo de las instalaciones, así como adquirir los insumos para la realización de experimentos, se ha visto también afectada. Por lo tanto, lo que se ha propuesto, en el mejor de los casos para no abandonar los laboratorios e invernaderos, es la rotación de estudiantes y personal por días, y en algunos casos, sólo por unas horas. Sin embargo, esto ha subsanado y permitido continuar con el trabajo experimental hasta cierto punto. La Figura 1 muestra a estudiantes y profesores trabajando en un ambiente seguro en el laboratorio. Todos ellos inmunizados con diferentes vacunas anti-SARS-CoV-2.

CONCLUSIONES

Puedo afirmar, que los que hacemos investigación en México, y en otros países de Latinoamérica, tenemos una resiliencia inducida por sostenidas políticas públicas e institucionales. Cuando hemos tenido la oportunidad de viajar y realizar estudios o estancias de investigación en países con un mejor desarrollo económico e infraestructura científica,

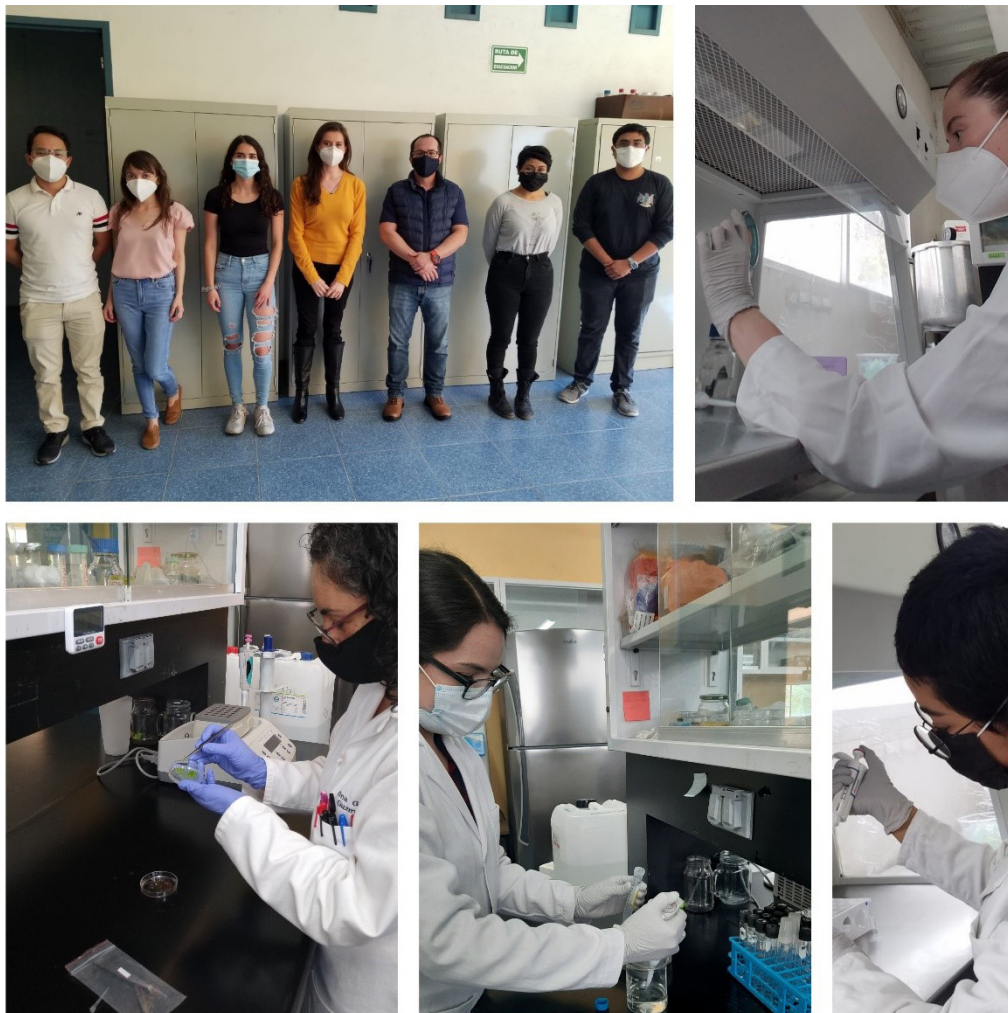


Figure 1. Photographic composition showing students and professor working on a safe Lab environment at the Institute of Chemical and Biological Research, UMSNH. All of them immunized with different vaccines anti-SARS-CoV-2. Pictures taken on October 21st, 2021.

Figura 1. Composición fotográfica que muestran a estudiantes y profesor trabajando en un ambiente de laboratorio seguro en el Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, UMSNH. Todos ellos inmunizados con diferentes vacunas anti-SARS-CoV-2. Fotografías tomadas el 21 de octubre de 2021.

research work, etc. Nonetheless, we still manage to carry out competitive research. If health allows us, Mexican researchers will continue working, adding to our daily challenges the problems created by this pandemic, to support our students and higher education institutions. Because of the passion we have for investigating and teaching, because Mexico, our country, requires and demands it.

percibimos con claridad las situaciones contra las que batallamos día a día en nuestras instituciones. Ya sea desde trámites burocráticos, excesiva carga administrativa, huelgas, retraso de salarios, multi-tareas que no corresponden al trabajo didáctico o de investigación, entre otras. No obstante, logramos hacer investigación competitiva. Los investigadores mexicanos seguiremos trabajando, sumando a

LITERATURE CITED

- Atalla E, Zhang R, Shehadeh F, Mylona EK, Tsikala-Vafea M, Kalagara S, Henseler L, Chan PA and Mylonakis E. 2021. Clinical presentation, course, and risk factors associated with mortality in a severe outbreak of covid-19 in Rhode Island, USA, April–June 2020. *Pathogens* 10(1): 1–10. <https://doi.org/10.3390/pathogens10010008>
- Copeland WE, McGinnis E, Bai Y, Adams Z, Nardone H, Devadanam V, Rettew J and Hudziak JJ. 2021. Impact of COVID-19 pandemic on college student mental health and wellness. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 60(1): 134-141.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2020.08.466>.
- Mazón M y Aguirre N. 2017. Los estudiantes universitarios, motor de la investigación. *College students, the driving force of research.* 7: 8–9.
- Ortega-Rubio A, Murillo-Amador B, Díaz-Castro S, Beltrán-Morales LF, Gómez-Anduro G, Castro-Iglesias C y Blázquez MC. 2020. COVID-19: Los reajustes en el trabajo de investigación científica en México. *Terra Latinoamericana* 38: 917-930. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.864>
- Hamadneh NN, Tahir M and Khan WA. 2021. Using artificial neural network with prey predator algorithm for prediction of the COVID-19: The Case of Brazil and Mexico. *Mathematics* 9(2): 180. <https://doi.org/10.3390/math9020180>
- Rodríguez-Miramontes J, González-Brambila CN y Maqueda-Rodríguez G. 2017. El sistema nacional de investigadores en México: 20 años de producción científica en las instituciones de educación superior (1991-2011). nuestros retos diarios esta pandemia, si la salud nos permite, por nuestros estudiantes e instituciones de educación superior. Por la pasión que tenemos para investigar y enseñar, porque México, nuestro país, lo requiere y exige.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

Investigación Bibliotecológica (Special Issue): 187–219. <https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2017.nesp1.57890>

Ruiz-Cantero MT. 2021. Health statistics and invisibility by sex and gender during the COVID-19 epidemic. *Gaceta Sanitaria* 35(1): 95–98. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.04.008>

Singh B. 2021. OUP accepted manuscript. *International Journal of Epidemiology*. 1–5. <https://doi.org/10.1093/ije/dyaa276>

Walker PGT, Whittaker C, Watson OJ, Baguelin M, Winskill P, Hamlet A, Djafaara BA, Cucunubá Z, Mesa DO, Green W, Thompson H, Nayagam S, Ainslie KEC, Bhatia S, Bhatt S, Boonyasiri A, Boyd O, Brazeau NF, Cattarino L. *et al.*, 2020. The impact of COVID-19 and strategies for mitigation and suppression in low- and middle-income countries. *Science* 369(6502): 413–422. <https://doi.org/10.1126/science.abc0035>

# Phytopathology teaching during COVID-19: UNA Costa Rica case

## La enseñanza de la Fitopatología en tiempos de COVID-19: Caso UNA Costa Rica

José Alonso Calvo-Araya, Laboratorio de Fitopatología, Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Costa Rica. C. Padre Royo, Heredia, Costa Rica. Corresponding author: alonso.calvo.araya@una.ac.cr

Received: February 04, 2021.

Accepted: March 20, 2021.

Calvo-Araya JA. 2021. Phytopathology teaching during COVID-19: UNA Costa Rica case. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 397-409.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-12>

**Abstract.** The pandemic caused by SARS-CoV-2 has been a challenge when it comes to teaching at a university level, and particularly when teaching plant pathology. As preventive strategies, lockdown and social distancing have been generalized in all countries. In Costa Rica, universities suspended in-person classes beginning in March 2020, and implemented virtual teaching-learning processes for bachelor's and postgraduate students. However, every course/professor has designed the virtual teaching strategies and models according to the socio-educational realities of the group. The teaching of plant pathology in Agronomy bases its teaching methods in laboratory practices and commercial productive units. This article presents strategies and regulations implemented by the National University of Costa Rica and applied to university teaching and reflects upon the achievements reached and the challenges in the plant pathology education in its virtual form.

**Resumen.** La pandemia mundial causada el virus SARS-CoV-2 ha representado un reto en el ámbito de la docencia universitaria y en especial a la enseñanza de la *Fitopatología*. Como estrategias preventivas el confinamiento y el distanciamiento social se ha generalizado entre países. En Costa Rica, las universidades suspendieron clases presenciales a partir de marzo 2020 y se implementaron procesos de enseñanza-aprendizaje virtuales para estudiantes de licenciatura y posgrado. Sin embargo, cada cátedra/profesor ha diseñado las estrategias y modelos de enseñanza virtual acorde a las realidades socioeducativas grupales. La enseñanza de la *Fitopatología* en Agronomía basa sus métodos de aprendizaje en prácticas de laboratorio y unidades productivas comerciales. En este artículo se exponen estrategias y disposiciones implementadas por la Universidad Nacional de Costa Rica aplicadas a la docencia universitaria, así mismo se plantea una reflexión sobre los logros alcanzados y los desafíos en la educación fitopatológica en la modalidad virtual.

**Palabras clave:** pandemia, enseñanza, Fitopatología, Agronomía, SARS-CoV-2

**Key words:** pandemic, teaching, plant pathology, agronomy, SARS-CoV-2

### Worldwide precedent of COVID-19

On December 31st, 2019, in the city of Wuhan, China the first cases of patients infected with the SARS-CoV-2 (Covid-19) virus were detected. This novel virus belongs to the subfamily of Orthocoronavirinae, genus *Coronavirus* and subgenus *Sarbecovirus* (beta-coronavirus, beta-2b), and within it, to clade or lineage 2, which is, genetically, much closer to the coronavirus of bats than to the human SARS. The genome of the SARS-CoV-2 is formed by a single-stranded RNA with about 30,000 nucleotides and 6 ORF (open reading frames), identical to the rest of the coronaviruses, and several additional genes (Reina, 2020) (Additional information in the paper by Hernán García in the first section of this special number. Editor's Note). SARS-CoV-2 causes COVID-19, a very contagious disease that expresses a high lethality, depending on risk factors such as chronic metabolic, respiratory and cardiovascular diseases (see Ikuri Álvarez, Section 1, Special Number). The disease may cause symptomatic or asymptomatic clinical profiles (Cantillo-Acosta and Sánchez-Fernández, 2020). The World Health Organization (WHO) declared a COVID-19 pandemic in March of 2020, indicating governments, people and companies to take immediate and effective action to mitigate and prevent a health emergency. Health systems and people play a crucial part in the minimization of the probabilities of infection-transmission and in reducing the impact on the economy and society.

The adoption of early, bold and efficient measures is expected to reduce short-term risks for employees and long-term costs for companies, the

### Antecedente mundial COVID-19

El 31 de diciembre 2019 se detectó en la ciudad de Wuhan en China los primeros casos de pacientes infectados con el virus del SARS-CoV-2 (Covid-19). El SARS-CoV-2 es un nuevo virus que pertenece a la subfamilia orthocoronavirinae, género *Coronavirus* y al subgénero *Sarbecovirus* (beta-coronavirus, beta-2b) y dentro de este al clado o linaje 2, que está mucho más próximo genéticamente a los coronavirus de los murciélagos que del SARS humano. El genoma del SARS-CoV-2 está formado por un ARN de una sola cadena de unos 30.000 nucleótidos y 6 ORF (open reading frames, en inglés), idénticos al resto de coronavirus, y varios genes adicionales (Reina, 2020) (Información adicional en el trabajo de Hernán García en la primera Sección de este Número Especial. Nota del Editor). El SARS-CoV-2 causa el COVID-19, enfermedad muy contagiosa que expresa elevada letalidad dependiendo de factores de riesgo como enfermedades crónicas metabólicas, respiratorias y cardiovasculares (ver Ikuri Álvarez, Sección 1, Número Especial). La enfermedad puede causar cuadros clínicos sintomatológicos y asintomáticos (Cantillo-Acosta y Sánchez-Fernández, 2020). La Organización Mundial de la Salud (OMS) decretó pandemia mundial a COVID-19 en marzo 2020, indicando la acción efectiva e inmediata de los gobiernos, las personas y las empresas para mitigar y prevenir la emergencia sanitaria. Los sistemas de salud y las personas tienen un rol fundamental para minimizar la probabilidad de infección-transmisión y reducir el impacto a la economía y sociedad.

La adopción de medidas tempranas, audaces y eficaces se espera que reduzca los riesgos de corto plazo para los empleados y los costos de largo plazo para las empresas, economía y sociedad ([www.who.int](http://www.who.int)). Al momento de la redacción de este trabajo, en el mundo existen más de cien millones de

economy and society ([www.who.int](http://www.who.int)). In February, 2021 there are over 100 million confirmed cases of people infected with COVID-19, causing over 2 million deaths worldwide, which has been an enormous challenge for the WHO and the health systems in different countries, particularly in developing nations ([www.who.int](http://www.who.int)). At the moment of writing this paper, the number of confirmed COVID-19 cases had risen to 240.6 million and 4.8 million deaths (Editor's Note). Currently, the world population and their governments are facing the challenge of the COVID-19 pandemic and all it represents, from an etiological, epidemiological and clinical point of view. There are no specific antivirals; the vaccine is still not being used in all countries and therefore the classic epidemiological recommendations (confinement, monitoring and follow-up) will help face this pandemic (Reina, 2020). By the first trimester of 2021, the WHO has approved the Pfizer/BioNTech, AstraZeneca/Oxford, Janssen, Moderna and Sinopharm vaccinations, all of which were developed at an unprecedented speed (Editor's note).

### **The context of COVID-19 in Costa Rica**

The first case of COVID-19 in Costa Rica was confirmed on March 6<sup>th</sup>, 2020. Straight away, the Ministry of Health of Costa Rica, along with the National Commission for the Prevention of Hazards and Attention to Emergencies, declared a state of yellow alert throughout the country and with this, the Executive Decree 42227-MP-S was issued on March 16<sup>th</sup>, 2020, by Carlos Alvarado Quesada, President of the Republic of Costa Rica; Silvia Lara Povedano, Minister to the Presidency, and Daniel Salas Peraza, Minister of Health ([www.presidencia.go.cr](http://www.presidencia.go.cr)). In this context, a great challenge is presented to universities, and particularly to those in which in-person attendance

casos confirmados de personas contagiadas por el COVID-19, causando más de dos millones de muertes a nivel mundial, lo que ha sido un gran desafío para la OMS y para los sistemas de salud de los diferentes países, principalmente aquellos en vías de desarrollo ([www.who.int](http://www.who.int)). Al cierre de la edición el número de casos confirmados COVID-19 ascendió a 240.6 millones y 4.8 millones de muertes (Nota del Editor). Actualmente, la población mundial y los gobiernos están frente al reto de la pandemia COVID19 y todo lo que representa desde el punto de vista etiológico, epidemiológico y clínico. No se cuentan con antivirales específicos, la vacunación aún no está siendo utilizada en todos los países y por lo tanto las recomendaciones epidemiológicas clásicas (confinamiento, vigilancia y seguimiento) permitirán hacerle frente a esta pandemia mundial (Reina, 2020). Al cierre de la edición, la OMS ha aprobado las vacunas Pfizer/BioNTech, AstraZeneca/Oxford, Janssen, Moderna y Sinopharm, las cuales se desarrollaron a una velocidad de investigación sin precedente (Nota del Editor).

### **El contexto COVID-19 en Costa Rica**

El primer caso de COVID-19 en Costa Rica se confirmó el 06 de marzo 2020. De inmediato, el Ministerio de Salud de Costa Rica, en conjunto con la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, dispusieron decretar el estado de alerta amarilla en todo el territorio costarricense y ante esto se emite el Decreto Ejecutivo 42227-MP-S el 16 de marzo 2020, por Carlos Alvarado Quesada, presidente de la República de Costa Rica; Silvia Lara Povedano, ministra de la Presidencia, y Daniel Salas Peraza, ministro de Salud ([www.presidencia.go.cr](http://www.presidencia.go.cr)). En este contexto, se plantea un gran reto para la educación universitaria y especialmente aquella donde la presencialidad y la práctica son de gran importancia como es



and practice are extremely important, such as in the case of Agronomy. Due to the high spread and infection rates of most of the variants of the virus, the measures taken include social distancing and the restriction of social activities. In this context, the higher education institutions in Costa Rica, such as the Universidad Nacional, have presented strategies to modify academic activities during the COVID-19 emergency, making it an opportunity to develop and implement new educational and didactic ways.

This article will review the regulations and initiatives taken for the bachelor's level studies in the Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), specifically in the plant pathology courses in the career of Agronomic Engineering and some possibilities of generalization in the country. A bibliographical search was carried out in presidential decrees, UNA University Council agreements, regulations and instructions of the Academic Vice-Chancellor of the UNA and other agreements and regulations of the Universidad Nacional.

### Digital Contingency Plan in the UNA

The regulations of the UNA regarding teaching-learning processes in the area of Agronomy have materialized into 2 important strategies: the suspension of in-person teaching activities in 2020 and the virtual or bimodal activity to continue with teaching activities via technological platforms. The preventive regulations for the temporary suspension of lessons in public and private educational centers, including universities, by the Ministry of Health of Costa Rica, led the Academic Council of the Universidad Nacional of Costa Rica to issue the agreement UNA-CONSACA-ACUE-045-2020 on March 20<sup>th</sup>, 2020, with which the implementation of the *Contingency Plan* is approved for in-presence

el caso de la Agronomía. Debido a las altas tasas de dispersión e infección de la mayoría de las variantes del virus, las medidas tomadas incluyen el distanciamiento social y restricción de actividades sociales. En este contexto, las instituciones de educación superior de Costa Rica, como la Universidad Nacional, han planteado estrategias tendientes a modificar las actividades académicas durante la emergencia por COVID-19, siendo esta una oportunidad para desarrollar e implementar nuevas formas pedagógicas y didácticas.

En el presente artículo se revisarán las disposiciones e iniciativas llevadas a cabo a nivel de grado en la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), específicamente en los cursos de *Fitopatología* impartida en la carrera de Ingeniería en Agronomía y algunas posibilidades de generalización en el país. Se realizó una búsqueda bibliográfica en decretos presidenciales, acuerdos del Consejo Universitario de la UNA, disposiciones e instrucciones de la Vicerrectoría de Docencia de la UNA y otros acuerdos y disposiciones de la Universidad Nacional.

