






Microorganismos reportados en los microbiomas son claves para la salud de los hospederos

Yolanda Elizabeth Morales-García^{1,2*} , Diana Paola Reyes-Rodríguez³ , Oscar Horacio Alejandro Mares Duran² , Erika Mendoza-Rojas² , Jesús Muñoz-Rojas^{2**} 

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. ²Grupo “Ecology and Survival of Microorganisms”, Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana, Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. ³Licenciatura en Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.

Email autores para correspondencia: *yolanda.moralesg@correo.buap.mx; **jesus.munoz@correo.buap.mx

Recibido: 25 septiembre 2023. **Aceptado:** 30 septiembre 2023

Editado por: Verónica Quintero-Hernández (Profesora Investigadora de Cátedras CONAHCYT-Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla)

RESUMEN

Desde hace tres décadas se venía vislumbrando la importancia de los microorganismos para los ambientes y sus hospederos. En la última década ha ocurrido una explosión de conocimiento sobre los microorganismos asociados a los diferentes hábitats, las funciones que ocurren y las interacciones, todo desde una perspectiva espacial y temporal, a lo que se ha definido como microbioma. En este trabajo mostramos de manera breve la importancia que tienen estos microbiomas para la salud de los hospederos y los ecosistemas.

Palabras clave: microorganismos; microbioma; salud de las plantas; bacterias benéficas; inoculantes bacterianos.

ABSTRACT

For the past three decades, the significance of microorganisms for environments and their hosts had been slowly emerging. However, over the last decade, there has been an explosion of knowledge about microorganisms associated with various habitats, the functions that take place, and the interactions, all from a spatial and temporal perspective, which has been defined as the microbiome. In this work, we briefly showcase the importance that these microbiomes hold for the health of hosts and ecosystems.

Keywords: microorganisms; microbiome; plant health; beneficial bacteria; bacterial inoculants.

INTRODUCCIÓN

Un microbioma es una comunidad diversa y compleja de microorganismos que ocupa un espacio definido (hábitat) con propiedades físicoquímicas características [1,2]. El microbioma no sólo se refiere a los microorganismos involucrados en el hábitat, sino que también abarca su escenario de actividad, lo que resulta en la formación de nichos ecológicos específicos [2]. El microbioma, que forma un microecosistema dinámico e interactivo es propenso a cambios en el tiempo [3], también está integrado por macroecosistemas que incluyen huéspedes eucariotas, lo que es crucial para su funcionamiento y salud. En el microbioma interactúan microorganismos como bacterias, virus, hongos y otros microbios, que coexisten en un entorno particular [1]. Estos microorganismos pueden encontrarse en lugares como el intestino humano [4], el suelo [5], los océanos [6], las plantas [7], En el pelaje de los animales [8], entre otros.

Los microbiomas son fascinantes y desempeñan una función muy importante en una amplia variedad de sistemas biológicos [9–11]. Los microbiomas son cruciales para mantener el equilibrio y la salud de los ecosistemas y organismos [12–14]. Por ejemplo, en el intestino humano, el microbioma desempeña un papel esencial en la digestión, la absorción de nutrientes y la regulación del sistema inmunológico [15]. Los microbiomas influyen en aspectos más amplios de la salud, como la función cerebral [16] y son fundamentales para defender a un hospedero

contra sustancias cancerígenas [17] e incluso podrían ser claves en disminuir la toxicidad de tratamientos anticáncer [18]. La investigación en microbiomas está en constante desarrollo y se está indagando sobre cómo estas comunidades microbianas interactúan entre sí y con sus entornos [19,20].

Los microbiomas contienen comunidades microbianas emocionantes para su estudio y su comprensión continúa expandiéndose, lo que nos brinda información valiosa sobre la interconexión entre los seres vivos y su entorno [21,22]. Por ejemplo, con el estudio de los microbiomas se han podido identificar factores que influyen en la colonización y propagación de las bacterias multidrogo-resistentes [23]. Al respecto en este número se presenta un artículo sobre la resistencia de las bacterias Gram-negativas a los antibióticos [24], muestra los mecanismos de resistencia y que las bacterias *Acinetobacter baumannii* y *Pseudomonas aeruginosa*, respectivamente, son las especies más problemáticas debido a la resistencia que presentan a múltiples antibióticos [24]. Es importante identificar los determinantes de la resistencia para evitar una pandemia bacteriana [25–27]. En este número también se presenta un manuscrito sobre los efectos que tuvo la pandemia de la COVID-19 sobre el trabajo presencial [28].

