

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

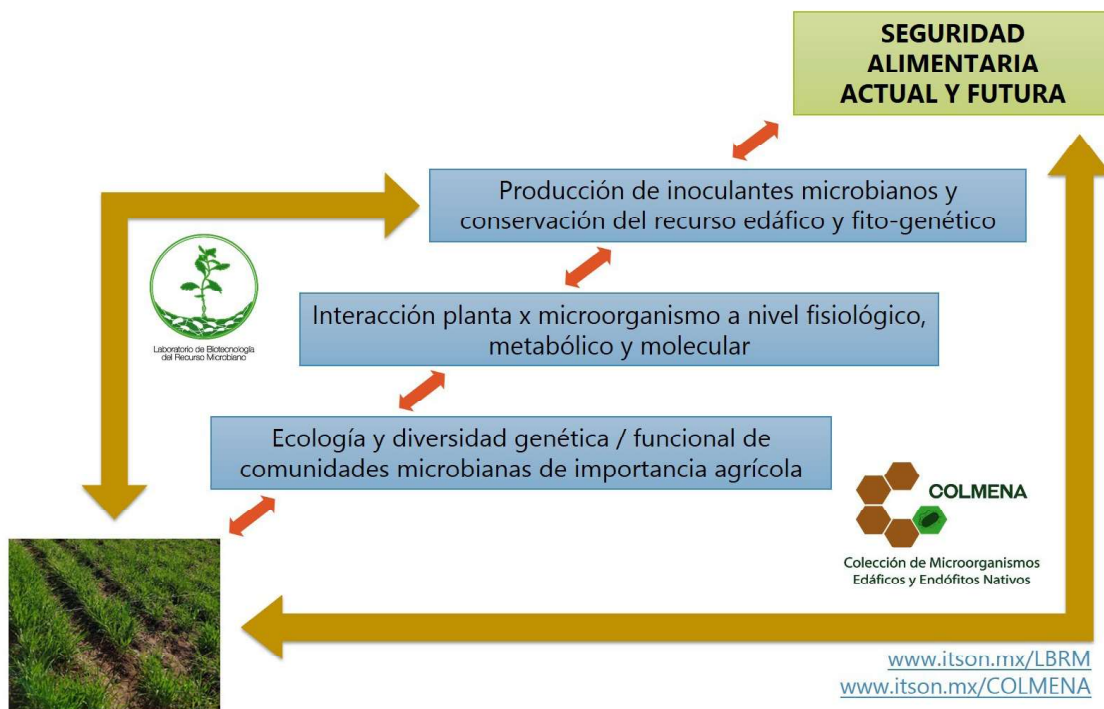


Figure 1. Lines of research developed in the LBRM-COLMENA Research Node focused on contributing to food security.
Figura 1. Líneas de investigación desarrolladas en el Nodo de Investigación LBRM-COLMENA enfocadas a contribuir a la seguridad alimentaria.

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.

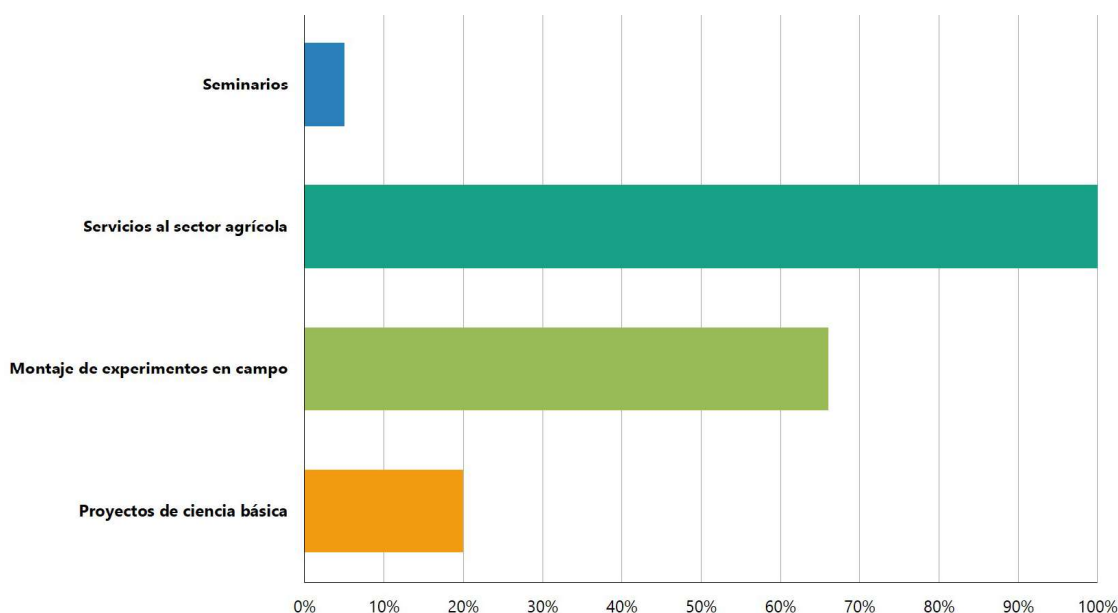


Figure 2. The negative impact of the COVID-19 pandemic on the projects and activities of the LBRM-COLMENA Research Node. 100% indicates the highest impact.

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>