### Plan de Contingencia Digital en la UNA

Las disposiciones de la UNA en procesos de enseñanza-aprendizaje del área de Agronomía se ha materializado en dos importantes estrategias: la suspensión de las actividades presenciales de docencia en el 2020; y la actividad virtual o bimodal para mantener actividades de docencia a través de procesos de plataformas tecnológicas. Las disposiciones preventivas para la suspensión temporal de lecciones en centros educativos públicos y privados, incluyendo la educación universitaria, por el Ministerio de Salud de Costa Rica, condujo al Consejo Académico de la Universidad Nacional de Costa Rica a emitir el acuerdo UNA-CONSACA-ACUE-045-2020 el 20 de marzo 2020, mediante el cual se aprueba la implementación del *Plan de*

and/or remote technologically assisted lessons ([www.consaca.una.ac.cr](http://www.consaca.una.ac.cr)). The *Contingency Plan* had an immediate effect on the plant pathology education process and displayed the strengths and weaknesses of a traditional, classroom- and laboratory-based education system in which digital technology did not have a predominant place. Because of this pandemic, educational institutions and faculty members have had to urgently resort to technological resources to carry out the didactic mediation processes.

Thus, in 2020, different actions were carried out in the UNA to guarantee the continuity of teaching activities by migrating courses to a virtually assisted realm. This implied the definition of strategies to adjust course programs. Education via technological media is a challenge for teachers and students, due to certain conditions required for their applications, such as:

- Availability of Internet connectivity. Implications in cost and reliability.
- Adequate environment for academic work at home.
- Adequate use of virtual platforms by teachers and students.
- Ability of teachers to adjust and teach courses virtually.
- Existence of academic digital technology support in the university.

The UNA has technological platforms and resources to contribute to the transformation of university education and to the development of the teaching-learning process with the use of Communication and Information Technologies (CIT), which were implemented or optimized during the phase of the ongoing pandemic: institutional virtual classroom, institutional email, Dropbox, delivery of printed material, Facebook,

*Contingencia* para la docencia presencial-remota asistida con tecnologías digitales ([www.consaca.una.ac.cr](http://www.consaca.una.ac.cr)). El *Plan de Contingencia* tuvo un efecto inmediato en la educación de la *Fitopatología* y puso en evidencia fortalezas y debilidades de un sistema tradicional de enseñanza basado en aula y laboratorio en el que la tecnología digital no ocupaba un lugar preponderante. Como consecuencia de esta pandemia se ha tenido que recurrir de forma inmediata a los recursos tecnológicos para llevar a cabo los procesos de mediación didáctica.

Así, en 2020, se ejecutaron diferentes acciones en la UNA para garantizar la continuidad de las actividades docentes mediante la migración de los cursos a la presencialidad virtual asistida. Esto implicó la definición de estrategias para realizar ajustes a los programas de cursos. La enseñanza-aprendizaje con medios tecnológicos digitales representa un desafío para académicos y estudiantes debido a ciertas consideraciones necesarias para su adecuada aplicación como:

- Conectividad a internet disponible. Implicaciones en costo y confiabilidad
- Ambiente adecuado para el trabajo académico en casa
- Manejo adecuado de plataformas virtuales por parte de docentes y estudiantes
- Capacidad del docente para adecuar y dictar cursos a distancia
- Existencia de un soporte académico tecnológico digital en la universidad.

La UNA cuenta con plataformas y recursos tecnológicas con el fin de contribuir a la transformación de la docencia universitaria y en el desarrollo de proceso enseñanza-aprendizajes mediante el uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), las cuales se implementaron u optimizaron durante la fase actual pandémica: Aula virtual

Google forms, Google docs, Classroom, Drive, Meet, Hangouts, Microsoft office 365, Microsoft Teams, One Drive, Skype, WhatsApp, YouTube and Zoom. Each one of these technological resources is free of cost for all faculty members and students.

In addition, the UNA established a technological integration model in university education as a cornerstone to implement the integration of digital technological resources in teaching and to contribute towards forming human resources with the knowledge and dexterity required for an appropriate professional development. In the same year, a survey was held among the students of the Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar (School of Earth and Ocean Sciences - FCTM), of which the Escuela de Ciencias Agrarias (School of Agrarian Science) is a part, and where Agronomic Engineering is taught. Fifty one percent of the FCTM students surveyed attended all lectures online or synchronically, 42.8% attended some lectures, and a small part, 1%, did not attend any virtual lectures (Figure 1). In terms of the duration of virtual lectures, 29% of the population expressed that they lasted between 2.3 and 3 hours, whereas 27.8% mentioned that they lasted over 3 hours. This type of analyses helped evaluate the potential of the technological resources available and displayed the limitations of teaching-learning in a virtual environment.

### Teaching Phytopathology in the UNA

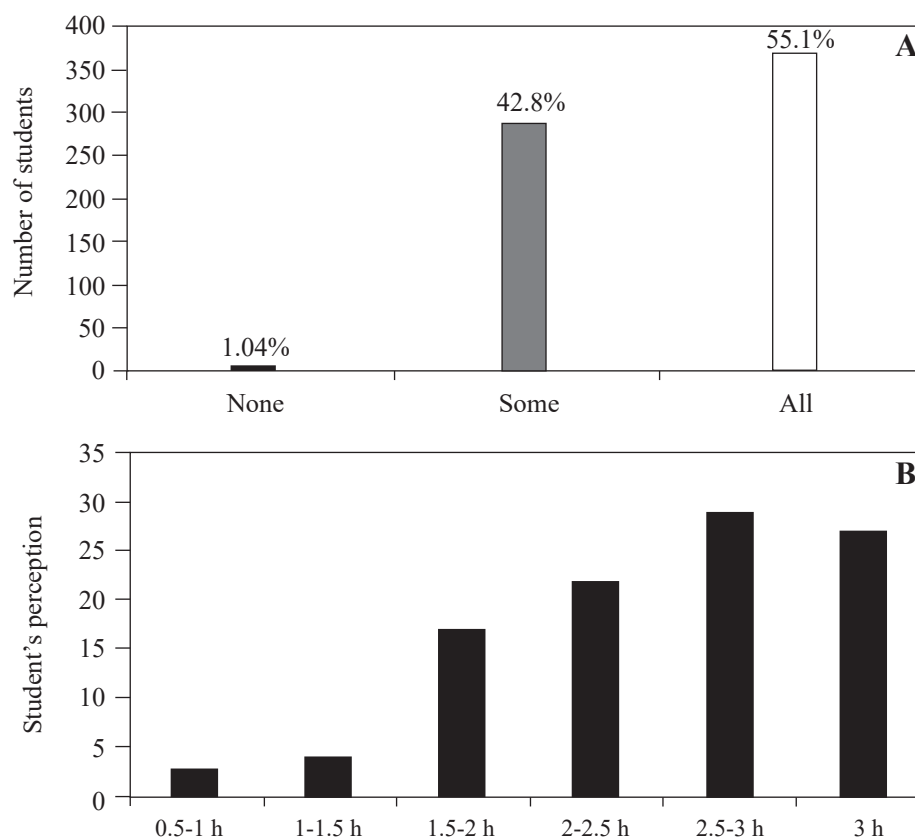
In the realm of teaching plant Phytopathology, the COVID-19 pandemic has had an immediate effect on education, displaying strengths, opportunities, and weaknesses of the academy in which CIT is at its peak and with a central position in didactic education mediation processes. The virtual teaching of plant pathology has produced a great challenge for the faculty members. In

institucional, correo electrónico institucional, Dropbox, envío de material impreso, Facebook, Google forms, Google docs, Classroom, Drive, Meet, Hangouts, Microsoft office 365, Microsoft Teams, One Drive, Skype, Whatsapp, YouTube y Zoom. Cada uno de estos recursos tecnológicos es de acceso gratuito para todo el personal académico y estudiantes.

Adicionalmente, la UNA estableció un modelo de integración tecnológica en docencia universitaria, como eje fundamental para implementar la integración de recursos tecnológicos digitales en la docencia y contribuir a formar recursos humanos con conocimiento y destrezas requeridas para un desarrollo profesional pertinente. En el mismo año, se realizó una encuesta a estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar (FCTM), donde pertenece la Escuela de Ciencias Agrarias en la cual se imparte la carrera de Ingeniería en Agronomía. El 55.1% del estudiantado FCTM asistió a todas las clases en línea o sincrónicas, 42.8% asistió a algunas de ellas y una minoría, 1%, no tomó ninguna clase virtual (Figura 1). Respecto a la duración de clases virtuales, el 29% de la población expresó que duraron entre 2.3 - 3 horas, mientras que el 27.8% menciona que duraron más de 3 horas. Este tipo de analices permitieron evaluar el potencial de los recursos tecnológicos disponibles. Evidenció al mismo tiempo las limitaciones que se tenían en la enseñanza-aprendizaje con un entorno virtual.

### La enseñanza de Fitopatología en la UNA

En el ámbito de la enseñanza de la *Fitopatología*, la pandemia por Covid-19 ha tenido un efecto inmediato en la educación, evidenciando fortalezas, oportunidades y debilidades de la academia donde el uso de TIC está teniendo un gran auge y pasando a ocupar un lugar preponderante en procesos de mediación pedagógica didáctica. La



**Figure 1. A.** Number and percentage of FCTM-UNA students that attended virtual lectures. **B.** Duration of virtual lectures according to the perception of students. Source: Department of Registration, UNA Costa Rica ([www.registro.una.ac.cr](http://www.registro.una.ac.cr)).

**Figura 1. A.** Número y porcentaje de estudiantes FCTM-UNA que atendieron clases virtuales. **B.** Duración de clases virtuales según la percepción de estudiantes. Fuente: Departamento de Registro, UNA Costa Rica ([www.registro.una.ac.cr](http://www.registro.una.ac.cr)).

addition, we acknowledge the effort made by the students to continue the educational process with this method.

The professor has the obligation of reviewing the conditions of every student enrolled in the course and asking them about internet connectivity problems to carry out their remote activities. Likewise, access to the materials provided by the faculty members had to be guaranteed. Among the main adjustments made are the development of easy-access and immediate communication tools such as the application WhatsApp, video

enseñanza virtual de la *Fitopatología* ha generado un gran reto de actualización del personal académico. Además, reconocemos el esfuerzo por parte del estudiantado para continuar el proceso educativo en esta modalidad.

El docente tiene obligación de revisar las condiciones de cada estudiante matriculado en el curso, consultarles sobre las dificultades de conectividad a internet para realizar sus actividades de manera remota. Así mismo se tuvo que garantizar el acceso a los materiales brindados por parte del personal académico. Dentro de los principales ajustes se



recording, tutorials of routine lab procedures such as the isolation of fungi, bacteria from plant and soil tissues, digitally sending material such as lab manuals or digital didactic guides. In addition, lectures were held via virtual platforms.

On the other hand, although some plant pathology thematic contents can be digitized, such as sampling methods, etiological studies, morphological characteristics of causal agents and disease management methods, the practice of learning by doing is always necessary. Students must be directly involved with lab procedures, field tours, sample processing and talking to farmers to understand the entire agricultural environment. One strategy was to implement the strategy '2020 Plant pathology, at a distance but together' which can be read in María del Milagro Granados in this Section (Editor's note)

In the ongoing lockdown situation, it has become necessary to carry out changes in the teaching-learning processes where different didactic learning mediation strategies are contemplated, but different to those usually used in the agricultural sphere. The sphere of plant pathology has solid theoretical bases with which it can be taught using traditional processes; however, more experience and methodology is still required in virtual realms. Virtual education seems to have an advantage over the in-person format. When the educational designs are accurate, the quality of digital learning is proven. The efficiency of these systems is, at least, like in-person systems. On the other hand, this article poses the debate on innovations and disruptive technologies, suggesting that digital education (new version of distance education) is supposing an educational disruption, since it contemplates a drastic change in supports and methods, and because it is gradually gaining ground over conventional formats (García-Aretio, 2017). Virtual didactic education mediation processes tend to favor interpersonal communication and

pueden mencionar: Desarrollo de herramientas de comunicación de acceso fácil e inmediatas como grupos de la aplicación WhatsApp, grabación de vídeos, tutoriales de procedimientos de laboratorio rutinarios como aislamiento de hongos, bacterias de tejidos vegetales y de suelo, envío de material por vía digital como manuales de laboratorio, guías didácticas digitales. Así mismo se impartieron clases virtuales por medio de plataformas de virtuales.

Por otro lado, aunque algunos contenidos temáticos de *Fitopatología* pueden digitalizarse, como métodos de muestreo, estudios etiológicos, características morfológicas de agentes causales y métodos de manejo de enfermedades, siempre es necesaria la práctica de aprender haciendo. Los estudiantes deben estar involucrados directamente con procedimientos de laboratorio, giras de campo, procesamiento de muestras y dialogar con los agricultores para comprender todo el entorno agrícola. Una estrategia fue la implementación de la estrategia '2020 *Fitopatología, a la distancia pero juntos*' que puede leerse en María del Milagro Granados en esta Sección (Nota del Editor)

En el confinamiento actual es necesario realizar cambios en los procesos de enseñanza-aprendizaje donde se contemple distintas estrategias de mediación pedagógica didáctica diferente a las convencionales en el ámbito agrícola. El área de *Fitopatología* tiene robustas bases teóricas para enseñanza con el proceso tradicional; sin embargo, en entornos virtuales aún se requiere desarrollar mayor experiencia y metodologías. La enseñanza virtual parece tomar ventaja sobre los formatos presenciales. Cuando los diseños pedagógicos didácticos son acertados, la calidad de los aprendizajes digitales está probada. La eficacia de estos sistemas es, al menos, similar a los presenciales. Por otra parte, se plantea en este trabajo el debate sobre innovaciones y tecnologías disruptivas, proponiendo que el aprendizaje digital (nueva versión de la educación a distancia) está suponiendo una interrupción

the interaction is quick and can be carried out at any moment, which stimulates the 'direct' contact between teacher and student. However, in virtual realms, does away with the need to meet 'face-to-face' with fellow students, socialize, discuss, study together as a group, all of which are elements that contribute to the comprehensive formation of citizens and which do not derive from the curriculum *per se*, but from the community and the universality of ideas represented by a university context. Likewise, virtual attendance has a greater flexibility in terms of movement and times, i.e., replacing the professor is much easier in this format, which in turn contributes to the timelessness and the destruction of the educational community (Ralón *et al.*, 2004).

#### **Advantages and Disadvantages of CIT in Virtual Education**

Herrera-Añazco and Toro-Huamanchumo (2020) state that virtuality presents a series of advantages, although there are several limitations that must be analyzed in order to optimize the teaching-learning process in times of COVID19. The virtual teaching experience is summarized in Table 1. The updating and migration to digital platforms may imply a lengthy period and requires planning. One of the main problems was that, due to lockdown, the updating and adaptation of phytopathology practice activities requires creativity.

In 2020, many research centers, both public and private, were working at a distance, which made it difficult for students to attend these institutes in person to learn modern plant pathogen identification and handling techniques from experts. Despite this way of working at a distance, professors and researchers remained in contact via videoconferences in platforms such as Microsoft Teams and Zoom. The area of plant pathology

educativa porque plantea un cambio drástico de soportes y métodos, y porque progresivamente va ganando espacios a los formatos convencionales (García-Aretio, 2017). Los procesos de mediación pedagógica didáctica virtual tienden a favorecer la comunicación interpersonal y la interacción es rápida y en cualquier momento, lo cual estimula el contacto 'directo' entre docente y alumno. Sin embargo, en la virtualidad desaparece la necesidad de reunirse 'cara' a 'cara' con compañeros, socializar, discutir, estudiar en grupo, todos elementos que contribuyen a una formación ciudadana integral y que no derivan de la malla curricular *per se* sino de la comunidad y de la universalidad de ideas que representa un entorno universitario. Así mismo la presencialidad virtual tiene mayor flexibilización laboral de desplazamiento y tiempos; es decir, que remplazar al docente de turno es mucho más fácil en este formato, lo que a su vez contribuye a la intemporalidad y a la destrucción de la comunidad educativa (Ralón *et al.*, 2004).

#### **Ventajas y desventajas de TIC en la enseñanza virtual**

Herrera-Añazco y Toro-Huamanchumo (2020) plantean que la virtualidad presenta una serie de ventajas, sin embargo, también hay varias limitaciones que deben ser analizadas para optimizar el proceso enseñanza-aprendizaje en tiempos Covid-19. La experiencia docente virtual puede resumirse en el Cuadro 1. La actualización y migración a plataformas digitales pueden implicar un tiempo prolongado y requiere planeación. Uno de los principales problemas fue que debido al confinamiento, los procesos de actualización y adecuación de actividades prácticas fitopatológicas requirieron creatividad.

En el 2020, muchos centros de investigación, tanto estatales como privados, estuvieron operando bajo teletrabajo, lo cual ocasionó que los estudiantes

**Table 1. Advantages and disadvantages of the teaching-learning process via CIT in virtual mode in response to lockdown policies and social distance due to COVID-19.**

**Cuadro 1. Ventajas y desventajas del proceso enseñanza-aprendizaje mediante sistemas TIC en modalidad virtual en respuesta a políticas de confinamiento y sana distancia ante COVID-19.**

| Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminuye la probabilidad de contagio por evitarse actividades presenciales</li> <li>- Evita gasto de las Universidades en equipos de protección personal</li> <li>- Facilita la 'entrega' de materiales en tiempo real mediante diferentes medios digitales</li> <li>- Actualiza a los docentes en entornos virtuales, i.e. TIC</li> <li>- Evita el desplazamiento a centros de estudios debido al confinamiento</li> <li>- Pueden integrarse clases/conferencias con docentes nacionales y/o internacionales</li> <li>- Puede integrarse al curso eventos científicos nacional o internacionales</li> </ul> |
| Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- No todas las universidades tienen plataformas virtuales robustas y soporte técnico.</li> <li>- Docentes pueden estar renuentes al cambio a modalidad virtual</li> <li>- Requiere motivación tanto de profesores como alumnos</li> <li>- Recargo atemporal de tareas y funciones</li> <li>- No todos los estudiantes tienen acceso a equipo tecnológico</li> <li>- Limitada experiencia en enseñanza-aprendizaje virtual</li> <li>- Limita retroalimentación en tiempo real y pérdida del contacto visual de conjunto.</li> <li>- Comportamientos antiéticos (plagio, copia en evaluaciones).</li> </ul>       |

diagnosis has needed to use virtual classrooms and different technological resources such as tutorials, videos, case studies and asynchronous virtual (personalized) and synchronous (group) activities to give the students the available opportunities and resources for an appropriate and competent education.

In the *virtual active* learning, the use of mobile apps such as Kahoot were implemented. In the *flipped classroom*, reading and videos were assigned through a platform for virtual group discussions. In 'design thinking,' experiments were held in labs, farms and students' homes, using plants inoculated with pathogens known by the professor. The idea was that students tried to find the identity of the infectious process of the diseased plants using the techniques of isolation, identification,

tuvieran dificultad para visitar estos institutos y conocer técnicas modernas de identificación y manejo de fitopatógenos por parte de expertos. A pesar de esta modalidad de teletrabajo, los docentes e investigadores se mantuvieron en contacto a través de videoconferencias por medio de plataformas como Microsoft teams y Zoom. En el área de diagnóstico fitopatológico, se ha tenido que hacer uso de aulas virtuales y recurrir a diferentes recursos tecnológicos como tutoriales, videos, estudios de caso y actividades virtuales asincrónicas (personalizadas) y sincrónicas (grupales) para otorgar al estudiantado las oportunidades y recursos disponibles para una enseñanza oportuna y competente.