Los microbiomas y las plantas

Las plantas contienen una gran diversidad de microorganismos interactuando en sus diversas estructuras; raíces, región epífita,

interior de los tejidos e incluso intracelularmente [29]. En todas estas estructuras hay microbiomas cuyos miembros están en una interacción continua con las plantas hospederas (Figura 1). Las semillas de las plantas ya albergan una población elevada de microorganismos que son esenciales para el correcto desarrollo de una planta en caso de tener un microbioma correcto [30].

Los microbiomas también desempeñan una función crucial en la salud de las plantas [13,31]. Al igual que en los sistemas biológicos humanos, las plantas tienen sus propias comunidades microbianas que interactúan con ellas y su entorno. Estas relaciones pueden ser beneficiosas, neutrales o perjudiciales para la planta, y tienen un impacto significativo en su crecimiento, desarrollo y resistencia a

enfermedades.

Existen algunos aspectos clave de la relación entre los microbiomas y la salud de las plantas que a continuación se mencionan:

1) Promoción del crecimiento de las plantas: Algunos microbios que viven en la zona cercana a las raíces de las plantas (rizósfera) pueden promover su crecimiento al ayudar en la absorción de nutrientes del suelo, fijar nitrógeno y mejorar la disponibilidad de minerales esenciales [32]. Muchos de estos microorganismos podrían promover el crecimiento incluso bajo condiciones de estrés hídrico, como lo muestran dos de los artículos que se publicaron en este número, uno por Jasso-Arreola y cols., [33] y otro por Vázquez Martínez y Muñoz-Rojas [34].

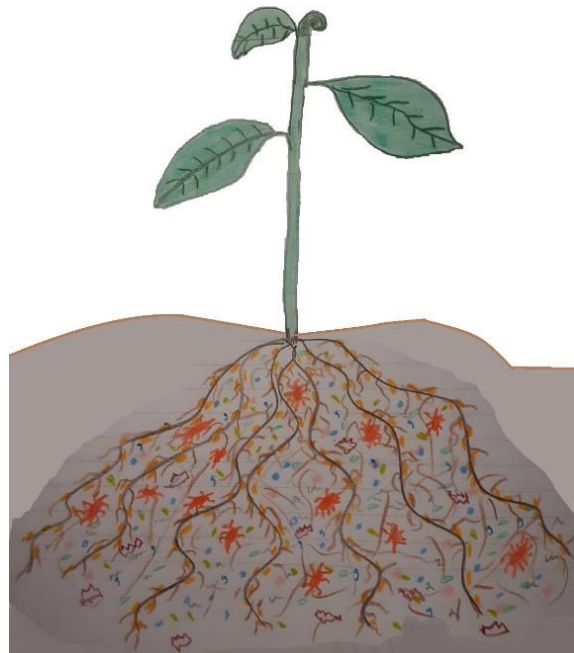


Figura 1. Representación de microorganismos interaccionando en la rizósfera de una planta.

2) Protección contra patógenos: Los microorganismos benéficos pueden ayudar a proteger a las plantas contra patógenos dañinos. Al colonizar las raíces o las partes aéreas de las plantas, pueden competir con los microbios patógenos por recursos y espacios, reduciendo así las infecciones [35].

3) Resistencia a estrés ambiental: Los microbiomas pueden aumentar la resistencia de las plantas a condiciones estresantes, como sequías, salinidad o temperaturas extremas [36]. Algunos microbios pueden producir compuestos que ayudan a las plantas a sobrellevar mejor estos desafíos como el caso de *Azospirillum brasilense* [37].

4) Comunicación química: Los microorganismos también pueden interactuar con las plantas mediante la liberación de compuestos químicos [38]. Estos compuestos pueden desencadenar respuestas en las plantas, como la activación de sistemas de defensa [39].

5) Interacción con simbiosis: Algunas plantas forman relaciones simbióticas con microorganismos, como las micorrizas, que ayudan a la planta a absorber nutrientes y agua del suelo [40]. Estas asociaciones simbióticas son esenciales para el crecimiento de muchas especies vegetales.