En el aprendizaje *activo virtual* se implementó el uso de aplicaciones de telefonía móvil como Kahoot. En el *aula invertida* se asignaron lecturas

and diagnosis, which were reviewed in person in the laboratory before lockdown. In this way, the knowledge acquired was put into practice and students faced a real case belonging to their discipline as future agronomists. The main result of the academic innovation was the increased interest of students. Nowadays, students are not missing virtual lectures and there is an active participation within the teaching-learning process.

### Perspectives

Optimizing the virtual teaching-learning process in plant pathology requires the articulation of three types of innovations:

1. Innovation at an institutional level, where policies are defined and decisions are made regarding the strategies to implement the discipline.
2. Curricular innovation to define the educational thematic structure and construction of strategies to gather information on the needs and demands of students, and vision of professors.
3. Didactic educational innovation: **a)** Didactic planning practices: creation of records, construction of models and definition of virtual processes; **b)** Virtual didactic intervention practices and selection of CIT for education; **c)** practices of evaluations of education with the design of instruments and the construction of virtual strategies.

Although the virtualization of the contents of plant pathology courses has become an alternative, like the possibility of sharing didactic videos of lab procedures or meetings through platforms to discuss specific cases and topics of phytopathological interest, these will not replace the learning of abilities that can only be obtained in the laboratory and on the fields. Virtuality as a product of the

y videos el aula virtual por medio de una plataforma virtual para discusión virtual grupal. En ‘design thinking’ se emplearon experimentos de laboratorio, fincas y en casas de los estudiantes donde se utilizaron plantas inoculadas con patógenos conocidos por el docente. La idea fue que los estudiantes trataran de averiguar la identidad del proceso infeccioso de las plantas enfermas empleando las técnicas de aislamiento, identificación y diagnóstico que se lograron revisar presencialmente en laboratorio antes del confinamiento. De esta manera se pusieron en práctica los conocimientos adquiridos y se enfrentaron a un caso real propio de su disciplina como futuros agrónomos. Los principales resultados de la innovación académica fue mayor interés de estudiantes. Actualmente, los estudiantes no se ausentan a clases virtuales y hay participación activa dentro del proceso enseñanza-aprendizaje.

### Perspectivas

Optimizar el proceso enseñanza-aprendizaje virtual en *Fitopatología* requiere articular tres tipos de innovaciones:

1. Innovación a nivel institucional donde se definen políticas y se toman decisiones en cuanto a las estrategias para implementar la disciplina.
2. Innovación curricular para definir de la estructura temática educativa y construcción de estrategias de recolección de información de necesidades y demandas de estudiantes, y visión de profesores.
3. Innovación pedagógica didáctica: **a)** Prácticas de planeación didáctica: elaboración de registros, construcción de modelos y definición de procesos virtuales; **b)** Prácticas de intervención didáctica virtual y selección de TIC para la enseñanza; **c)** prácticas de evaluación de los aprendizajes con diseño de instrumentos y construcción de estrategias virtuales.



pandemic has allowed us to raise some questions:

Is it necessary and crucial to be physically present to teach plant pathology or other areas of agricultural science?

Can its presence be replaced by a virtual presence?

The continuous evolution of the digital technology is creating and setting a precedent in the traditional way of the teaching-learning processes. As a result of the pandemic, there is the hope of a narrowing digital gap and of an improvement of CIT applied to teaching-learning processes, allowing a greater versatility and access to remote areas.

## CONCLUSIONS

The pandemic caused by COVID-19 has presented challenges in agricultural education, both worldwide and nationally, and continues to do so. The virtual teaching-learning process of plant pathology in Agronomy in the UNA is inevitable in Costa Rica during the ongoing COVID-19 pandemic. However, didactic educational strategies must be developed to ensure that students acquire the knowledge and abilities needed to tackle their professional challenges. This process will help lay the foundations of agronomic education in future health challenges, but also to promote models for university connections with society. Each university or institution has responded according to its possibilities to obtain the greatest benefits and knowledge from virtualization.

## LITERATURE CITED

Cantillo-Acosta L y Sánchez-Fernández NE 2020. Referentes sobre la prevención de la COVID-19 en Estomatología. Revista información científica 99(2). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid)

Aunque la virtualización de contenidos de cursos de *Fitopatología* se ha convertido en una alternativa, así como la posibilidad de compartir videos didácticos de procedimientos de laboratorio, o reuniones vía plataformas para la discusión de casos y tópicos específicos de interés fitopatológico, estos no reemplazarán el aprendizaje de habilidades que solo es posible en laboratorio y campos agrícolas. La virtualidad como producto de la pandemia nos ha permitido hacernos algunos cuestionamientos:

¿Es necesaria e imprescindible la presencialidad para la enseñanza de la *Fitopatología* u otras áreas de las ciencias agrícolas?

¿Puede ser sustituida por presencialidad virtual?

La evolución continúa de la tecnología digital está creando y estableciendo un precedente en la forma tradicional de los procesos de enseñanza-aprendizaje. Se espera que producto de la pandemia, se reduzca la brecha digital y se mejoren los TIC aplicados a los procesos enseñanza-aprendizaje permitiendo mayor versatilidad y acceso a áreas remotas.

## CONCLUSIONES

La pandemia ocasionada por el COVID-19 planteó y continúa exhibiendo retos en la enseñanza agrícola tanto a nivel mundial como nacional. El proceso enseñanza-aprendizaje virtual de la *Fitopatología* en Agronomía de la UNA es inevitable en Costa Rica durante la actual pandemia COVID-19. Sin embargo, se deben desarrollar estrategias pedagógicas didácticas para asegurar que el estudiante adquiera los conocimientos y habilidades necesarios para enfrentar sus retos profesionales. Este proceso servirá para sentar las bases de la enseñanza agronómica en futuros riesgos sanitarios, pero también para incentivar modelos de vinculación universitarios con la sociedad. Cada universidad

=S1028-99332020000200188

Consejo Académico. Acuerdos 2020. Disponible en: <https://www.consaca.una.ac.cr/index.php/documentos/category/65-acuerdos-2020>. Revisado 02 de febrero de 2021.

Departamento de registro, Universidad Nacional. 2020. Implementación de la docencia remota. [www.registro.una.ac.cr](http://www.registro.una.ac.cr). Revisado 02 de febrero de 2021.

García-Aretio L. 2017. Educación a distancia y virtual: calidad, disrupción, aprendizajes adaptativo y móvil. RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia 20(2):9-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.5944/ried.20.2.18737>

Herrera-Añazco P y Toro-Huamanchumo C. 2020. Educación médica durante la pandemia del COVID -19: iniciativas mundiales para el pregrado, internado y el residentado médico. Acta Medica Perú 37(2):169-75. <http://dx.doi.org/10.35663/amp.2020.372.999>.

Decreto Ejecutivo 42227-MP-S. Presidencia de Costa Rica. 2020. Implementación de la docencia remota. <https://www.presidencia.go.cr/bicentenario/wp-content/uploads/2020/03/Decreto-Ejecutivo-42227-Emergencia-Nacional.pdf>. Revisado 02 de febrero de 2021

o centro de enseñanza ha respondido de acuerdo con las posibilidades institucionales con el fin de obtener los mayores beneficios y aprendizajes de la virtualización.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

Ralón L, Vieta M y Vásquez ML. 2004. (De)formación en línea: acerca de las desventajas de la educación virtual. Comunicar 22: 171-176

Reina, J. 2020. El SARS-CoV-2, una nueva zoonosis pandémica que amenaza al mundo. Vacunas 2 1(1):17-22. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15802226>

World Health Organization. Coronavirus disease (COVID-19). Situation Report. 2021. www.who.int. Revisado 02 de febrero de 2021

Teaching and research in plant health in times of COVID-19

La enseñanza e investigación en fitosanidad en tiempos de COVID-19

Alma Rosa Solano-Báez, Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Los Mochis, Boulevard Macario Gaxiola y Carretera Internacional s/n Los Mochis, Sinaloa, CP 81223, México; **Fernando Lara-Rojas, Guillermo Márquez-Licona***, Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Carretera Yautepec-Jojutla, Km. 6, Calle CeProBi No. 8, Colonia San Isidro, Yautepec, Morelos, CP 62731, México. *Corresponding author: gmarquezl@ipn.mx

Received: February 25, 2021.

Accepted: March 28, 2021.

Solano-Báez AR, Lara-Rojas F and Márquez-Licona G. 2021. Teaching and research in plant health in times of COVID-19. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 410-420.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-16>

Abstract. The current pandemic caused by the SARS-CoV-2 virus has led to radical changes in the teaching and research of *plant health*. Confinement forced us to make a rapid transition from the in-person model to virtual environments using different digital platforms such as Google, Microsoft Teams, Blackboard, Moodle. Research activities were planned based on a strict access schedule for students and academics when using research facilities. Theoretical subjects were taught in completely virtual settings, incorporating playful learning tools such as ‘*flipped classroom*’ and *gamification*. In theoretical-practical subjects, such as *Introduction to Plant Pathology*, new teaching schemes were designed. The most successful and innovative model was to take the laboratory to the student’s home. Students used conventional

Resumen. La pandemia actual causada por el virus SARS-CoV-2 ha originado un cambio radical en la enseñanza e investigación en *Fitosanidad*. El confinamiento obligó una rápida transición de un modelo presencial a un ambiente virtual mediante diferentes plataformas digitales como Google, Microsoft Teams, Blackboard, Moodle. En investigación, las instituciones programaron actividades mediante estricta calendarización de ingresos de alumnos y académicos. Las materias teóricas se impartieron completamente virtuales incorporando herramientas de aprendizaje lúdicas como ‘*aula invertida*’ y la *gamificación*. En asignaturas teórico-prácticas, como *Introducción a la Fitopatología*, se diseñaron nuevos esquemas de enseñanza. El modelo más exitoso y novedoso fue ‘llevar’ a casa del alumno el laboratorio de prácticas. Cada alumno adecuó diferentes materiales convencionales para realizar aislamientos e identificación de hongos fitopatógenos a través del *Foldscope*. Un microscopio de papel con resolución de hasta dos micras, con un precio menor a 200 MXN. La innovación de la enseñanza-aprendizaje puede optimizar el modelo de videoconferencia comúnmente adoptado.

materials to isolate and identify phytopathogenic fungi through the *Foldscope*, a paper microscope with a resolution of up to two microns, priced less than 200 MXN. Teaching-learning innovation can improve the commonly adopted model of video conferences.

Key words: Foldscope, digital platforms, gamification of learning, SARS-CoV-2

COVID-19 and essential activities

The current pandemic caused by the SARS-CoV-2 virus has led to radical changes in the way we relate to others. Psychological and mental health problems are expected to arise during and after the pandemic (Antiporta and Bruni, 2020). Across the world, teaching and research activities made a sudden transition from the in-person model to a virtual one using different digital platforms (ECLAC, 2020). Following the declaration of an international public health emergency by the World Health Organization (WHO), unprecedented mitigation and preventive measures were adopted throughout the world, including the closure of non-essential socio-economic activities, social distancing, and voluntary or compulsory confinement of the population, enforced by the threat of imprisonment or heavy fines. These strategies affected all scientific areas and plant health was no exception. In Mexico, public health authorities implemented voluntary confinement on March 23, 2020 (DOF, 2020). In the face of the resulting confusion and uncertainty, phytosanitary teaching and research activities were almost completely paralyzed in several institutions, together with all non-essential activities. However, since agricultural production was classified as an essential activity, and plant health is a crucial discipline for the establishment of plant safety,

Palabras clave: Foldscope, plataformas digitales, gamificación del aprendizaje, SARS-CoV-2

COVID-19 y actividades esenciales

La pandemia actual causada por el virus SARS-CoV-2 ha originado un cambio radical en la forma en que nos relacionamos con los demás, incluso se esperan problemas psicológicos y de salud mental durante y después del desarrollo de la pandemia (Antiporta y Bruni, 2020). La enseñanza e investigación a nivel global transitó súbitamente de un modelo presencial a uno virtual, a través de diferentes plataformas digitales (CEPAL, 2020). A partir de la declaratoria de emergencia en salud pública internacional por la Organización Mundial de la Salud (OMS) se adoptaron medidas de mitigación y prevención sin precedente a nivel mundial, incluyendo cierre de actividades socio-económicas no esenciales, distanciamiento social y confinamiento de la población voluntario u obligatorio coaccionado con encarcelamiento o multas onerosas. Estas estrategias, afectó todas las áreas científicas y la fitosanidad no fue la excepción. En México, las autoridades de salud pública, implementaron el confinamiento voluntario el 23 marzo del 2020 (DOF, 2020). Ante el desconcierto e incertidumbre, la enseñanza e investigación fitosanitaria en varias instituciones quedó paralizada casi por completo, al igual que todas las actividades consideradas no esenciales. Sin embargo, la producción agrícola fue categorizada esencial dentro del modelo COVID-19 preventivo, por lo tanto, siendo la fitosanidad una disciplina fundamental para programas de inocuidad, calidad y sanidad productiva, estimuló la reanudación de actividades en instituciones de educación e investigación pública enfocadas a esa disciplina de forma discrecional, e incluso algunas no cesaron sus actividades. Siempre aplicando las medidas preventivas establecidas por la Secretaría

quality, and productive health programs, different public institutions were motivated to resume, in a discretionary manner, education and research activities focused on plant health. Some of these institutions never ceased to carry out such activities, following the preventive guidelines issued by the Secretary of Health. The essential nature of plant health studies was explicitly recognized by the United Nations with the “2020, International Year of Plant Health” (see Letter to the Editor from Jorge Gutiérrez. Editor’s Note).

In Mexico, agricultural activities were not suspended during the pandemic. Primary productive activities maintained their usual rhythm. However, some production chains were affected by the disruption of transport networks and the supply of highly specialized inputs (e.g., fertilizers, pesticides, packaging materials, etc.). The agricultural sector was the only one that maintained a positive growth rate during the pandemic, proving that food production is essential for humanity. Despite the increasing loss of human life from SARS-CoV-2 and the collapse of national economies throughout the world, global demand for food continued to increase. Nevertheless, society does not understand the full economic and social value of agriculture. In many countries, agricultural production has even been undermined as a hindrance to modernity, compromising self-sufficiency and food security. The current pandemic has shown the fragility of economies based mostly on services and tourism, with large, high-income cities suffering from food shortages, whereas economies with a tradition of primary production activities, including rural communities, were able to remain self-sufficient.

The reaction of the plant health academic sector

As weeks of confinement went by and the global pandemic did not seem to yield to mitigation

de Salud. Explícitamente, el carácter esencial de la fitosanidad fue reconocida por la Organización de las Naciones Unidas con el ‘2020 Año Internacional de la Sanidad Vegetal’ (ver Carta al Editor de Jorge Gutiérrez. Nota del Editor).

En México, las actividades agropecuarias no han sido suspendidas durante el desarrollo de la pandemia. Los eslabones primarios productivos han mantenido su ritmo. Sin embargo, algunas cadenas fueron afectadas por la ruptura de suministros de insumos altamente especializados (p.e., fertilizantes, pesticidas, material de empaque, etc.) y ciertas cadenas de transporte. Por esta razón, este sector ha sido el único que ha mantenido una tasa de crecimiento positivo durante la pandemia probando que la producción de alimentos es fundamental para la humanidad. A pesar de la creciente pérdida de vidas humanas por SARS-CoV-2 y el colapso de las economías, la demanda global de alimentos continúa incrementándose. No obstante, la sociedad no percibe el valor económico y social de la agricultura, y en muchos países incluso desarticulada estructuralmente bajo la premisa de modernidad comprometiendo la autosuficiencia y seguridad alimentaria. Actualmente, la pandemia ha evidenciado la fragilidad de economías basadas fuertemente en servicios y turismo, con grandes urbes, de alto poder adquisitivo, padeciendo desabasto de alimentos. Mientras que economías con tradición productiva primaria, incluyendo las comunidades rurales, mantuvieron su autoabastecimiento.

La reacción del sector académico fitosanitario

Conforme las semanas de confinamiento avanzaron y la pandemia global no parecía ceder a las acciones de mitigación, la inminente necesidad de continuar con la enseñanza e investigación impulsó a retomar las actividades. Las condiciones adversas despertaron la creatividad y en un periodo corto se

measures, the need to continue teaching and research in plant health prompted a resumption of academic activities. Adversity bred creativity and in a short period, there was a revolution in teaching and research in plant health. There were contrasts, of course, depending on the capacity for resilience and leadership among institutions and individuals. The rapid adaptation to the 'new normality' made it possible to resume academic and research activities, in some cases with greater impetus, to make up for the time lost during the period of confinement. Although the health sector had not faced a health crisis of this magnitude since the middle of the last century, its response was quick and effective. There are indeed areas of opportunity, but we appreciate the public benefits of establishing flexible guidelines that allowed for the partial opening of economic activities, the voluntary nature of confinement, and the resumption of in-person research activities, all without increasing public debt.

In the case of research activities in the phytosanitary area, mainly in postgraduate studies, the relevant academic institutions reopened activities under a strict access schedule for staff, students, and academics. Hybrid schemes (in-person/remote) and alternate working schedules for academics were used to ensure the continuity of tutoring and research projects. This was meant to reduce the risk of contagion in educational facilities. As part of the 'new normality', comprehensive sanitary protocols were put in place to regulate access, movement, permanence, and performance of essential activities inside academic facilities.

Teaching during confinement

Teaching theoretical subjects under the conditions imposed by the pandemic was a major challenge, having to transition from in-person to remote settings in a matter of days.

generó una revolución en la enseñanza e investigación en fitosanidad, lógicamente con contrastes en función de la capacidad de resiliencia y de liderazgos institucionales e individuales. La rápida adaptación a la 'nueva normalidad' permitió retomar las actividades académicas y de investigación, en algunos casos con más fuerza, con el propósito de recuperar el tiempo perdido durante el periodo de confinamiento. Aunque desde mitad del siglo pasado no habíamos enfrentado a un evento pandémico de esta magnitud, la capacidad de repuesta del sector salud fue rápida y eficaz. Es cierto que existen áreas de oportunidad, pero confiamos en las directrices que han permitido el cierre parcial de las actividades económicas, el carácter voluntario del confinamiento y la permisividad para desarrollar actividades de investigación de forma presencial y sobre todo sin endeudamiento público.

En el caso de las actividades de investigación en el área fitosanitaria, principalmente en postgrados, las instituciones programaron el reinicio de actividades mediante estricta calendarización de ingresos de personal, alumnos y académicos. De igual forma, se optó por esquemas híbridos (presencial/remoto) para la continuidad y tutoría de los proyectos de investigación, así como esquemas de alternancia académica. Lo anterior con el propósito de reducir riesgos de contagio dentro de instalaciones educativas. Del mismo modo, para reforzar la sanidad dentro de las instalaciones, fue necesario el desarrollo e implementación de planes integrales para el regreso a las actividades en el esquema de la 'nueva normalidad', en los cuales se incluyeron protocolos para el ingreso, desplazamiento, permanencia y conducción de actividades esenciales.

La enseñanza durante el confinamiento

La enseñanza teórica en el esquema de la nueva modalidad representó un reto importante, al pasar

However, the change was manageable due to the availability of digital platforms for the creation and administration of virtual classrooms (Table 1), videoconferencing (Table 2), and remote storage (Table 3). The large offer of connectivity and payment services in Mexico favored this digital

de un esquema presencial a uno remoto en días. Sin embargo, el cambio fue manejable debido a la disponibilidad de plataformas digitales para la creación y administración de aulas virtuales (Cuadro 1), aplicaciones de videoconferencias (Cuadro 2) y almacenamiento remoto (Cuadro 3), mismas que

Table 1. Main digital systems for using virtual classrooms in a web environment.
Cuadro 1. Principales sistemas digitales para la impartición de aulas virtuales en un entorno web.

| Sistema | Descripción | Vínculo digital |
|-------------------|---|---|
| Classrom (Google) | Plataforma que permite crear aulas virtuales | https://edu.google.com/intl/es/products/classroom/ |
| Microsoft Teams | Plataforma con diferentes herramientas para el trabajo colaborativo | https://www.microsoft.com/es-mx/microsoft-teams/group-chat-software |
| Blackboard Learn | Sistema de gestión de aprendizaje (aula virtual). | https://www.blackboard.com/es-lac/teaching-learning/learning-management/blackboard-learn |
| Moodle | Herramienta de gestión de aprendizaje de distribución libre. | https://moodle.org/?lang=es |

Table 2. Digital systems for video conferencing in a web or mobile phone environment.
Cuadro 2. Sistemas digitales para videoconferencias en un entorno web o telefonía móvil.

| Sistema | Vínculo digital |
|-----------------|---|
| Meet | https://meet.google.com/ |
| Microsoft Teams | https://www.microsoft.com/es-mx/microsoft-teams/group-chat-software |
| Zoom | https://zoom.us/ |
| Skype | https://www.skype.com/es/ |
| Webex | https://www.webex.com/es/index.html |

Table 3. Free cloud data storage services.
Cuadro 3. Servicios gratuitos de almacenamiento de datos en nube virtual.

| Servicio | Capacidad de Almacenamiento Gratuito o Básico | Vínculo digital |
|-----------------------|---|---|
| Drive (Google) | 15 | https://drive.google.com/ |
| One Drive (Microsoft) | 5 | https://www.microsoft.com/es-mx/microsoft-365/onedrive/compare-onedrive-plans?activetab=tab:primaryr1 |
| Dropbox (Dropbox™) | 2 | https://www.dropbox.com/es/basic |
| iCloud (Apple) | 5 | https://www.apple.com/mx/icloud/ |
| Box (Box™) | 10 | https://www.box.com/es-419/pricing/individual |
| Mega | 50 | https://mega.nz/ |

migration. While it is true that digital strategies have limitations, such as the digital divide, due to socioeconomic reasons, between urban and rural areas, digital tools made it possible to keep postgraduate academic programs going during the pandemic. In some cases, in which students did not have access to an electronic device, institutions such as the National Polytechnic Institute made a call to provide computer equipment to low-income students so that they could continue with their academic training. Teachers who for some reason did not have portable computer equipment received support too, while other institutions allowed them to take institutional computer equipment to their homes. One of the lessons of the current pandemic is that having access to an electronic device connected to the internet is no longer a luxury but an essential part of everyone's productive activity.

A disadvantage of remote teaching is the impossibility to use the blackboard. Although virtual classroom platforms have a digital blackboard, its use represents a technological challenge that not all teachers can face easily. Another important challenge of virtual teaching is that during the projection of slides, we lose visual contact with the students, which makes it difficult to assess how much attention are they paying. In large groups, it can be difficult to keep the attention of the students through questions directed to each one of them. However, the flipped classroom model (O'Flaherty and Phillips, 2015) can be a valuable tool to overcome this disadvantage, putting the responsibility for his academic training on the student himself, always under the strict supervision of the teacher. This strategy makes theoretical classes more dynamic and awakens in the students interest to investigate for themselves. Another important tool to awaken the interest of students is the gamification of learning using digital applications (Table 4). Educational gamification is

han tenido un rol imprescindible en la continuidad de la enseñanza e investigación en todas las áreas de conocimiento. La amplia oferta de servicios de conectividad y costos en México favoreció esta migración digital. Si bien es cierto que las estrategias digitales tienen sus limitaciones, como la brecha digital por razones socioeconómicas en entornos rurales, su implementación durante la pandemia permitió cumplir con los programas académicos del postgrado. En algunos casos donde los estudiantes no tenían acceso a un dispositivo electrónico, instituciones como el Instituto Politécnico Nacional lanzaron una convocatoria para proveer de equipos de cómputo a alumnos de escasos recursos, a fin de que estos pudieran continuar con su formación académica. De igual forma, se apoyó a profesores que por alguna razón no contaban con equipo de cómputo portátil, mientras que en otras instituciones se les permitió trasladar equipos de cómputo institucional a los hogares de profesores. Este escenario deja como enseñanza que, en la actualidad, el acceso a un dispositivo electrónico con conexión a internet ha dejado de ser un lujo y se ha convertido en un equipo primordial de productividad.

Una desventaja de la impartición remota de clases es la imposibilidad de hacer uso del pizarrón. Aunque las plataformas para la creación de aulas virtuales cuentan con una pizarra, su uso representa un reto tecnológico al que no todos los docentes nos enfrentamos de forma natural. Otro reto importante de las clases virtuales es que durante la proyección de las diapositivas perdemos contacto visual con los alumnos, por lo que es complicado tener control de la atención prestada. Cuando se trata de grupos numerosos puede ser complicado mantener la atención de todos los alumnos mediante preguntas dirigidas a cada uno de ellos. Sin embargo, los esquemas de aula invertida (O'Flaherty y Phillips, 2015) pueden ser una herramienta valiosa para revertir esta desventaja, devolviéndole al estudiante la

**Table 4. Digital systems for the gamification of virtual learning.
 Cuadro 4. Sistemas digitales para la gamificación del aprendizaje virtual.**

| Sistema | Descripción | Enlace |
|----------|--|---|
| Genially | Software en línea que permite crear presentaciones animadas e interactivas | https://www.genial.ly/es |
| Kahoot | Sistema que permite la creación de cuestionarios de evaluación | https://kahoot.com/schools-u/ |
| Quizlet | Aplicación móvil educativa | https://quizlet.com/es |
| Canva | Software y sitio web de herramientas de diseño gráfico simplificado | https://www.canva.com/ |

a pedagogical strategy that fosters communication and commitment in students in an environment that combines formal and informal elements. As its name implies, it is based on the combination of recreational activities and learning (Marín, 2015).

Phytopathology practices in a digital environment

The most important challenge in phytosanitary education under the ‘new normality’ scheme is the one posed by theoretical-practical subjects. An example of this is the *Introduction to Plant Pathology* course. In a situation in which students cannot use institutional laboratories, innovative strategies must be developed. In this case, we designed a functional system for carrying out virtual laboratory practices. The students were asked to obtain certain materials that could replace the equipment that is commonly used in-person mycology practices. For example, a lighter or alcohol lamp can easily be substituted for a small, clean glass jar with a lid and a cotton wick. A wool needle attached to a wooden toothpick can serve as a dissecting needle. Sterile distilled water can be substituted for boiled bottled water. A piece of copper tube can be used as a punch, etc. In this way, it was only necessary to send the students certain difficult-to-obtain materials such as sterile blotting

responsabilidad de su formación académica, siempre bajo el estricto seguimiento del docente. La estrategia anterior vuelve las sesiones teóricas más dinámicas y despierta el interés investigativo de los estudiantes. Otra herramienta importante para despertar el interés de los alumnos es a través del uso de aplicaciones digitales que permiten la gamificación del aprendizaje (Cuadro 4). La gamificación educativa es una estrategia pedagógica que introduce conectividad y compromiso en los estudiantes que al mismo tiempo busca la unión entre un entorno formal y uno no formal, ya que se basa en la unión de actividades lúdicas y aprendizaje (Marín, 2015).

Prácticas de *Fitopatología* en un entorno digital

El desafío más importante en la enseñanza de la fitosanidad, en el esquema de la ‘nueva normalidad’, son las materias Teórico-Prácticas. Un ejemplo de estas es el curso de *Introducción a la Fitopatología*. Bajo la situación actual, en donde los alumnos no pueden asistir a laboratorios se deben establecer estrategias innovadoras. En este caso, es posible diseñar un sistema funcional para la impartición de prácticas virtuales. En este sistema se solicitó a los alumnos conseguir ciertos materiales que pudieran sustituir al equipo que comúnmente se utiliza en prácticas presenciales de *micología*.

paper, coverslips, slides, an aliquot of lactic acid, etc. This made it possible to carry out some practices through virtual monitoring. Each student's house became a phytopathology laboratory, where it was even possible to isolate phytopathogenic fungi. Each student, from the safety of their home, made temporary and semi-permanent preparations that they were then able to observe using a paper microscope called Foldscope (<https://www.foldscope.com/>) (Parada-Sanchez *et al.*, 2018). This origami microscope has a resolution of up to 2 microns, allows to know the magnification at which the observation is made, and can be purchased online for less than MXN 200. It is assembled following the instructions provided by the manufacturer and allows to observe semi-permanent preparations that are inserted into it. Mounted slides can be observed against the light simply by bringing the device close to the user's eye. When natural light is insufficient, the equipment has an included lighting system that is attached to the paper microscope, allowing to observe the preparations even in dark conditions. The equipment also allows projecting the slides onto a flat surface using the 'flash' of a cellular phone as a projector. The microscope can also be attached to the lens of any cellular equipment, thanks to the magnets that surround the microscope lens, so that students were able to capture the images of the organisms under study (Figure 1). These images were integrated into a conventional report of laboratory work. For more information on the use of the Foldscope, consult the user guide at <https://www.foldscope.com/user-guide/>. The Foldscope has been used throughout the world for different scientific applications (<https://www.foldscope.com/research>). Another innovative experience in practical Phytopathology work, using virtual traceability, can be found in the work of María del Milagro Granados in this Section (Editor's Note).

Por ejemplo, un mechero o lámpara de alcohol, puede fácilmente sustituirse por un frasco pequeño de cristal con tapa, limpio y usar una mecha de algodón. Una aguja lanera adherida a un palillo de madera puede fungir como aguja de disección, el agua destilada estéril puede sustituirse por agua de garrafón hervida, como sacabocados se puede usar un fragmento de tubo de cobre, etc. De esta forma, solo fue necesario enviar a los alumnos ciertos materiales difíciles de conseguir como papel secante estéril, cubreobjetos, portaobjetos, una alícuota de ácido láctico, etc. Lo anterior hizo posible realizar algunas prácticas mediante el monitoreo virtual. La casa de los alumnos se convirtió en un laboratorio de fitopatología, en donde incluso, fue posible realizar el aislamiento de hongos fitopatógenos. Cada alumno, desde la seguridad de su hogar, realizó preparaciones temporales y semipermanentes, mismas que pudieron observar gracias a un microscopio de papel llamado Foldscope (<https://www.foldscope.com/>) (Parada-Sanchez *et al.*, 2018). Este microscopio de origami tiene una resolución de hasta 2 micras, permite conocer la magnificación a la que se hace la observación y puede adquirirse en línea a través de plataformas de comercio por menos de 200 MN. Para usarlo, solo se necesita armarlo siguiendo el manual proporcionado por el fabricante, realizar una preparación semipermanente, insertarla en el microscopio y observar la preparación. El equipo permite observar los montajes a contraluz con el solo hecho de acercar el dispositivo al ojo del usuario. Cuando la luz natural es limitada, el equipo cuenta con un sistema de iluminación incluido que se acopla al microscopio de papel, permitiendo la observación de la preparación aun en condiciones de oscuridad. Otra función de este equipo es la proyección de la laminilla sobre una superficie plana en condiciones de oscuridad usando como proyector el 'flash' de un equipo celular. De igual forma, este microscopio puede acoplarse a la lente

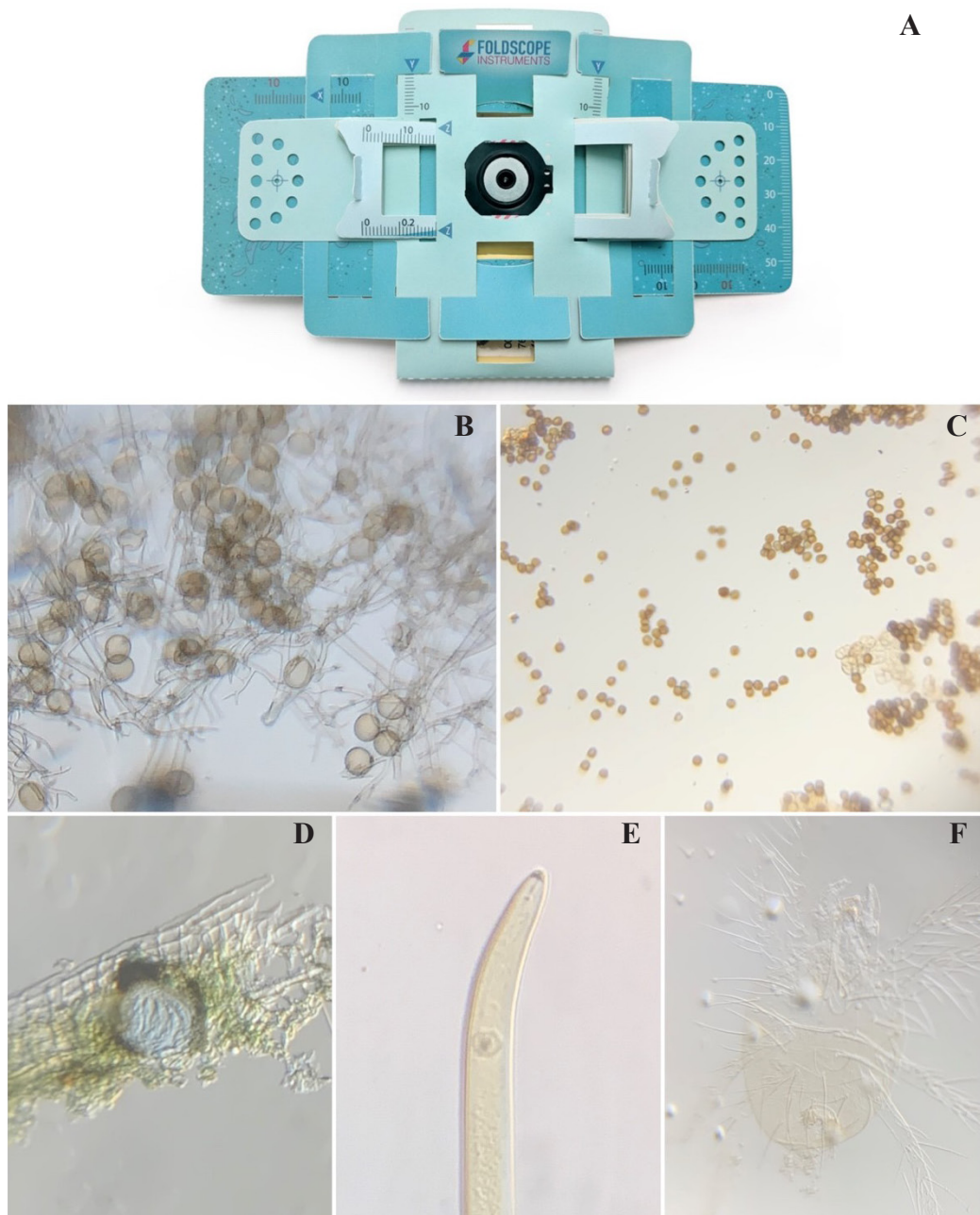


Figure 1. A. *Foldscope*; B-F. Images taken using the *Foldscope* coupled to a mobile phone camera using a desk lamp as a light source. B. Sporangia of *Peronospora belbahrii*. C. Teliospores of *Sporisorium reilianum* f. sp. *zae*. D. Pseudothecium of *Mycosphaerella fijiensis*. E. Male of *Meloidogyne* sp. F. Specimen of *Tetranychus urticae*.

Figura 1. A. *Foldscope*. Figuras B-F tomadas usando el *Foldscope* acoplado a la cámara de un celular usando como fuente de iluminación una lámpara de escritorio. B. Esporangios de *Peronospora belbahrii*. C. Teliosporas de *Sporisorium reilianum* f. sp. *zae*. D. Pseudotecio de *Mycosphaerella fijiensis*. E. Macho de *Meloidogyne* sp. F. Ejemplar de *Tetranychus urticae*.

In the cases where it was not possible to use the described modality for virtual practical work, the best alternative was the creation of short videos showing the teacher carrying out the practice. The student can then consult the videos when he needs them, particularly when carrying out some activity related to his research work. In the creation of these videos, it is recommended that the teacher explains in detail all the procedures as he performs them, as well as the fundamentals of the different techniques used.

In the case of the practical work associated with Agroecological Management of Pests and Diseases in the master's program of the same name at the Center for the Development of Biotic Products (CEPROBI-IPN), under normal conditions, the students work in an agroecological orchard at CEPROBI. Due to the pandemic, these activities were carried out individually at home. Each student managed his orchard following agroecological precepts, reporting their progress through video reports. For other subjects, such as Entomology, the teachers digitized the available biological collections. In others, the students received training in the use of laboratory equipment through video tutorials.

CONCLUSIONS

Our experience in the teaching of Phytosanitary subjects shows the possibility of using innovations to improve the teaching-learning process under virtual settings. Innovative ideas will allow academic and research activities to continue without losing motivation and with renewed interest during the pandemic. We must recognize that despite the confinement, students, workers, and academics have significantly contributed to the continuity of institutional activities, a clear example of our

de cualquier equipo celular, gracias a los imanes que rodean al lente de microscopio, por lo que los alumnos pudieron capturar las imágenes de los organismos (Figura 1) y estas imágenes se integraron a un reporte convencional de prácticas de laboratorio. Para más información sobre el uso del Foldscope se puede consultar la guía de usuario (<https://www.foldscope.com/user-guide/>). El Foldscope se ha empleado a nivel mundial en diferentes actividades científicas para (<https://www.foldscope.com/research>). Otra experiencia innovadora de prácticas de *Fitopatología*, con trazabilidad virtual, puede revisarse en el trabajo de María del Milagro Granados en esta Sección (Nota del Editor).

En los casos donde no fue posible aplicar la modalidad descrita, la mejor alternativa fue la creación de videos cortos en donde el profesor realizó la práctica. De esta forma, el alumno cuenta con una herramienta de consulta, de la cual puede disponer en el momento que lo necesite, principalmente al realizar alguna actividad dentro de su trabajo de investigación. En estos videos es recomendable que el profesor explique detalladamente los procedimientos conforme los realiza, así como los fundamentos de las técnicas.

Para el caso de prácticas de *Manejo Agroecológico de Plagas y Enfermedades* del programa de maestría del mismo nombre en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI-IPN), en condiciones normales los alumnos trabajan en un huerto agroecológico en las instalaciones del CEPROBI. Por la pandemia las actividades se realizaron individualmente en casa. El huerto fue manejado siguiendo los preceptos agroecológicos, reportando los avances a través de video-reportes. Para algunas otras materias, como *Entomología* los profesores digitalizaron las colecciones biológicas disponibles. Incluso dentro de algunas asignaturas los alumnos recibieron capacitación para el uso de los equipos de laboratorio mediante video-tutoriales.

capacity for behavioral and social adaptation. We also acknowledge and mourn the loss of great researchers and teachers due to COVID-19. We hope to emulate them in the formation of human resources highly trained in Plant Health. Greater challenges may lie ahead, but constant and ethical work will allow us to overcome current and future crises.