6) Cambios en la composición: Los cambios en la composición del microbioma pueden influir en la salud de las plantas. Por ejemplo, la introducción de microbios beneficiosos en el suelo o en el follaje de las plantas puede mejorar su rendimiento modulando la presencia de los

microorganismos del hábitat [41].

La investigación en microbiomas de plantas está en constante evolución, y se está explorando cómo manipular estas comunidades microbianas para mejorar la producción agrícola [42], aumentar la resistencia de las plantas a enfermedades, manteniendo un ecosistema sustentable [43]. La comprensión de estas interacciones puede tener un impacto significativo en la seguridad alimentaria y en la mitigación de los efectos del cambio climático en la agricultura [33,44].

La prometedora estrategia de utilizar microorganismos benéficos para mejorar la salud y productividad de las plantas

Los microorganismos benéficos son residentes naturales del suelo y la rizósfera [45], que han demostrado tener beneficios comprobados para incrementar el rendimiento y la salud de las plantas [46]. Cuando se aplican en la agricultura para mejorar el rendimiento de los cultivos, a estos microorganismos se les conoce comúnmente como "inoculantes". Sin embargo, a pesar de sus propiedades prometedoras, la eficacia de los inoculantes microbianos puede variar drásticamente en el campo, lo que dificulta su aplicabilidad [47,48].

Uno de los factores críticos para el éxito de los inoculantes es la invasión del microbioma de la rizosfera [47]. La rizósfera es la zona del suelo influenciada por los exudados de las raíces de las plantas [45]. La invasión de los microbios beneficiosos en este ambiente es un fenómeno complejo que está moldeado por las

interacciones con el microbioma local y residente, así como con la planta huésped [49]. Es de suma importancia entender cómo los microorganismos benéficos interactúan con el entorno de la rizósfera y cómo estas interacciones afectan la efectividad de los inoculantes microbianos en la agricultura [10]. La comprensión de estos factores es esencial para optimizar el uso de los inoculantes y mejorar la salud de las plantas y la productividad agrícola de manera sostenible.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno de los autores tiene conflicto de interés en relación con lo mostrado en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la VIEP BUAP por el apoyo para continuar con nuestras investigaciones. Tanto la Dra. Yolanda Elizabeth Morales-García como el Dr. Jesús Muñoz-Rojas pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores del CONAHCyT, por lo que agradecemos a la Institución por el apoyo otorgado para hacer nuestras investigaciones. También agradecemos a la Dirección Internacionalización de la Investigación de la BUAP, quienes amablemente nos apoyan para que el conocimiento rebase las fronteras nacionales.

REFERENCIAS

[1]. Marchesi JR, Ravel J. The vocabulary of

microbiome research: a proposal. *Microbiome* [Internet]. 2015;3(1):31. Available from: <https://doi.org/10.1186/s40168-015-0094-5>

[2]. Berg G, Rybakova D, Fischer D, Cernava T, Vergès M-CC, Charles T, *et al.* Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome* [Internet]. 2020;8(1):103. Available from: <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00875-0>

[3]. Risely A. Applying the core microbiome to understand host–microbe systems. *J Anim Ecol* [Internet]. 2020 Jul 1;89(7):1549–58. Available from: <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13229>

[4]. Ursell LK, Metcalf JL, Parfrey LW, Knight R. Defining the human microbiome. *Nutr Rev* [Internet]. 2012 Aug 1;70(suppl_1):S38–44. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2012.00493.x>

[5]. Jansson JK, Hofmockel KS. Soil microbiomes and climate change. *Nat Rev Microbiol* [Internet]. 2020;18(1):35–46. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>

[6]. Moran MA. The global ocean microbiome. *Science* (80-) [Internet]. 2015 Dec 11;350(6266):aac8455. Available from: <https://doi.org/10.1126/science.aac8455>

[7]. Turner TR, James EK, Poole PS. The plant microbiome. *Genome Biol* [Internet]. 2013;14(6):209. Available from: <https://doi.org/10.1186/gb-2013-14-6-209>

[8]. Sarkar A, Harty S, Johnson KV-A, Moeller AH, Archie EA, Schell LD, *et al.* Microbial transmission in animal social networks and the

social microbiome. *Nat Ecol Evol* [Internet]. 2020;4(8):1020–35. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1220-8>