LITERATURE CITED

- Antiporta D and Bruni A. 2020. Emerging mental health challenges, strategies, and opportunities in the context of the COVID-19 pandemic: Perspectives from South American decision-makers. *Pan American Journal of Public Health* 44:154–154. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2020.154>
- CEPAL. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 2020. Informe Covid-19 CEPAL-UNESCO. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45904/1/S2000510_es.pdf (consulta. Febrero, 2020).
- DOF. Diario Oficial de la Federación. 2020. Decreto por el que se declaran acciones extraordinarias en las regiones afectadas de todo el territorio nacional en materia de salubridad general para combatir la enfermedad grave de atención prioritaria generada por el virus SARS-CoV2 (COVID-19). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5590673&fecha=27/03/2020. (consulta. Febrero, 2020).
- Marín DV. 2015. La Gamificación educativa. Una alternativa para la enseñanza creativa. *Digital Education Review* 27:1-4 <https://revistes.ub.edu/index.php/der/article/view/13433/pdf>. (consulta. Febrero, 2020).
- O’Flaherty J and Phillips C. 2015. The use of flipped classrooms in higher education: A scoping review. *Internet and Higher Education* 25:85–95. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2015.02.002>

CONCLUSIONES

Nuestras experiencias en la enseñanza de asignaturas Fitosanitarias muestran la posibilidad de innovar el proceso enseñanza-aprendizaje en modalidad virtual. Ideas innovadoras permitirán continuar con motivación y renovado interés las actividades académicas e investigación durante la pandemia. Debemos reconocer que pese al confinamiento, alumnos, trabajadores y académicos hemos contribuido, de manera decidida y comprometida, a la continuidad las actividades institucionales. Un claro ejemplo de nuestra capacidad de adaptación conductual y social. También reconocemos y lamentamos la pérdida de grandes investigadores y docentes debido al COVID-19. Esperamos emularlos en la formación de recursos humanos altamente capacitados en *Fitosanidad*. Los retos a enfrentar en el futuro podrían ser cada vez mayores, pero solo el trabajo constante y ético nos permitirá superar la actual adversidad.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- Parada-Sánchez SG, Meléndez-Salcido CG, Hernández-Castaños MR, Prado-Ávila SE y Adame-Gallegos JR. 2018. Evaluación de Foldscope, un microscopio de papel basado en origami útil para la identificación de garrapatas *Rhipicephalus sanguineus*. *Acta Universitaria* 28(4): 19-24. <http://doi.org/10.15174/au.2018.2134>



# Challenges of COVID-19 pandemic: The postgraduate case in Sustainable Management of Natural Resources - UIEP

## Desafíos en tiempos de COVID-19: El caso del posgrado en Manejo Sustentable de Recursos Naturales - UIEP

Marja Liza Fajardo-Franco\*, Martín Aguilar-Tlatelpa, Posgrado en Manejo Sustentable de Recursos Naturales, Universidad Intercultural del Estado de Puebla (UIEP), Calle Principal a Lipuntahuaca S/N, Lipuntahuaca, Huehuetla, Puebla, CP 73475, México. \*Corresponding author: azilmar@gmail.com

Received: March 01, 2021.

Accepted: April 29, 2021.

Fajardo-Franco ML and Aguilar-Tlatelpa M. 2021. Challenges of COVID-19 pandemic: The postgraduate case in Sustainable Management of Natural Resources – UIEP. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 421-425.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-25>

**Abstract.** A generalized preventive measure in Mexico against the COVID-19 pandemic was the suspension of in-person non-essential activities, including academic activities. The Universidad Intercultural del Estado de Puebla (Intercultural University of the State of Puebla - UIEP) suspended all classroom course from March 20th, 2019, until the present day. The program of Master of Science in Sustainable Natural Resource Management has remained active in a digital format, facing the following challenges: the speedy implementation of a virtual and distance teaching-learning process; the optimization of computer resources in the face of the digital gap and limited access to these technologies in the region; and an efficient traceability of research processes. COVID-19

**Resumen.** Una medida preventiva generalizada en México ante la pandemia de COVID-19 fue la suspensión de actividades presenciales no esenciales, entre ellas las académicas. La Universidad Intercultural del Estado de Puebla (UIEP) suspendió labores físicas a partir del 20 de marzo 2019 hasta el presente. El Programa de Maestría en Ciencias en Manejo Sustentable de Recursos Naturales se ha mantenido activo en modalidad digital enfrentado los siguientes retos: Rápida implementación de un proceso de enseñanza-aprendizaje en modalidad a distancia y virtual; optimizar los recursos computacionales ante la brecha digital y acceso limitado a estas tecnologías en la región; y trazabilidad eficiente de los procesos de investigación. COVID-19 evidenció la brecha social y digital que está presente en zonas rurales de México, como es el caso de Sierra Norte de Puebla donde se enclava la UIEP; sin embargo, también evidenció la capacidad de respuesta y adaptación ante el escenario de contingencia ocasionado por SARS-CoV-2.

**Palabras clave:** SARS-CoV-2, e-learning, contingencia, docencia.

displayed the social and digital gap present in the rural areas of Mexico, such as in the case of Sierra Norte de Puebla, in which UIEP is enclaved. However, it also displayed the ability of response and adaptation in the face of the contingency scenario caused by SARS-CoV-2.

**Key words:** SARS-CoV-2, e-learning, contingency, teaching.

### **Antecedents**

In February of 2020, the first case of COVID-19 was reported in Mexico, which led to the implementation of precautionary measures against the spreading of this disease. Secretaría de Educación Pública (Secretariat of Public Education) established that the Easter holidays (Semana Santa) would be taken earlier throughout the country, starting on March 20th and ending on April 20<sup>th</sup>, assuming that this measure would allow for a return to academic activities in the short term. However, the continued epidemic process motivated the Universidad Intercultural del Estado de Puebla (Intercultural University of the State of Puebla - UIEP) to resume activities for Bachelors' and postgraduate studies in a virtual and distance mode, which is undoubtedly a challenge, given the social, cultural and economic characteristics of Sierra Norte de Puebla, where the UIEP is found and where most of its students are from. In this context, both students and professors, as well as administrative staff have faced several challenges, which we discuss below.

### **Challenges of the postgraduate studies in the light of COVID-19**

**Adoption of a teaching-learning process in a virtual and distance mode.** This was the first

### **Antecedentes**

En febrero de 2020 se reportó el primer caso de COVID-19 en México, lo que provocó la implementación de medidas de prevención de contagios ante esta enfermedad. La Secretaría de Educación Pública determinó adelantar el periodo vacacional de Semana Santa a nivel nacional, iniciando el 20 de marzo y finalizando el 20 de abril, asumiendo que esta medida permitiría el retorno a actividades académicas a corto plazo. No obstante, el continuado proceso epidémico motivó a la Universidad Intercultural del Estado de Puebla (UIEP) a reactivar las actividades a nivel licenciatura y posgrado en modalidad virtual y a distancia, lo que indudablemente es un reto ante las características sociales, culturales y económicas de la Sierra Norte de Puebla, donde se asienta la UIEP y donde son originarios la mayoría de estudiantes. En este contexto, tanto estudiantes como profesores y personal administrativo se han enfrentado a diversos desafíos, lo cuales se discuten a continuación.

### **Desafíos del posgrado ante el COVID-19**

**Adopción de un proceso de enseñanza-aprendizaje en modalidad a distancia y virtual.** Este fue el primer desafío, ya que de manera imprevista, la pandemia ocasionada por SARS-CoV-2 obligó a profesores y estudiantes a continuar actividades mediante entornos virtuales, videollamadas en Zoom o Google Meet, así como vía correo electrónico, Microsoft Teams, Moodle (Aula Virtual) y WhatsApp, apoyándose de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Esta estrategia permitió a profesores mantenerse en contacto con los estudiantes y abordar de manera conjunta los contenidos de cursos.

**Brecha digital y el acceso limitado a las tecnologías.** Las localidades pertenecientes a la Sierra

challenge, since the pandemic caused by SARS-CoV-2 unexpectedly forced professors and students to continue their activities with e-learning process, video calls using Zoom or Google Meet, as well as via email, Microsoft Teams, Moodle (e-learning platform) and WhatsApp, relying on Information and Communication Technologies (ICTs). This strategy helped professors keep in contact with students and work on the content of course materials together.

**Digital gap and the limited access to technologies.**

The locations belonging to Sierra Norte de Puebla are catalogued by Instituto Nacional de Estadística y Geografía (National Statistics and Geography Institute - INEGI) as communities with a high marginalization rate or marginalized. On top of this situation, there are very few Internet providers, therefore access to this service is limited and, in many cases, inaccessible to families. It is worth mentioning that this area has high levels of rainfall — nearly 3000 mm a year — with thunderstorms, which causes the intermittency or temporary suspension of the electric energy and telecommunications services for up to several days. This situation limited the progress of activities in virtual environments.

**Research.** The follow-up on research projects, the revision of manuscript for publishing, and consultancies were also carried out using video calls on Zoom and Google Meet, email exchanges, WhatsApp and occasional in-person meetings with the adequate health and safety measures. However, the progress of field and lab work became difficult, since the providers of reactants, equipment and materials suspended their activities partially or entirely. In addition, this situation delayed administrative processes to make purchases in the

Norte de Puebla se encuentran catalogadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) como comunidades marginadas o con alta marginación; a esta situación se suma, el que existen pocos proveedores de internet, por lo que el acceso a este servicio es limitado y en muchos casos inaccesible para las familias. Es importante mencionar que en esta zona se registran altas precipitaciones, cercanas a los 3000 mm anuales, con presencia de tormentas eléctricas, lo que genera intermitencia o pérdida temporal del servicio de energía eléctrica y de telecomunicaciones, incluso por varios días. Esta situación limitó el avance de las actividades en entornos virtuales.

**Investigación.** El seguimiento a proyectos de investigación, revisión de manuscritos con fines de publicación y asesorías se realizaron también mediante videollamadas en Zoom y Google Meet, intercambio de correos electrónicos, WhatsApp y reuniones presenciales eventuales con las medidas sanitarias pertinentes. Sin embargo, el avance de los trabajos en campo y de laboratorio se dificultó ya que los proveedores de reactivos, equipos y de materiales detuvieron parcial o totalmente sus actividades. Adicionalmente, esta situación demoró los procesos administrativos para concretar las compras en el tiempo requerido para cada proyecto. Por otra parte, debido a las disposiciones sanitarias fue necesario posponer las visitas a comunidades donde se realizaban los trabajos de investigación ya que el ingreso requería permiso de autoridades municipales y/o locales. Las actividades se fueron retomando paulatinamente según las indicaciones emitidas por las instancias de educación y de salud a nivel nacional y estatal. En consecuencia, la vinculación social y tecnológica con la comunidad, una de las razones de creación de la universidad en el entorno rural, fue afectada.

time needed for each project. On the other hand, due to sanitary measures, visits to communities in which research was being carried out had to be postponed, since the entry to these communities required the permission of municipal and/or local authorities. Activities were gradually resumed following the indications by health and education authorities, both nationally and statewide. Consequently, the social and technological bonds with the community, one of the reasons for the creation of the university in the rural environment, was affected.

**Virtual mobility.** In the context of the readjustment of educational activities, postgraduate students that had programmed an in-person stay to study English in the Lakehead University, Canada, had to adapt their training to a virtual method. This experience, which helped students interact with professors of the Department of Languages of the Canadian university showed that virtual mobility can be a feasible option in the face of scenarios that hinder transportation to other countries, not only due to sanitary reasons, but also for reasons related to cost, migratory restrictions, etc. This type of mobility can be complemented with in-person stays.

## CONCLUSIONS

The use of digital and ICT environments had already been implemented in the UIEP. However, they had no institutionalized use as a strategy of the educational model. The COVID-19 pandemic led to the adoption of new educational tools by a systemic and accelerated transformation which opened a realm of opportunities applicable to the teaching-learning process. However, its implementation in a highly marginalized rural environment was complicated due to problems in

**Movilidad virtual.** En el contexto de la reade-cuación de actividades educativas, estudiantes de posgrado que inicialmente tenían prevista una estancia presencial en mejora del idioma inglés en la Universidad de Lakehead, Canadá, tuvieron que adecuar su entrenamiento a modalidad virtual. Esta experiencia, la cual permitió la interacción de estudiante con profesores del Centro de Idiomas de la referida universidad, evidenció que la movilidad virtual puede ser una opción viable ante escenarios que impiden el desplazamiento a otros países no solo por razones sanitarias sino también por costo, restricciones de inmigración, etc. Esta tipo de movilidad puede complementarse con estancias pre-senciales.

## CONCLUSIONES

El uso de ambientes digitales y de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) ya se habían implementado en la UIEP. Sin embargo, éstas no tenían uso institucionalizado como estrategia del modelo educativo. La pandemia por COVID-19 ocasionó la adopción de nuevas herramientas educativas, mediante una transformación sistémica y acelerada, lo que abrió un escenario de oportunidades aplicables al proceso de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, su implementación en un entorno de comunidades rurales con alto grado de marginación fue complicada debido a deficiencias de infraestructura local y regional para asegurar servicios de internet y telecomunicaciones eficientes. La transmisión de audio y video debe garantizar alta calidad para generar las dinámicas que el proceso de enseñanza – aprendizaje requiere en modalidad virtual y a distancia. COVID-19 evidenció la brecha social y digital que está presente en zonas rurales de México, como es el caso de la Sierra Norte de Puebla donde se enclava la UIEP; sin embar-

local and regional infrastructure to ensure efficient Internet and telecommunication services. A high quality in audio and video transmissions must be guaranteed to generate the dynamics that the teaching-learning process requires in a virtual and distance form. COVID-19 displayed the social and digital gap found in the rural areas of Mexico, such as in Sierra Norte de Puebla, where the UIEP is enclaved; however, it also displayed the ability of response and adaptation in the face of the contingency scenario caused by SARS-CoV-2.

go, también evidenció la capacidad de respuesta y adaptación ante el escenario de contingencia ocasionado por SARS-CoV-2.



# COVID-19: Threat or ally in the teaching-learning process in phytopathology?

## ¿COVID-19: Amenaza o aliado de la enseñanza-aprendizaje en Fitopatología?

María del Milagro Granados-Montero, Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, La Mandarina, Provincia de Alajuela, Costa Rica. Corresponding author: maria.granadosmontero@ucr.ac.cr

Received: February 02, 2021. Accepted: March 15, 2021.

Granados-Montero MM. 2021. COVID-19: Threat or ally in the teaching-learning process in phytopathology? Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 426-431.  
DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-5>

**Abstract.** Preventive confinement against COVID-19 changed the teaching-learning process of the Phytopathology course at the Faculty of Agronomy of the UCR. Information and Communications Technologies (ICT) were integrated into a program called '*Phytopathology 2020, at the distance but together*'. Each student received at her home a box of materials, including culture media and a paper microscope, that allowed her to set up and carry out different phytopathological techniques. The result obtained exceeded expectations and previous results in 16 years of teaching experience. The integration of the family into the educational project was surprising, fostering values of mutual commitment in education and prevention of COVID-19.

**Resumen.** El confinamiento con fines preventivos ante COVID-19 reconfiguró el proceso enseñanza-aprendizaje de la cátedra de fitopatología en la Facultad de Agronomía de la UCR. Las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) fueron integradas a un programa denominado '*Fitopatología 2020, a la distancia, pero juntos*'. A cada estudiante se le envió a su casa una caja de materiales, incluyendo medios de cultivo, y un microscopio de papel, para el montaje y desarrollo de prácticas fitopatológicas. El resultado obtenido superó las expectativas y previas experiencias en 16 años de experiencia docente. La integración familiar en el proyecto educativo fue sorprendente, fomentando valores de compromiso mutuo en educación y prevención de COVID-19.

**Palabras clave:** COVID-19, TIC, fitopatología, enseñanza-aprendizaje, virus.

**Key words:** COVID-19, ICT, Phytopathological, teaching-learning, virus.

### **Virtuality as an educational alternative**

At the University of Costa Rica, the teaching of phytopathology has traditionally been based on methodological strategies aimed at reinforcing teamwork, analysis and solution of case studies based on real situations, bibliographic review, observation of plant samples, and practical laboratory work. The aim is that students understand the concepts clearly and make sound management decisions. This process was developed for in-person instruction, which is how most of the Institution's degree programs are structured.

Due to the health emergency caused by the COVID-19 pandemic, in which Costa Rica has been immersed since March 6, 2020, the AF-0109 Phytopathology course taught to second-year bachelor students in Agronomy had to be completely turned into a virtual course. This was an unprecedented challenge, something I never had to face in my 16-year teaching career. Ten years ago, in the second academic cycle of 2010, between August and November, I had some virtual teaching experience with one of my groups. On that occasion, with only 18 students, I tried to complement the "normal" in-person classes with the use of a weblog as a teaching tool. From that time on, Information and Communication Technologies (ICT) were incorporated into university contexts as an innovative strategy. Although the experience was enriching, it was not actually very relevant for the students, since the platform was basically used as a repository of didactic material and there was no collaborative learning.

In the 2020 academic year, the experience was very different, because the only option, by institutional mandate, was virtual teaching. Under

### **La virtualidad como opción educativa**

En la Universidad de Costa Rica la enseñanza de la fitopatología tradicionalmente se ha basado en estrategias metodológicas tendientes a reforzar el trabajo en equipo, el análisis y solución de casos de estudio basados en situaciones reales, revisión bibliográfica, observación de muestras vegetales y el trabajo práctico a nivel de laboratorio. De manera que el estudiantado logre entender los conceptos de modo claro, y le permita tomar decisiones de manejo acertadas. Todo, concebido siempre, desde la presencialidad, la norma en prácticamente todas las carreras de la Institución.

Debido a la situación de emergencia sanitaria, por COVID-19, en la que se encuentra Costa Rica desde el 6 de marzo de 2020, el curso AF-0109 Fitopatología, impartido para estudiantes de segundo año de la carrera de Bachillerato y Licenciatura en Agronomía, debió migrar por completo a formato virtual. Lo que representó un reto sin precedentes en mis 16 años de carrera docente. Diez años atrás, en el segundo ciclo del 2010, comprendido entre agosto y noviembre, tuve una experiencia académica virtual con uno de los grupos que cursaban la asignatura. En esa oportunidad, y con tan solo 18 estudiantes, traté de complementar las clases "normales" con el uso del "weblog" o bitácora digital, como una herramienta en la enseñanza de la disciplina. A partir de ese tiempo, el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se venían incorporando en los contextos universitarios como estrategia innovadora. La experiencia, si bien, fue enriquecedora, en realidad no fue determinante para el aprendizaje del estudiantado, ya que, básicamente la plataforma se usó como repositorio de material didáctico y no hubo aprendizaje colaborativo.

Para el curso 2020, la experiencia fue muy distinta, debido a que la única opción, por mandato

these conditions, in a particularly difficult context, the continuity and excellence of the teaching-learning process had to be guaranteed. The COVID-19 pandemic was conceived as a threat to university education, especially phytopathology, which, like the other disciplines in the field of agronomy, could not be conceived without visits to the field or laboratory practices. Thus, not only the methodological strategy of the course had to be restructured, but also the way we teachers about it; we had to unlearn in order to adapt. There was a need for platforms that, in addition to allowing access to bibliographic materials and classes, would act as the engine of the learning process in both the theoretical and the practical spheres. On this occasion, I was not only responsible for a group but for the Phytopathology Chair, with 56 students, more than ever.

### **Conception of the academic strategy: Distant but Together**

After reflecting and trying to understand the expectations of the students under the circumstances of a pandemic, I concluded that it was not possible to use only technological 'platforms'. We could not expect to teach plant pathology only through a computer screen; we had to get the students into direct contact with diseased plants, with their causative agents, with the inputs required to control them; in short, with reality. Because SARS-Cov-2 is as real as *Fusarium*, *Erwinia*, or the *Cymbidium mosaic virus*, to mention some phytopathogens.

Thus, in addition to using the Virtual Mediation platform, which is the official virtual classroom of the University, recording the classes by ZOOM, and opening a YouTube channel to post tutorials, we made 'material boxes' for in-person practical work. In person? Yes, in person. These 'kits' with supplies were sent to each of the students, regardless of

institucional, era la virtualidad, y bajo esta se debía garantizar la continuidad y excelencia del proceso de enseñanza-aprendizaje en un contexto particularmente difícil. En ese contexto se percibió la pandemia por COVID-19 como una amenaza de la enseñanza universitaria, especialmente de la fitopatología, que, como las otras disciplinas en el campo de la agronomía, no se concebían sin visitas al campo o prácticas de laboratorio. Así, se debió reestructurar no solo la estrategia metodológica del curso, sino también, la forma de pensar del docente, debimos desaprender para lograr adaptarnos. Se necesitaban 'plataformas', que además de permitir el acceso a los materiales bibliográficos y clases fungieran como motor del proceso formativo, y que incluyeran ambos ejes, el teórico y el práctico. En esta ocasión, no solo responsable de un grupo, sino de la Cátedra, con 56 estudiantes matriculados, algo que ocurría por primera vez.

### **La concepción de la estrategia académica: Distantes pero Juntos**

Luego de reflexionar y tratar de entender las expectativas del estudiantado bajo las circunstancias de pandemia, llegué a la conclusión de que las 'plataformas' no podían ser solo tecnológicas, no podíamos enseñar fitopatología solo por la pantalla de una computadora, debíamos hacer que el alumnado estuviera en contacto directo con las plantas enfermas, con sus agentes causales, con los insumos para su control, en fin, con la realidad, porque tan real es el SARS-Cov-2 como *Fusarium*, *Erwinia* o el *Cymbidium mosaic virus*, por mencionar algunos fitopatógenos.

Así que, además de usar la plataforma de Mediación Virtual, que es el aula virtual oficial de la Universidad, de grabar las clases dictadas por ZOOM y de abrir un canal de YouTube para colocar tutoriales, se elaboraron 'cajas de materiales'

their place of residence. The boxes were delivered throughout the country. Even a student that became ‘trapped’ in the United States was able to do the practical work of the ‘Phytopathology2020 course, at a distance but together’. That is what we called our academic innovation program.

The ‘boxes of materials’ contained the necessary supplies to carry out simple isolations of fungi and bacteria. They contained a dissection needle, a bacteriological loop, a test tube, culture media, and a knife. There was also a vial containing a biocontrol agent, a container with fungicide, plastic cups, sterile substrate for sowing, bean seeds, and even an immunological strip for virus detection and a paper microscope (Parada-Sánchez *et al.*, 2018). With these materials, and collecting samples of ornamental plants around their homes, of fruits and vegetables bought in the market, or of plants found in patios or gardens that, as agronomy apprentices, were of interest to them, each student was able to set up their own home laboratory and had the opportunity to carry out practical work in person using the basic techniques of the discipline.

As the semester progressed, I could feel how the students were really enjoying carrying out their own experiments. They performed them right there in their homes and the family appropriated them. I saw grandmothers following the classes because they wanted to know what the issue with their garden plants was. I noticed a father who attended “virtual” classes because he had always wanted to be an agronomist and now he diligently assisted his daughter with her practices. At that moment, I understood that the COVID-19 pandemic was not a threat to the teaching of Phytopathology, but an opportunity. An opportunity not only for my course since it allowed each student to concentrate as never before in the performing of phytopathological experiments, to understand what was happening and to show their colleagues the

para trabajo práctico presencial. ¿Presencial? Sí, presencial. Estos ‘kits’ con insumos se les hicieron llegar a cada uno de los estudiantes, sin importar su lugar de residencia. Se entregaron cajas a lo largo y ancho del país, incluso una estudiante ‘atrapada’ en Estados Unidos pudo realizar sus prácticas del curso de ‘Fitopatología2020, a la distancia, pero juntos’, así denominamos a nuestro programa de innovación académica.

Las ‘cajas de materiales’ contenían insumos necesarios para realizar aislamientos sencillos de hongos y bacterias, aguja de disección, asa bacteriológica, tubo de ensayo, medios de cultivo, navajilla. También, un vial con un biocontrolador un recipiente con fungicida, vasos plásticos y sustrato estéril para siembra, semillas de frijol e incluso una tirilla inmunológica para detección de virus y un microscopio de papel (Parada-Sánchez *et al.*, 2018). Con estos materiales y colectando muestras de plantas ornamentales alrededor de sus residencias, de frutas y verduras de compras del supermercado, o de plantas de su interés que, como aprendices de agronomía, podrían tener a su alcance en patios o jardines, cada estudiante montó su propio laboratorio casero y tuvo la posibilidad de realizar de forma presencial sus prácticas, acercándose a las técnicas básicas de la disciplina.

Conforme avanzó el semestre, pude sentir como los estudiantes realmente disfrutaban de sus propios experimentos, los tenían allí mismo en sus casas, la familia se apropiaba de ellos, constaté como las abuelas participaban en clases, porque querían saber qué tenían sus plantas del jardín. Me percaté de un padre que asistía a las clases ‘virtuales’ porque siempre quiso ser agrónomo y apoyaba a su hija en el desarrollo de prácticas. En ese momento entendí que el COVID-19 no era una amenaza de la enseñanza de la Fitopatología, sino una oportunidad. Una oportunidad no solo del curso, ya que permitía que cada estudiante se comprometiera como

results obtained, but an opportunity also for their families, allowing parents and grandparents to understand what their sons were doing in college and for sons to understand the importance of their parents support, and, crucially, to care for and respect their grandparents, who were most at risk from COVID-19.

It was an unprecedented experience in my 16-year teaching career. The usual goals were achieved: there was teamwork, analysis of case studies of real situations, bibliographic reviews, observation of plant samples, and practical laboratory work, all from their homes and in the company of their families. Even though the latter does not guarantee the effectiveness of the learning process, it helps with conceptual understanding and could contribute to stimulate self-taught processes.

## CONCLUSIONS

The feeling at the end of the day is of satisfaction for having managed to motivate my students, which is what I always look for. I firmly believe in what the national columnist Jacques Sagot said: “The student is not a container that must be filled, it is a fire that must be kindled.” In the circumstances of the pandemic, I also understood that this phrase is valid not only for the teaching-learning process at the university level but also for motivating authorities and associations outside the academy to join forces and obtain resources for initiatives like this. It fills me with satisfaction knowing that this unfortunate situation brings out the best of many people. That gives me hope that what we have learned with virtual classes can be improved upon with in-person work. I unlearned in order to learn that threats are opportunities.

nunca antes en los ensayos fitopatológicos que se realizaban, en entender qué pasaba y en mostrar a sus compañeros los resultados obtenidos, sino también representaba una oportunidad para la familia, que permitió que los padres y abuelos entendieran qué hacen sus hijos en la universidad y que los hijos comprendieran la importancia del apoyo de sus padres, y lo fundamental, del cuidado y respeto a sus abuelos, poblaciones de riesgo ante el COVID-19.

Fue una experiencia sin precedentes en mis 16 años de carrera docente. Se lograron las metas que normalmente se buscan, se realizó trabajo en equipo, se analizaron casos de estudio de situaciones reales, hicieron revisión bibliográfica, observaron muestras vegetales y realizaron trabajo práctico a nivel de laboratorio, todo desde sus casas y en compañía de sus familias y aunque esto no asegura el aprendizaje, aumenta las posibilidades de la comprensión conceptual y quizás contribuye al estimular procesos autodidactas.

## CONCLUSIONES

El sentimiento al final de la jornada es de satisfacción, por haber logrado motivar a mis estudiantes, que es lo que busco siempre. Creo firmemente en lo dicho por el columnista nacional Jacques Sagot: ‘El alumno no es un recipiente que debe ser colmado, es un fuego que debe ser encendido’. En esta situación de pandemia, entendí también que esta frase es válida, no solo para el proceso de enseñanza-aprendizaje a nivel de formación universitaria, sino que, es posible motivar a las autoridades y a las asociaciones ajenas a la academia para unir esfuerzos y obtener recursos para iniciativas como esta. Me llena de satisfacción saber que esta desafortunada situación hace que florezca lo bueno de



**LITERATURE CITED**

Parada-Sánchez SG, Meléndez-Salcido CG, Hernández-Castaños MR, Prado-Ávila SE y Adame-Gallegos JR. 2018. Evaluación de Foldscope, un microscopio de papel basado en origami útil para la identificación de garrapatas *Rhipicephalus sanguineus*. Acta Universitaria 28(4): 19-24. <http://doi.org/10.15174/au.2018.2134>

muchas personas, y eso me da esperanza en que lo aprendido bajo la virtualidad se puede fortalecer en la presencialidad. Desaprendí para aprender que las amenazas son oportunidades.

**AGRADECIMIENTOS**

A la Escuela de Agronomía, al Decanato de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias y a la Asociación de Profesionales en Enfermedades de Plantas (APEP) por creer en la estrategia pedagógica y facilitar presupuesto para la adquisición de los insumos requeridos para las prácticas de laboratorio en casa. A la estudiante Marialicia Vega y a mi hija Amanda Arce por su apoyo en la confección de las “cajas de materiales”. A Cindy, Dago y Carlos que hicieron posible la entrega. A los colegas que participaron en el curso, sobre todo a los profesores Mauricio Montero y Lorena Uribe por atreverse a dar clases de laboratorio de manera inédita.

# SECTION 5

COVID-19 STUDENT VISION

\*

LA VISIÓN COVID-19  
DEL ESTUDIANTE

## My interest for agriculture and COVID-19 emotions as graduate student

### Mi interés por la agricultura y emociones por COVID-19 como estudiante de postgrado

Agustin Gonzalez-Cruces, Carr. Texcoco Lecheria. Km 28.5. Sta. Gertrudis Acuexcomac, Atenco, Estado de México, México CP 56300. Corresponding author: gonzalez.agustin@colpos.mx

Received: March 01, 2021.

Accepted: March 30, 2021.

Gonzalez-Cruces A. 2021. My interest for agriculture and COVID-19 emotions as graduate student. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 432-434.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-28>

My name is Agustin Gonzalez Cruces, I am an agronomist, specialized in Agricultural Parasitology, and I graduated from the Universidad Autónoma Chapingo. My grandfather is a kind, sensitive, old-fashioned man with a firm hand. He is an example of perseverance and determination in the farming vocation. He pointed me towards my decision to study agronomy. In this teenage phase of my life, with the rebelliousness that characterizes that moment in life, he told me: *'If you stay to study in Chapingo, I'll leave you my lands and teach you the secrets of agriculture'*. I remember that as being my initial motivation to enter that prestigious university. Love for the countryside was not an unknown feeling for me, since he always took us to work his fields, sometimes for weeding,

Mi nombre es Agustin Gonzalez Cruces, soy Ingeniero Agrónomo especialista en Parasitología Agrícola, egresado de la Universidad Autónoma Chapingo. Mi abuelo es un hombre bondadoso, sensible, de mano dura y chapado a la antigua. Es un ejemplo de perseverancia y constancia en la vocación productora. Fue él quien me encaminó en la decisión de estudiar agronomía. En esa etapa de adolescente, con la rebeldía que caracteriza ese momento de la vida, me dijo: *'Si te quedas a estudiar en Chapingo, te voy a dejar mis tierras y te enseñaré los secretos de la agricultura'*, recuerdo que esa fue mi motivación inicial para ingresar a esa prestigiosa universidad. El amor por el campo no era desconocido para mí, ya que él siempre nos llevaba a trabajar en sus parcelas, a veces a deshierbar, a regar, otras veces a pisar... con su dicho tan característico: *'Para saber mandar hay que saberlo hacer'*. Escribo... nos llevaba por que incluía a mi primo, Ángel Campos, que por cierto estudia la misma carrera que yo en la Universidad Agraria Antonio Narro. Por todo lo anterior, me atrevo a

irrigating, or other times for harvesting, with his typical saying: *'To know how to order you have to know how to get things done'*. I write "he took us" because my cousin, Ángel Campos, who happens to study the same career as I in the Universidad Agraria Antonio Narro, came along. Due to this, I dare to say it was my grandfather who turned us into men with a peculiar love for the countryside.

After graduating I began setting up orchards for sale and giving technical consultation to farmers, including my grandfather, Mr. Bernardino Cruces, who has honestly been the most reluctant and stubborn farmer I have met, with his saying: *'One thing is theory and another, very different thing is practice'*, referring to his experience as a farmer and defending his empirical knowledge from being undermined. My grandfather was one of the first farmers to establish asparagus crops in the area of Atenco, State of Mexico, which is why I decided to specialize in that very kind and gentle plant. Whenever I'm immerse in its luscious foliage, it makes me think. I think about the way we plant, with all its stages and the goal of farming, which is to contribute to feeding society. I reflect upon the teachings of my grandfather, who has been my only fatherly figure.

The COVID-19 pandemic meant a drastic change in my daily routine. When the infections began I became alert and got scared. I tried to tell my family what a virus was in the simplest way possible, because they did not understand the nature of the pathogen. I was about to finish my first term of my Master's Degree in Phytopathology in the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. I was restless, motivated and excited to take a lesson and learn from the best phytopathologists. Now, with video lessons, although the motivation to learn is still there, it isn't the same. My way of learning is visual and practical, and I think video lessons do not fulfill my expectations. When I took

decir que fue mi abuelo quien nos forjó como hombres con un peculiar amor hacia el campo.

Después de egresar me dediqué a establecer hortalizas para la venta y al asesoramiento técnico a productores, entre ellos a mi abuelo, el Sr. Bernardino Cruces, que honestamente ha sido el productor más rejego y necio que he conocido, con su dicho: *'Una cosa es la teoría y otra muy diferente es la práctica'*, refiriéndose a la experiencia que tiene como productor y defendiendo que sus conocimientos empíricos no fueran menospreciados. Mi abuelo fue de los primeros productores en establecer espárrago en la zona de Atenco, Estado de México. Por ello decidí especializarme en ese cultivo. Planta tan bondadosa y noble. Siempre que estoy inmerso en su denso follaje me hace reflexionar. Pienso sobre la forma como cultivamos y todas sus etapas, sobre el fin de la producción... que es contribuir a la alimentación de la sociedad. Reflexiono sobre las enseñanzas de mi abuelo, el cual ha sido mi única figura paterna.

La pandemia COVID-19 significó un cambio drástico en mi rutina diaria. Cuando iniciaron los contagios me alerté y tuve miedo. Trataba de explicarles a mis familiares lo que era un virus de la forma más simple posible, porque ellos no entendían la naturaleza de este patógeno. Estaba por terminar mi primer cuatrimestre de la Maestría en Fitopatología en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Tenía inquietud, motivación, emoción por asistir a un aula y aprender de los mejores fitopatólogos. Ahora, con clases virtuales, aunque la motivación por aprender persiste, no es lo mismo. Mi forma de aprendizaje es visual y práctico, y creo que las clases virtuales no llenan mis expectativas. Cuando tomé la asignatura de Epidemiología Agrícola impartida por el Dr. Gustavo Mora Aguilera, mi visión sobre la pandemia cambió. En su curso, que por cierto fue presencial, él nos hablaba sobre trabajar en la psicología del miedo, nos exhortaba

a lesson on Agricultural Epidemiology with Dr. Gustavo Mora Aguilera, my vision of the pandemic changed. In his course, which was in-person, by the way, he told us about working on the psychology of fear, he encouraged us to face the pandemic with science, and would not let us freeze out of fear of getting infected, reaffirming the idea that the knowledge of the pathogen and its spread was the key to its prevention and management. That course broadened my perspective as a plant pathologist towards SARS-CoV-2. I understood that by taking the measurements to prevent contagion we could carry out certain activities to bring us closer to normality. I have not allowed the ongoing situation to interfere too much with my personal and emotional lives. I try to go about my daily routines, I haven't stopped doing research or exercising, let alone going to the fields, always taking the adequate preventive measures.

I trust that scientific progress will make the pandemic situation better. I have no fear of getting infected, although I do look after myself as much as possible so I don't infect my mother or grandparents. History has marked us with similar pandemic situations, with unknown pathogens, and it is the knowledge of these that has helped us pull forward as a species. We know that a system in entropy always tends towards balance. My hope lies with producers, farmers and cattle breeders; that primary sector that fills me with pride and motivation, since they carry the most important responsibility on their shoulders: human nutrition.

a hacerle frente a la pandemia desde la trincheras de la ciencia, no permitió que nos paralizáramos por el miedo al contagio. Reafirmando la idea de que el conocimiento del patógeno y su dispersión era la clave para su prevención y manejo. Ese curso abrió mi perspectiva como fitopatólogo ante el SARS-CoV-2. Entendí que tomando las medidas para prevenir el contagio podíamos hacer más actividades y acercarnos un poco a la normalidad. No he permitido que la situación actual interfiera demasiado con mi vida personal y emocional. Trato de hacer mi rutina diaria, no he dejado de hacer investigación, ni de ejercitarme, mucho menos he dejado de ir al campo. Todo eso con las medidas preventivas adecuadas.

Tengo la confianza de que los avances científicos mejorarán la situación pandémica. No tengo miedo a contagiarme, sin embargo, trato de cuidarme al máximo para no contagiar a mi madre o mis abuelos. La historia nos ha marcado con situaciones epidémicas similares, con patógenos desconocidos y es el conocimiento de éstos lo que nos ha hecho salir adelante como humanidad. Sabemos que un sistema en entropía siempre tiende al equilibrio. Mi esperanza está en los productores, campesinos y ganaderos, ese sector primario que me llena de orgullo y motivación, ya que en sus hombros cargan la responsabilidad más importante, la alimentación humana.



## Consequences of COVID-19 on my experiment of gene overexpression in beans

### Consecuencias de COVID-19 en mi experimento de sobreexpresión de un gen en frijol

**Salma Sarai González-Meléndez.** Ciencias Agroenómicas, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), León, C.P. 37684, Guanajuato, México. Corresponding author: salma112010@hotmail.com

Received: February 28, 2021. Accepted: March 30, 2021.