[9]. Huttenhower C, Gevers D, Knight R, Abubucker S, Badger JH, Chinwalla AT, *et al.* Structure, function and diversity of the healthy human microbiome. *Nature* [Internet]. 2012;486(7402):207–14. Available from: <https://doi.org/10.1038/nature11234>

[10]. Poppeliers SWM, Sánchez-Gil JJ, de Jonge R. Microbes to support plant health: understanding bioinoculant success in complex conditions. *Curr Opin Microbiol* [Internet]. 2023;73:102286. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369527423000231>

[11]. Nogueira T, David PHC, Pothier J. Antibiotics as both friends and foes of the human gut microbiome: The microbial community approach. *Drug Dev Res* [Internet]. 2019 Feb 1;80(1):86–97. Available from: <https://doi.org/10.1002/ddr.21466>

[12]. Hou K, Wu Z-X, Chen X-Y, Wang J-Q, Zhang D, Xiao C, *et al.* Microbiota in health and diseases. *Signal Transduct Target Ther* [Internet]. 2022;7(1):135. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41392-022-00974-4>

[13]. Trivedi P, Leach JE, Tringe SG, Sa T, Singh BK. Plant–microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nat Rev Microbiol* [Internet]. 2020;18(11):607–21. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>

[14]. Trinh P, Zaneveld JR, Safranek S, Rabinowitz PM. One Health Relationships

Between Human, Animal, and Environmental Microbiomes: A Mini-Review [Internet]. Vol. 6, *Frontiers in Public Health*. 2018. Available from:

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2018.00235>

[15]. D’Argenio V, Salvatore F. The role of the gut microbiome in the healthy adult status. *Clin Chim Acta* [Internet]. 2015;451:97–102. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009898115000170>

[16]. Mohajeri MH, La Fata G, Steinert RE, Weber P. Relationship between the gut microbiome and brain function. *Nutr Rev* [Internet]. 2018 Jul 1;76(7):481–96. Available from: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy009>

[17]. Cullin N, Azevedo Antunes C, Straussman R, Stein-Thoeringer CK, Elinav E. Microbiome and cancer. *Cancer Cell* [Internet]. 2021;39(10):1317–41. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ccell.2021.08.006>

[18]. Gonçalves-Nobre JG, Gaspar I, Alpuim Costa D. Anthracyclines and trastuzumab associated cardiotoxicity: is the gut microbiota a friend or foe? – a mini-review [Internet]. Vol. 2, *Frontiers in Microbiomes*. 2023. Available from:

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frmbi.2023.1217820>

[19]. Finlay BB, Pettersson S, Melby MK, Bosch TCG. The Microbiome Mediates Environmental Effects on Aging. *BioEssays* [Internet]. 2019 Oct 1;41(10):1800257. Available from:

<https://doi.org/10.1002/bies.201800257>

[20]. Uren Webster TM, Consuegra S, Hitchings M, Garcia de Leaniz C. Interpopulation Variation in the Atlantic Salmon Microbiome Reflects Environmental and Genetic Diversity. *Appl Environ Microbiol* [Internet]. 2018 Aug 1;84(16):e00691-18. Available from: <https://doi.org/10.1128/AEM.00691-18>

[21]. Yang Q, Wang JC, Zhang D, Feng H, Bozorov T, Yang H, *et al.* Effects of multi-resistant ScALDH21 transgenic cotton on soil microbial communities. *Front Microbiomes* [Internet]. 2023;2(Early online). Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frmbi.2023.1248384/abstract>

[22]. Oliveira RS, Pinto OHB, Quirino BF, de Freitas MAM, Thompson FL, Thompson C, *et al.* Genome-resolved metagenomic analysis of Great Amazon Reef System sponge-associated Latescibacterota bacteria and their potential contributions to the host sponge and reef [Internet]. Vol. 2, *Frontiers in Microbiomes*. 2023. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frmbi.2023.1206961>

[23]. Baron SA, Diene SM, Rolain J-M. Human microbiomes and antibiotic resistance. *Hum Microbiome J* [Internet]. 2018;10:43–52. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452231718300058>

[24]. Martínez-Gorgonio E, González-Vázquez MC, Rocha-Gracia R del C, Gómez-Martínez J, Reyes-Mahé L, Jiménez-Villalpando J, *et al.* Resistencia bacteriana, ¿el superpoder de las

Gram-negativas? Alianzas y Tendencias BUAP [Internet]. 2023;8(31):1–23. Available from: <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-831/resistencia-bacteriana-el-superpoder-de-las-gram-negativas>