---

González-Meléndez SS. 2021. Consequences of COVID-19 on my experiment of gene overexpression in beans. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 435-436.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-29>

My name is Salma Meléndez and I am currently a graduate in Agroenomic Sciences. In March 2020, when COVID-19 was detected in Mexico, I was in my eighth semester of my undergraduate degree. At that time, he had an experiment of overexpression of a gene in bean roots, in order to explore its function during symbiosis with rhizobial bacteria. Unfortunately, the laboratory and the entire campus canceled their face-to-face activities in order to reduce the risk of contagion. An alternative was to take the experimental plants to my house to give the proper care, however, the situation became difficult as I did not have the space or the required conditions at home. On the other hand, other research centers with which we had collaboration

Mi nombre es Salma Meléndez y soy actualmente egresada de la licenciatura en Ciencias Agroenómicas. En marzo del 2020, cuando COVID-19 se detectó a México, cursaba mi octavo semestre de la licenciatura. Para esas fechas tenía un experimento de sobreexpresión de un gen en raíces de frijol, con la finalidad de explorar su función durante la simbiosis con bacterias rizobiales. Desafortunadamente, el laboratorio y todo el plantel canceló sus actividades presenciales con la finalidad de reducir riesgos de contagio. Una alternativa era llevar las plantas experimentales a mi casa para dar los cuidados adecuados, sin embargo, la situación se tornó difícil al no tener en casa espacio ni condiciones requeridas. Por otra parte, otros centros de investigación con los que teníamos convenios de colaboración también cancelaron el acceso, tal es el caso del Centro de Investigación Óptica, donde hacíamos uso del microscopio confocal para detectar localización subcelular de proteínas. El cierre de instituciones

agreements also canceled access, such is the case of the Optical Research Center, where we used the confocal microscope to detect subcellular location of proteins. The closure of institutions allowed me to write theoretical parts of my thesis, however, the experimental phase was definitely affected for at least six months. The experiment with the plants was almost completely lost. In the subsequent months I had the opportunity to re-enter my institution; however, under strict conditions and on staggered days, which made certain measurements that require daily continuity difficult. Currently, the laboratory is not as it used to look, full of colleagues sharing results and difficulties, exchanging advice and even certain materials. I think the pandemic has pushed us to do our work more individually and slowly. Consequently, my degree was delayed and transferred from 2020 to 2021. There are still many challenges to overcome, although activities have not been fully restored, science does not stop and we have found a way to face it, slowly but surely.

me permitió escribir partes teóricas de mi tesis, sin embargo, la fase experimental definitivamente se afectó por al menos seis meses. El experimento con las plantas se perdió casi por completo. En los meses subsecuentes tuve la oportunidad de reingresar a mi institución; sin embargo, bajo estrictas condiciones y en días escalonados, lo cual dificultó ciertas mediciones que requieren continuidad diaria. Actualmente, el laboratorio no está como solía lucir, lleno de colegas compartiendo resultados y dificultades, intercambiando consejos y hasta ciertos materiales. Creo que la pandemia nos ha orillado a hacer un trabajo de forma más individual y lenta. En consecuencia, mi titulación se retrasó y se transfirió del 2020 para el 2021. Aún quedan muchos retos por vencer, si bien las actividades no se han restablecido por completo, la ciencia no se detiene y hemos encontrado la forma de afrontarlo, lento pero seguro.

## COVID-19 effects on my social and family life as student

### Efecto de COVID-19 en mi vida social y familiar como estudiante

**Gabriel de la Hoz-Ruiz**, Ciencias Agrogenómicas, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), León, C.P. 37684, Guanajuato, México. Corresponding author: sk7gabridelah@gmail.com

Received: February 28, 2021.

Accepted: March 30, 2021.

de la Hoz-Ruiz G. 2021. COVID-19 effects on my social and family life as student. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 437-438.

**DOI:** <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-30>

The COVID-19 pandemic we have undergone has hit us unexpectedly and has affected our lives one way or another, requiring us to readapt in order to coexist with this virus. My name is Gabriel de la Hoz Ruiz, and I recently completed my research work for my Master's Degree with Dr. Manojkumar Arthikala in the unit ENES-UNAM under the joint degree program between Spain and Mexico. I am currently doing paperwork to defend my thesis. During the pandemic, the entire administrative process slowed down, although all academic activities are being held in their regular fashion, so there has been no need to put them off. Research has continued, always respecting safety guidelines, helping us acquire more and more knowledge on the agro-genomic area. At a personal level, my lifestyle has changed very much. Family time has been cut down as much as possible in order to avoid risks of infection and due to local mobility restrictions. My

La pandemia COVID-19 que nos ha tocado vivir nos ha golpeado inesperadamente y ha afectado de una forma u otra nuestras vidas requiriendo readaptarnos para convivir con este virus. Mi nombre es Gabriel de la Hoz Ruiz y recientemente terminé mi trabajo de investigación de maestría con el Dr. Manojkumar Arthikala en la unidad ENES-UNAM bajo el programa de doble titulación entre España y México. En la actualidad estoy tramitando los documentos para la defensa y titulación de mi tesis. Durante la pandemia, todo el proceso administrativo se ralentizó, aunque las actividades académicas se están realizando de forma regular, de modo que no es necesario aplazarlas. La investigación ha continuado, siempre con apego a los lineamientos de seguridad, permitiéndonos adquirir más y más conocimiento sobre el área agrogenómica. A nivel personal, mi estilo de vida ha cambiado mucho. El tiempo familiar se ha reducido con el fin de evitar riesgos de contagio y por restricciones de movilidad local. Mi vida social también se ha afectado, ya que existe la sensación de inseguridad sobre la situación de salud respecto a COVID-19 de los demás. Esto me genera monotonía al serme tan necesaria la interacción social.

social life has also been affected, since there is a feeling of insecurity towards the health situation of others regarding COVID-19. This produces a sense of monotony in me since social interaction is so important to me.

However, confinement has led to greater social connectivity and greater unity in the family via digital media, which have helped make up for social distance and the lack of our loved ones. Through these media, we have had the emotional support of our families when we need them the most. In conclusion, we are adapting in all spheres of life in the best way possible, proving that, as a society, we can continue having academic and work lives with the greatest normality possible to continue with our personal growth, but with the adequate protection and responsibility of looking after the health of those around us.

Sin embargo, el confinamiento ha provocado mayor conectividad social y más unidad familiar por medios digitales. Estos han ayudado a suplir la distancia social y la falta de nuestros seres queridos. Por estas vías, emocionalmente se ha podido tener el apoyo familiar cuando más los necesitamos. En conclusión, nos estamos adaptando en todos los ámbitos de la mejor forma posible, demostrando como sociedad que podemos seguir realizando una vida académica y laboral con la mayor normalidad posible para no frenar nuestro crecimiento personal, pero con la debida protección y responsabilidad de cuidar la salud de los que nos rodean.

## Toward COVID-19 we all have our stories, this is mine

### Ante COVID-19 todos tenemos diferentes historias. Esta es la mía

**Joaquín Alberto García-Reynoso**, Ciencias Agrogenómicas, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), León, C.P. 37684, Guanajuato, México.  
\*Corresponding author: [Alberto\\_politecnico@hotmail.com](mailto:Alberto_politecnico@hotmail.com)

Received: February 28, 2021.

Accepted: March 30, 2021.

García-Reynoso JA. 2021. Toward COVID-19 we all have our stories, this is mine. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(4): 439-441.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-31>

My name is Alberto and I am starting the eighth semester of my Bachelor's Degree in Agrogenomic Science in the ENES. The pandemic emphasized how scarcely updated in digital technologies professors are and also displayed the needs that many of us students have. These needs did not improve for everyone. Three days before the voluntary quarantine in Mexico due to COVID-19, I travelled abroad, to a work stay period in the Universidad Nacional Mayor de San Marcos, in Peru. Right before the trip, the borders of that country closed, and I could not carry out my exchange. Upon my return to Mexico, I saw a very different scenario than what I was used to seeing. I didn't know what my educational situation would be like, and I had no idea if I would be set back a semester of if I would continue normally. Luckily, I was able to take the corresponding subjects, finishing my

Me llamo Alberto, estoy iniciando el octavo semestre de la Licenciatura en Ciencias Agrogenómicas en la ENES. La pandemia hizo notar la falta de actualización en las tecnologías digitales por parte de los docentes y evidenció las necesidades que muchos estudiantes tenemos. Estas necesidades no mejoraron para todos. Tres días antes de la cuarentena voluntaria en México por COVID-19, viajé al extranjero para hacer una estancia académica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en Perú. Pero justo durante el viaje, cerraron las fronteras de ese país y no pude llevar a cabo mi intercambio. Al regresar a México, fue un escenario distinto al acostumbrado, no sabía cómo estaría mi situación académica, desconocía si me retrasaría un semestre o seguiría con normalidad. Tuve suerte y pude cursar las materias correspondientes, terminando el semestre en tiempo y forma. Respecto a las materias, no aprendí mucho. Los profesores no estaban preparados e incluso muchos no sabían de ciertas tecnologías virtuales. Solo el docente de *Biología de Sistemas* generó una estrategia distinta a los demás, dando un espacio de aprendizaje adecuado y correcto.



semester in a proper and timely manner. In terms of my subjects, I didn't learn much. My professors weren't prepared, and many didn't even know much about certain virtual technologies. Only the teacher that gave us *Biology of Systems* generated a different strategy to the others, providing a space of adequate and proper learning.

My seventh semester was not bad at all, and I even adapted quite well to the situation. I began with my social service and the subject of *Investigation Work*. I believe that my planning with my professor was key to not becoming overwhelmed with activities and giving the project the attention it needed. I was able to finish the semester with a thoroughly completed project, without any pressure and it was something I enjoyed quite a bit. I hope that this eighth semester, which is about to begin, is just as comforting and I learn plenty.

Now, about the outside of the educational sphere, I am a boy with diverse activities and interests, such as participating in social projects in the state of Guanajuato. The pandemic forced all the events and activities I participated in to shut down. Being at home in lockdown after a life of movement, in which I travelled up and down the city, caused a bit of confusion, fatigue and anxiety. Although I continue with my activities at a distance, I can no longer enjoy being in touch with people, seeing children be happy, teaching, carrying out all these activities. I don't feel the same through a computer. I feel highly unmotivated to do all those things I used to do.

In my family, we have all been looking after ourselves as much as possible. My family runs a business, and I am the only child that studies, at the moment. As much as we would like to stay home, we can't. For us there is no 'Home Office'. If we don't sell, we don't eat. Unfortunately, for over five months we were unable to go out to work, since the government would have fined us and even

Mi séptimo semestre no estuvo para nada mal, incluso me adapté bastante a esta situación. Empecé con mi *Servicio Social* y la materia de *Trabajo de Investigación*. Creo que la planeación con mi tutor fue un punto clave para no saturarme de actividades y dar la atención necesaria al proyecto. Pude concretar dicho semestre con un proyecto bien elaborado, sin presión y lo disfruté bastante. Espero que este octavo semestre, que está por iniciar, sea igual de reconfortante y de mucho aprendizaje.

Ahora, por fuera del ámbito académico. Soy un chico con diversas actividades e intereses, como mi participación en proyectos sociales en el Estado de Guanajuato. La pandemia obligó a la cancelación de todos los eventos y actividades donde me involucraba. Estar confinado en casa, después de una vida de mucho movimiento, donde recorría toda la ciudad, me causó un poco de confusión, cansancio y ansiedad. A pesar de que sigo con mis actividades de forma virtual, ya no puedo disfrutar del contacto de la gente, de ver felices a los niños, al divulgar la ciencia, de enseñar, de poder realizar todas estas actividades. No se siente la misma emoción a través de una computadora. Me he desanimado mucho en continuar con todas esas cosas que solía hacer.

Viendo la parte familiar, todos nos hemos cuidado lo más que podemos. Somos una familia que se dedica al comercio, soy el único hijo que estudia en este momento. Por más que nos gustaría quedarnos en casa, no podemos. Para nosotros no existe el 'Home Office', si no salimos a vender no comemos. Desgraciadamente, por más de cinco meses no pudimos salir a trabajar, el gobierno nos podía multar e incluso darnos sanciones más severas. Durante estos cinco meses no había ingresos, mi papá tuvo que pedir varios préstamos, los cuales generaron más endeudamiento. Pasados esos cinco meses, volvimos a trabajar, pero las ventas eran muy bajas. No había para pagar las deudas. Referente a la salud, somos de los afortunados. No nos hemos

sanctioned us in harsher ways. During those five months, there was no income and my father had to ask for several loans, which only sank us further into debt. After those five months we went back to work, but sales were scarce. We were not making enough to pay back our debts. Regarding health, we are a few of the lucky ones. We have not been infected and all our family members are healthy. Only my grandmother got infected, but it never went past a little flu.

All the students, teachers and other people related to science have different stories. This is mine.

contagiado y todos nuestros familiares están sanos. Solo mi abuela se contagió, pero no pasó a más de una 'gripa'.

Todos los estudiantes, docentes y relacionados a las ciencias tenemos diferentes historias. Esta es la mía.

## The pandemic and the lost dreams of a junior engineer

### La pandemia y los anhelos ahogados de un ingeniero recién egresado

**Javier Roberto Villalobos-Camacho**, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México, Calzada del Hueso 1100, Coapa, Villa Quietud, Coyoacán, 04960 Ciudad de México. México. Corresponding author: jarovic0393@gmail.com

*“To overcome difficulties is to experience the full delight of existence”  
“Superar las dificultades es experimentar el deleite pleno de la existencia”*

Arthur Schopenhauer

**Received:** March 01, 2021.

**Accepted:** March 30, 2021.

Villalobos-Camacho JR. 2021. The pandemic and the lost dreams of a junior engineer. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 442-445.

**DOI:** <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-22>

Everything seemed to go well in the winter of 2019 in Mexico City, but it was exactly a year ago, on February of 2020 when television networks, news outlets and social networks informed that the first case of SARS-CoV-2 had been detected in Mexico. Until that moment, the student community belonging to higher education, which I was a part of, had seen a similar case 11 years before, in 2009, with the A H1N1 influenza, without evident consequences.

With the help of digital technology, we got news from all over the world regarding the expansion of COVID-19. We would read about politicians establishing drastic and unimaginable preventive

Todo parecía fluir perfectamente durante el invierno de 2019 en la Ciudad de México, pero fue hace un año exactamente, el 27 de febrero de 2020 cuando los medios televisivos, periodísticos y redes sociales comunicaron que se había detectado el primer caso de SARS-CoV-2 en México. Hasta ese momento la comunidad estudiantil de nivel superior a la que pertenecía, hacíamos caso omiso a las advertencias, pues 11 años antes habíamos vivido un caso parecido, en el 2009, con la influenza A H1N1 sin evidentes consecuencias.

Con ayuda de la tecnología digital llegaban a nosotros noticias de diferentes partes del mundo sobre el avance de COVID-19. Leíamos que los representantes políticos establecían medidas preventivas drásticas e inimaginables como cierre de fronteras y aeropuertos, uso de cubrebocas, gafas, caretas, guantes, etc. Así mismo, comenzaba una ‘guerra’ entre las principales potencias mundiales por insumos de seguridad y por determinar al

measures such as the closure of borders and airports, the use of face masks, eyewear, gloves, etc. Likewise, a ‘war’ broke out between the main global powers over security inputs and to find who was guilty and/or responsible for this virus. The blame was placed on the vendors and consumers of the market in the city of Wuhan in China, due to a bat soup or eating pangolin.

Mexicans are characteristically known for our dark humor and the way in which we laugh at hardships. The jokes with COVID-19 were inevitable. But we had no idea what lay ahead for us. Wednesday, March 18, 2020, was the last day I entered the Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X) in a normal way. That day, we only went to find out which our grades were going to be for the eleventh, penultimate, term of my degree. When we left my professor’s office, delighted with my grades, three friends and I decided to celebrate with beers and finger foods in the Xochimilco wharf, near the university. That was the day I later called *‘the silent goodbye to our dreams’*. But meanwhile, we enjoyed being only three months away from ...graduating! Some were doing their undergraduate social service and others would begin soon. We would comment and laugh. *‘Yeah, my friend. In a year we’ll be here as engineers, working on whatever we want, on something we like, holding the name of UAM-X high’*. We would chat about our experiences and thank our beautiful *‘House open to time’*. Words thrown to the wind with a touch of happiness and hope, perhaps with much innocence, since we had no idea of the labor market in a country like ours. Dreams, beautiful dreams that drowned as months went by.

At exactly 17:00 h, we said goodbye, and our last words were, *‘see you in two weeks’*. Two days later, the Mexican government announces that all non-essential activity, including educational

culpable y/o responsable de este virus. Se adjudicó la culpa a los vendedores y consumidores del mercado de la Ciudad de Wuhan en China, por una sopa de murciélago o por el consumo del pangolín.

En México, se nos caracteriza por el humor negro y la manera de burlarnos de las adversidades. Las bromas con COVID-19 fueron inevitables. Pero no sabíamos lo que nos esperaba. Fue un miércoles 18 de marzo de 2020, el último día que ingresé de manera normal a la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X). Aquel día, solo asistimos para conocer nuestra calificación final de onceavo trimestre, penúltimo de mi carrera. Al salir del cubículo del profesor, felices con nuestra calificación, tres amigos y yo decidimos festejar con botanas y cervezas en el embarcadero de Xochimilco, cerca de la escuela. Ese día, tiempo después, lo denominé *‘el adiós silencioso de nuestros anhelos’*. Pero mientras tanto, disfrutábamos de estar a solo tres meses de... ¡graduarnos!. Algunos realizaban el servicio social y otros lo empezaríamos en próximos días. Reíamos y comentábamos. *‘Si amigo, en un año estaremos aquí ya como ingenieros, trabajando en lo que queramos, en algo que nos guste poniendo en alto el nombre de la UAM-X’*. Platicábamos nuestras vivencias y agradecíamos a nuestra hermosa *‘Casa abierta al tiempo’*. Palabras arrojadas al viento con un toque de felicidad y esperanza, quizás con mucha inocencia al no tener idea del mundo laboral en un país como el nuestro, anhelos, hermosos anhelos que fueron ahogados con el pasar de los meses.

Al punto de las 17:00 h, nos despedimos, nuestras últimas palabras fueron, *‘nos vemos en dos semanas’*. A los dos días el subsecretario de salud del gobierno de México, anuncia que toda actividad no esencial, incluida la actividad educativa, quedaba suspendida hasta el 20 de abril y se declaraba el distanciamiento social y el confinamiento voluntario en casa. El desarrollo de la pandemia en

activities, was suspended until April 20, and social distancing and voluntary home confinement were in place. The development of the pandemic in Mexico forced the government to extend preventive COVID-19 measures. We started to realize what was going on. There was still much confusion. We knew everything was lost when they told us that the lessons for the twelfth and thirteenth terms would be online, via Zoom or Google Classroom. Goodbye graduation, goodbye to the last get-togethers with classmates, goodbye professors, goodbye to my beloved *alma mater*.

Time kept ticking, never stopping. What did come to a stop were the hopes of all my classmates, friends, my own, our ambitions of working on the fields of Mexico as freshly graduated agronomists. Practicing the theory and ethics that our professors and our university had taught us for four years. Serving our country, our society, finding solutions to problems on the field; social problems, economic problems, from the different areas in which an agronomist and anyone who graduated from UAM-X is trained to cope... All that was left were *'lost dreams, lost dreams of someone recently graduated, thanks to the pandemic'*.

Mental problems and anxieties trouble us. Digital technology has stopped being a hobby to be used for its intended purpose, a beneficial everyday tool for human beings. I mention this because thanks to digital media, I have kept in touch with my friends and professors and I have taken some agronomy courses I was interested in.

We all complain about this pandemic, we all say it truncated our path and we all have anxieties for having to stay at home. Our everyday lives have changed; some people don't accept this and have suffered the consequences of it. Some people go about their lives, regardless of what may happen. Different thoughts, but with a common and inevitable reality that I can summarize in three words: *'fear of death'*.

México, obligó al gobierno a prorrogar las medidas preventivas COVID-19. Comenzamos a tomar conciencia de lo que sucedía. Aún existía mucha confusión. Supimos que todo estaba perdido cuando nos dieron el aviso de que las clases del doceavo y último trimestre serían virtuales por medio de Zoom o Google Classroom. Adiós graduación, adiós a las últimas convivencias con compañeros de la generación, adiós profesores, adiós a mi amada alma mater.

El tiempo continuó avanzando, jamás se detuvo, quienes se detuvieron fueron las esperanzas de mis compañeros, amigos, las mías, nuestras ambiciones de ejercer en el campo mexicano como ingenieros agrónomos recién egresados. Poniendo en práctica la teoría y ética que nuestros profesores y universidad nos inculcaron durante cuatro años. El servir a México, a nuestra sociedad, encontrar soluciones a problemas del campo, en lo social, lo económico, desde las diferentes áreas en las cuales un ingeniero agrónomo, y cualquier egresado de la UAM-X, está capacitado para desenvolverse... Tan solo quedaron *'anhelos ahogados, anhelos ahogados de un recién egresado a causa de la pandemia'*.

Los problemas e inquietudes mentales nos aquejan, la tecnología digital ha dejado de ser un 'hobby' para ser utilizada para lo que fue creada, una herramienta benéfica de uso cotidiano para el ser humano. Menciono esto, porque gracias a los medios digitales he tenido contacto con mis amigos y amigas, profesores y profesoras, y tomar algunos cursos de mi interés enfocados a la agronomía.

Todos nos quejamos de esta pandemia, todos decimos que nos truncó el camino, todos padecemos de ansiedad por estar confinados en casa. Nuestra cotidianidad ha cambiado, hay quienes no lo aceptan y han sufrido las consecuencias de ello. Hay quienes siguen sin importarles lo que pueda suceder. Pensamientos diferentes, pero con una realidad común inevitable que puedo resumir en solo cuatro palabras *'miedo a la muerte'*.



As a final thought on what has occurred in these long months of the pandemic, I can express that, as young adults we must let go of consumerism and learn to manage our time and money. To be determined and focus on what we want and need, regardless of outside opinions, yet accept our abilities and limitations to make assertive decisions. To acknowledge and defend our convictions in politics, religion and social networks regarding how we dress, our sexuality, music, and sports such as soccer. Acknowledge their values in our daily lives. Not wanting to emulate tendencies or people of a higher social class; accepting the reality we live in, identifying the way things are. The way we are. To value and respect everyone who is a part of our lives. We must work to obtain what we want and end absurd stereotypes. To awaken that nationalistic spirit that we have fallen behind with as Mexicans, to feel proud of belonging to this country and give back to Mexico all it has given us by working hard and lending a hand in society.

From here, I thank my parents for supporting me all through my life, regardless of what I did or how. I thank and hold deep love for the Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco for having given me the pleasure of its student community. I thank my professors that supported me from May 9, 2016 until today. Some I agreed with in thought and with others, not so much, but I learned lots from them all.

I hope others identify with these words I spilled with honesty onto these pages. I am eager for this pandemic to be controlled soon; that there are no more human losses, that the Mexican agriculture goes back to normal and that the economy also slowly recovers. But especially, that the thousands of newly graduated agronomists, those of us who live with frustrated dreams...lost, can work in educational, professional and scientific fields.

Como reflexiones finales de lo acontecido durante estos largos meses de pandemia puedo expresar que como adultos jóvenes debemos dejar el consumismo, aprender a administrar el dinero y tiempo. Ser decididos y enfocarnos en lo que queremos y necesitamos sin importar las opiniones externas, pero aceptar nuestras capacidades y limitaciones para fundamentar decisiones asertivas. Reconocer y defender nuestras convicciones en política, religión, redes sociales de vestimenta, sexualidad, música y deportes, como el fútbol. Reconocer su valor en nuestra vida diaria. No querer emular tendencias o a personas de clase social superior a la nuestra, aceptar la realidad en la que vivimos, identificar el ser y el estar de las cosas, de nosotros mismos. Valorar y respetar a toda aquella persona que es parte de nuestra vida. Debemos trabajar para obtener lo que deseamos y terminar con todo este estereotipo absurdo. Despertar ese sentido nacionalista que tenemos rezagado como mexicanos, sentirnos orgullosos de pertenecer a este país, y regresarle con trabajo y ayuda a la sociedad lo mucho que nos ha dado México.

Desde aquí agradezco a mis padres por apoyarme a lo largo de mi vida sin importar como fuese o lo que hiciera, agradezco y le guardo un profundo amor a la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco por haberme dado el placer de ser parte de su comunidad estudiantil, agradezco a mis profesores y profesoras de quienes tuve apoyo, desde el 9 de mayo de 2016 hasta la fecha, con algunos coincidí en pensamientos y con otros no tanto, pero de cada uno de ellos aprendí mucho.

Espero que alguien más se identifique con estas palabras volcadas con honestidad en este escrito. Ansío que pronto esta pandemia sea controlada, que no haya más pérdidas humanas, que el campo mexicano se restablezca y que la economía poco a poco también se recupere. Pero sobretodo, que podamos ejercer en el ámbito académico, laboral y científico los miles de ingenieros agrónomos recién egresados, aquellos que vivimos con anhelos frustrados...ahogados.

# COVID-19 impact on UAT postgraduate students

## Impacto del COVID-19 en alumnos de Postgrado de la UAT

Sarahi Rubio-Tinajero<sup>1\*</sup>, Jazmín Zapata-Contreras<sup>2</sup>, Estudiantes Doctorado<sup>1</sup>, Maestría<sup>2</sup>, Investigación y Postgrado, Facultad de Ingeniería y Ciencias Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), Centro Universitario Adolfo López Mateos, C.P. 87149 Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. \*Corresponding author: daysa252018@gmail.com

Received: March 05, 2021.

Accepted: April 29, 2021.

Rubio-Tinajero S and Zapata-Contreras J. 2021. COVID-19 impact on UAT postgraduate students. Mexican Journal of Phytopathology 39(4): 446-451.  
**DOI:** <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2021-24>

**Abstract.** The UAT postgraduate students have had diverse academic and research problems due to the COVID-19 contingency. However, their commitment to comply with requirements is latent, while quickly adapting to the health crisis. The in-person restrictions have forced them to develop self-taught abilities, to look for solutions to research problems and to always stay updated in the use of digital technologies. Remote lessons have been a challenge for students and teachers due to technical problems that limit the efficiency of the teaching-learning process. Information is not passed onto the students and the objectives of the courses are only achieved halfway. Universities and the CONACYT have kept the graduation requirements in due time and form. However, requirements should be modified to be consistent with the severe limitations imposed by remote work, external to institutions. Grant holders have been the most affected.

**Resumen.** Los estudiantes de postgrado en la UAT han tenido distintos problemas académicos y de investigación ante la contingencia COVID-19. Sin embargo, se percibe su compromiso de cumplir los requerimientos adaptándose rápidamente a la crisis de salud. Las restricciones presenciales han obligado a desarrollar capacidades autodidactas, buscar soluciones a problemas de investigación y actualizarme constantemente en el uso de tecnologías digitales. Las clases virtuales han sido un reto para alumnos y profesores debido a fallas técnicas que limitan la eficiencia del proceso enseñanza-aprendizaje. La información no se logra transmitir al alumno y las metas de las asignaturas se cumplen a medias. Las Universidades y el CONACYT han mantenido los requisitos de egreso del posgrado en tiempo y forma. Sin embargo, se debería modificar requisitos en concordancia con las severas limitaciones que impuso el trabajo virtual y externo a las instituciones. El becario ha sido el más perjudicado.

**Palabras clave:** COVID-19, postgraduado, pandemia.

**Keywords:** COVID-19, postgraduate, pandemic.

### General problems in the postgraduate course

COVID-19 has become a serious health problem in different countries. It affects the entire society. Unfortunately, the virus that causes the disease, SARS-CoV-2, is among us and has changed our way of living, forcing humanity to face unexpected challenges. However, human beings are adapting and innovating to face the conditions imposed by this pandemic. This situation has clearly changed the way we see things, and every day we must prepare physically and psychologically, as well as to catch up on the use of digital tools that help us take the responsibilities and duties of every member of society. While things go back to normal, we will continue to work online and we must try our best, without jeopardizing our health.

The UAT postgraduate students have had diverse problems. However, we have obligations to fulfill, despite the demanding workload of our studies and despite having to quickly adapt to the health crisis. Before the pandemic broke out, we, as students, could study abroad for some time, with the best facilities and equipment with which to do our research. Nowadays, this is impossible since universities and research centers are closed. Students can't do this anymore because it would put their health at risk, as well as the health of collaborating researchers. On the other hand, it is hard to move ahead with our research because everything is restricted (library, laboratory or equipment). Another limitation to adequately continue our research are the institutional logistic and financial restrictions. The limited economic support for fuel or the availability of official vehicles for field experiments causes delays and modifications in our research. In the light

### Problemas generales en el postgrado

El COVID-19 se convirtió en un fuerte problema sanitario en distintos países. Afecta a toda la sociedad. Desafortunadamente, el virus que ocasiona la enfermedad, SARS-CoV-2, llegó y cambió la forma de vivir, obligando a la humanidad a afrontar desafíos inesperados. Sin embargo, el ser humano se está adaptando e innovando para enfrentar las condiciones que ha impuesto esta pandemia. Queda claro, que esta situación cambió la manera de ver las cosas, cada día hay que prepararse física y psicológicamente, así como actualizarse en el uso de herramientas digitales que permitan cumplir las responsabilidades y funciones que cumple cada miembro de la sociedad. En lo que se normalizan las cosas se seguirá trabajando en línea y hay que cumplir de la mejor manera, sin arriesgar la salud.

Los estudiantes de postgrado en la UAT hemos tenido distintos problemas. Sin embargo, el alumno tiene la obligación de cumplir pese a la exigencia que amerita sus estudios y tiene que adaptarse rápidamente a la crisis de salud. Antes de la pandemia, los alumnos podíamos hacer estancias en otras instituciones con mejores instalaciones y equipos para cumplir parte de las investigaciones. Hoy es imposible viajar debido a que las universidades o centros de investigación están cerradas. El alumno no puede hacer estas estancias porque expondría su salud y la de investigadores colaboradores. Por otra parte, es difícil avanzar con la investigación debido a que todo está restringido (biblioteca, laboratorio o equipo). Otra de las limitantes para realizar de manera adecuada la investigación son restricciones logísticas y financieras institucionales. El limitado apoyo económico para gasolina o disponibilidad de vehículos oficiales para experimentos de campo ocasiona retraso y modificaciones en la investigación. Ante esta situación se perciben incongruencias ya que el protocolo de seguridad ante

of this situation, there are inconsistencies, since the COVID-19 health protocol forbids social gatherings and travels, yet the postgraduate course continues to demand considerable progress in our research. In some cases, researches have been stopped, therefore alternatives are being sought. Postgraduate students struggle to continue their research because that reflects their professionalism and commitment. However, there are no academic contingency plans or rules to back up a situation like the one we are undergoing. In addition, remote classes have been challenging for students and professors due to occasional technical problems that cause interruptions or limit the efficiency of the teaching-learning process. This causes a problem between speaker and listener. Information is not passed onto the students and the objectives of the courses are only achieved halfway.

On the other hand, Universities and the CONACyT have kept the graduation requirements in due time and form. A PhD lasts 3 to 4 years and some internal university regulations request national and international stays, a scientific article to be published and having another one in editorial process. However, due to the problem presented, modifications to these requirements should be considered. In this context, the grant holders are the most affected, because this also has repercussions on the fulfillment of requirements to become a part of the National System of Researchers. A permanent modification in regulations may not be possible, but it would be suitable to add an Appendix for students who study postgraduate courses during the COVID-19 pandemic or during eventual recurring pandemic events.

#### **Testimony of a PhD student that survived COVID-19**

When COVID-19 was found in the state of Tamaulipas and health regulations were put into

el COVID-19 prohíbe salidas y convivencia social, pero el posgrado continúa exigiendo avances sustanciales de investigación. En algunos casos, los trabajos de investigación se han detenido, por lo que se buscan alternativas. El alumno de posgrado lucha por continuar su investigación porque eso refleja su profesionalismo y compromiso. Sin embargo, no hay reglas o planes de contingencia académicas que respalden una situación como la que se está viviendo. Adicionalmente, las clases virtuales han sido un reto para alumnos y profesores debido a fallas técnicas eventuales que causan interrupciones o limitan la eficiencia del proceso enseñanza-aprendizaje. Esto ocasiona un problema entre expositor y receptor. La información no se logra transmitir al alumno y las metas de la materia se cumplen a medias.

Por otra parte, las Universidades y el CONACyT mantienen los requisitos de egreso del posgrado en tiempo y forma. En doctorado son 3-4 años y algunos reglamentos internos de las universidades solicitan realizar estancias nacionales e internacionales, publicar un artículo científico y tener uno más en proceso editorial. Sin embargo, debido a la problemática planteada, se debería analizar la posibilidad modificar dichos requisitos. En este contexto, el becario es el más perjudicado, ya que esto también repercute en el cumplimiento de requisitos para ingresar al Sistema Nacional de Investigadores. Tal vez no se puede realizar una modificación reglamentaria permanente, pero sería conveniente agregar un Anexo para los estudiantes que realizan sus postgrados durante el periodo de pandemia COVID-19 o durante eventuales eventos epidémicos recurrentes.

#### **Testimonio de una estudiante de doctorado que sobrevivió al COVID-19**

Cuando el COVID-19 se detectó en el estado de Tamaulipas y las reglas sanitarias se ejecutaron, me

place, I was in the laboratory of the institution, working on the research for my PhD program. The university was evacuated and closed. However, I had set up an experiment in the laboratory, which consisted of the microencapsulation of *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. To evaluate them as antagonists of *Fusarium* spp. and as growth inducers in tomato plants (*Solanum* sp). Once the first stage of the experiment was complete, plans had been made for me to spend some time working in the Food and Development Research Center (Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.), in Cuauhtémoc, Chihuahua, with a researcher who is part of my thesis committee. The purpose of this stay was to use microencapsulation equipment. However, it became impossible to travel, so the methodology was modified so that I could carry out the encapsulation in a less sophisticated and less costly way. I was granted access to the laboratory to complete my experiment, which I had set up. Once the evaluation of antagonism was completed as a part of the first stage of the experiment, the fieldwork was next. The health contingency did not affect the stage of the tomato transplant and inoculation of the encapsulated microorganisms. I had the support of a teacher and researcher and his family, who helped me set up the experiment in their property, thanks to which I managed to perform my first plant growth measurements. However, in late December I tested positive for COVID-19, my health deteriorated and it was impossible to continue with the evaluation. With time and the adequate care, my health began to improve slowly. Side effects have remained which have reduced my productivity. On the other hand, the tomato crop had complications while I was sick because it got *Bemisia* sp and virosis. The first fruits were not cut and the data register got lost. In addition, the winter cause the fruits to mature slowly, therefore some measurements were made in part. I needed to take

encontraba en laboratorio de la institución desarrollado la investigación de mi programa doctoral. La universidad fue evacuada y cerrada. Sin embargo, tenía un experimento establecido en laboratorio, el cual consiste en microencapsular a *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. para evaluarlos como antagonistas de *Fusarium* spp. y como inductores de crecimiento en plantas de jitomate (*Solanum* sp). Una vez concluida la primera etapa del experimento se había planeado una estancia en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Cuauhtémoc, en Chihuahua, con un investigador que forma parte del comité de tesis. La estancia tendría como finalidad utilizar un equipo de microencapsulación. Sin embargo, fue imposible viajar, por lo tanto, se modificó la metodología para realizar la encapsulación de forma menos sofisticada y con poco recurso. Se me permitió entrar al laboratorio para terminar el experimento, que tenía establecido. Una vez culminada la evaluación de antagonismo como parte de la primera etapa del experimento, continuó el trabajo en campo. La contingencia sanitaria no afectó en la etapa de trasplante del jitomate e inoculación de los microorganismos encapsulados. Se contó con el apoyo de un docente e investigador y su familia, que permitieron establecer el experimento en su propiedad, lográndose realizar las primeras mediciones de crecimiento de plantas. Sin embargo, a fines de diciembre resulté positiva a la prueba COVID-19, la situación de salud se agravó y fue imposible continuar con la evaluación. Con el tiempo y la atención adecuada mi salud comenzó a mejorar lentamente. Quedaron secuelas que han disminuido mi productividad. Por otra parte, el cultivo de jitomate tuvo complicaciones mientras estuve enferma como presencia de *Bemisia* sp y virosis; no se realizaron los primeros cortes de fruta; y se perdió el registro de datos. Adicionalmente, la estación invernal causó lenta maduración de frutos, por lo que se realizaron



the greatest possible advantage of the experiment. The important thing was that I was in good health again, albeit with some side effects which, I hope, will go away with time, but I am motivated to continue with my research. I know that, from now on, lectures may continue online, with limitations in lab equipment and infrastructure, but it is important for me to continue with my studies. The experiment will be replicated on the field and the goals of my research will be achieved, always considering the indications of experts in terms of COVID-19 safety measures.

#### **Testimony of a Master's degree student regarding COVID-19**

When the COVID-19 began in Mexico, I was studying the last semester of my Bachelor's degree, planning to begin a Master's degree the following semester. However, the pandemic just kept extending. The course of selection was done virtually, due to the health regulations established. I was accepted and plant material was immediately prepared to establish my thesis work. One of the greatest difficulties was moving plants to the experimental site due to entry restrictions in the University. There were no official vehicles, either, despite being crucial for the transportation of citrus plants. My work consisted in inoculating the bacteria *Candidatus Liberibacter asiticus* into different citrus species with contrasting rootstocks to test the effect of resistance inducers. The complications in the transportation of plants delayed the inoculation of the bacteria, which would be performed by grafting infected shoots. We decided to transport them ourselves, although when we got a vehicle, the plants were no longer in optimal conditions, and the work continued with delay since new plants were needed. Later, a frost fell and all the experimental material was lost. We

parcialmente algunas mediciones. Era necesario aprovechar al máximo el experimento. Lo importante es que finalmente recupere mi salud, aunque con secuelas que espero con tiempo se subsanen, pero motivada para proseguir con mi investigación. Sé que en adelante las clases posiblemente continúen en línea, con las limitantes en equipos e infraestructura de laboratorios, pero es importante seguir con el programa de postgrado. Se repetirá el experimento en campo y se lograrán los objetivos de esta investigación, siempre atendiendo las indicaciones de expertos en cuanto a medidas de seguridad contra COVID-19.

#### **Testimonio de una estudiante de maestría ante el COVID-19**

Cuando inició la pandemia COVID-19 en México me encontraba en el último periodo académico de licenciatura, planeando ingresar a la maestría en el siguiente semestre. Sin embargo, la pandemia se prolongó. El curso de selección fue de manera virtual debido a las reglas sanitarias establecidas. Fui aceptada y se preparó de inmediato material vegetal para establecer el trabajo de tesis. Una de las dificultades más grandes fue el traslado de plantas al sitio experimental debido a restricciones de ingreso a instalaciones de la universidad. Tampoco había apoyo de vehículo oficial, que en ese momento eran indispensables para el traslado de las plantas de cítricos. El trabajo consiste en inocular la bacteria *Candidatus Liberibacter asiticus* en diferentes especies de cítricos con portainjertos contrastantes para probar el efecto de inductores de resistencia. Las complicaciones de traslado de plantas, retrasó la inoculación de la bacteria, la cual se realizaría mediante injerto de yemas infectadas. Decidimos realizar el transporte por cuenta propia; sin embargo, cuando se consiguió vehículo, las plantas ya no estaban en óptimas condiciones y el trabajo continuó

had to look for new plants elsewhere and modify the original project. Nowadays, the research is underway, and although progress is slow due to health restrictions, I know I will achieve my goals. This situation drives me to be more self-taught, to look for solutions and get constantly updated in the use of digital technologies. On the other hand, I am willing to adapt to the situation and fulfill my duties and responsibilities.

con retraso al requerirse nuevas plantas. Posteriormente, ocurrió una helada y se perdió todo el material experimental. Se tuvo que obtener nuevas plantas fuera de la entidad y realizar modificaciones al proyecto original. Actualmente, la investigación se está realizando, y aunque el avance es lento por restricciones de la pandemia, sé que cumpliré con mis objetivos. Esta situación me impulsa a ser más autodidacta, buscar soluciones y actualizarme constantemente en el uso de tecnologías digitales, por otro lado, estoy dispuesta a adaptarme a la situación, cumplir con mis obligaciones y responsabilidades.