[25]. Quintero-Hernández V, Muñoz-Rojas J. Editorial 7(27) AyTBUAP. Búsqueda de nuevos compuestos antimicrobianos a partir de bacterias benéficas de tipo PGPB. *Alianzas y Tendencias BUAP* [Internet]. 2022;7(27):i–vii. Available from: <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-727>

[26]. Corral-Lugo A. Nuevas estrategias para combatir la resistencia a los antibióticos: Desarrollo de un tratamiento usando inhibidores de lipopolisárido con antibióticos frente a *Acinetobacter baumannii* multirresistentes. In: Muñoz-Rojas J, editor. *Asociación Poblana de Ciencias Microbiológicas* [Internet]. Puebla, México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; 2023. p. 235: 1-3. Available from: <https://sites.google.com/view/apcmac/2023-conferencias-conferences/sesión-235>

[27]. Corral-Lugo A. Nuevas estrategias para combatir la resistencia a los antibióticos: Desarrollo de una vacuna trivalente en contra de *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa*. In: Muñoz-Rojas J, editor. *Asociación Poblana de Ciencias Microbiológicas* [Internet]. Puebla, México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; 2023. p. 237: 1-2. Available from: <https://sites.google.com/view/apcmac/2023-conferencias-conferences/sesión-237>

[28]. Soto-Balcázar RF. Efecto Pandemia: Migración de Trabajo Presencial a Híbrido o



Remoto en el Sector TI Desde el Capital Humano. Análisis Bibliométrico. Alianzas y Tendencias BUAP [Internet]. 2023;8(31):56–79. Available from: <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-831/efecto-pandemia-migración-de-trabajo-presencial-a-híbrido-o-remoto>

[29]. Vandenkoornhuysen P, Quaiser A, Duhamel M, Le Van A, Dufresne A. The importance of the microbiome of the plant holobiont. *New Phytol* [Internet]. 2015 Jun 1;206(4):1196–206. Available from: <https://doi.org/10.1111/nph.13312>

[30]. Nelson EB. The seed microbiome: Origins, interactions, and impacts. *Plant Soil* [Internet]. 2018;422(1):7–34. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3289-7>

[31]. Chakma J, Singh SP, Bhutia DD. Rhizospheric Microbes and Plant Health BT- Re-visiting the Rhizosphere Eco-system for Agricultural Sustainability. In: Singh UB, Rai JP, Sharma AK, editors. Singapore: Springer Nature Singapore; 2022. p. 373–89. Available from: https://doi.org/10.1007/978-981-19-4101-6_18

[32]. Mulani R, Mehta K, Saraf M, Goswami D. Decoding the mojo of plant-growth-promoting microbiomes. *Physiol Mol Plant Pathol* [Internet]. 2021;115:101687. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0885576521000886>

[33]. Jasso-Arreola Y, Ibarra JA, Estrada-de los Santos P. Efecto de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en plantas sometidas a estrés hídrico: un enfoque desde la fisiología vegetal.

Alianzas y Tendencias BUAP [Internet]. 2023;8(31):24–55. Available from: <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-831/efecto-de-rizobacterias-promotoras-del-crecimiento-vegetal-en-plantas>

[34]. Vázquez-Martínez LE, Muñoz-Rojas J. *Pseudomonas putida* KT2440, como una potencial bacteria promotora del crecimiento en cultivos agrícolas. Alianzas y Tendencias BUAP [Internet]. 2023;8(31):80–94. Available from: <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-831/pseudomonas-putida-kt2440-como-una-potencial-bacteria-promotora>

[35]. Cesa-Luna C, Baez A, Quintero-Hernández V, De la Cruz-Enríquez J, Castañeda-Antonio MD, Muñoz-Rojas J. The importance of antimicrobial compounds produced by beneficial bacteria on the biocontrol of phytopathogens. *Acta Biológica Colomb.* 2020;25(1):140–54. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2020000100140

[36]. de Vries FT, Griffiths RI, Knight CG, Nicolitch O, Williams A. Harnessing rhizosphere microbiomes for drought-resilient crop production. *Science* (80-) [Internet]. 2020 Apr 17;368(6488):270–4. Available from: <https://doi.org/10.1126/science.aaz5192>

[37]. Creus CM, Sueldo RJ, Barassi CA. Water relations and yield in *Azospirillum*-inoculated wheat exposed to drought in the field. *Can J Bot* [Internet]. 2004 Feb 1;82(2):273–81. Available from: <https://doi.org/10.1139/b03-119>

[38]. Xu Z, Liu Y, Zhang N, Xun W, Feng H, Miao Y, *et al.* Chemical communication in

plant–microbe beneficial interactions: a toolbox for precise management of beneficial microbes. *Curr Opin Microbiol* [Internet]. 2023;72:102269. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369527423000061>

[39]. Ali S, Tyagi A, Bae H. Plant Microbiome: An Ocean of Possibilities for Improving Disease Resistance in Plants. Vol. 11, *Microorganisms*. 2023. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/2/392>

[40]. Koziol L, Bauer JT, Duell EB, Hickman K, House GL, Schultz PA, *et al.* Manipulating plant microbiomes in the field: Native mycorrhizae advance plant succession and improve native plant restoration. *J Appl Ecol* [Internet]. 2022 Aug 1;59(8):1976–85. Available from: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14036>

[41]. Berg G, Kusstatscher P, Abdelfattah A, Cernava T, Smalla K. Microbiome Modulation—Toward a Better Understanding of Plant Microbiome Response to Microbial Inoculants [Internet]. Vol. 12, *Frontiers in Microbiology*. 2021. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2021.650610>

[42]. Santos LF, Olivares FL. Plant microbiome structure and benefits for sustainable agriculture. *Curr Plant Biol* [Internet]. 2021;26:100198. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214662821000049>

[43]. Chávez-Ramírez B, Rodríguez-Velázquez ND, Mondragón-Talonia CM, Avendaño-Arrazate CH, Martínez-Bolaños M, Vásquez-

Murrieta MS, *et al.* *Paenibacillus polymyxa* NMA1017 as a potential biocontrol agent of *Phytophthora tropicalis*, causal agent of cacao black pod rot in Chiapas, Mexico. *Antonie Van Leeuwenhoek* [Internet]. 2021;114(1):55–68. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10482-020-01498-z>

[44]. Morales-García YE, Baez A, Juárez-Hernández D, Hernández-Tenorio A-L, Muñoz-Rojas J. Inoculantes de segunda generación como alternativa de solución para mitigar el cambio climático. In: *Seminarios del grupo Ecology and Survival of Microorganisms* [Internet]. 2020. p. 1–2. Available from: https://www.researchgate.net/publication/339228969_Inoculantes_de_segunda_generacion_como_alternativa_de_solucion_para_mitigar_el_cambio_climatico

[45]. Molina-Romero D, Morales-García YE, Bustillos-Cristales MR, Rodríguez-Andrade O, Santiago-Saenz Y, Muñoz-Rojas J, *et al.* Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Rev la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*. 2015;17 (2)(February 2016):24–34. Available from: <https://www.biologicas.umich.mx/index.php?journal=biologicas&page=article&op=view&path%5B%5D=207>

[46]. Morales-García YE, Baez A, Quintero-Hernández V, Molina-Romero D, Rivera-Urbalejo AP, Pazos-Rojas LA, *et al.* Bacterial Mixtures, the Future Generation of Inoculants for Sustainable Crop Production BT-Field Crops: Sustainable Management by PGPR. In:

Maheshwari DK, Dheeman S, editors. Cham: Springer International Publishing; 2019. p. 11–44. Available from:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-30926-8_2

[47]. Jack CN, Petipas RH, Cheeke TE, Rowland JL, Friesen ML. Microbial Inoculants: Silver Bullet or Microbial Jurassic Park? Trends Microbiol [Internet]. 2021;29(4):299–308. Available from:

<https://doi.org/10.1016/j.tim.2020.11.006>

[48]. Dobbelaere S, Croonenborghs A, Thys A, Ptacek D, Vanderleyden J, Dutto P, *et al.*

Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. Funct Plant Biol [Internet]. 2001;28(9):871–9. Available from:

<https://doi.org/10.1071/PP01074>

[49]. Albright MBN, Louca S, Winkler DE, Feeser KL, Haig S-J, Whiteson KL, *et al.* Solutions in microbiome engineering: prioritizing barriers to organism establishment. ISME J [Internet]. 2022;16(2):331–8. Available from:

<https://doi.org/10.1038/s41396-021-01088-5>