

## La urgencia de usar rizobacterias promotoras del crecimiento de plantas para detener el cambio climático

Francisco David Moreno-Valencia<sup>1</sup> **iD**, Kelsey Aguirre Schilder<sup>2</sup> **iD**, Jesús Muñoz-Rojas<sup>1\*</sup> **iD**,  
Yolanda Elizabeth Morales-García<sup>1,3\*\*</sup> **iD**

<sup>1</sup>Grupo “Ecology and Survival of Microorganisms”, Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana, Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <sup>2</sup>Departamento de Bioquímica y Biología Molecular II, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada, España. <sup>3</sup>Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Email autores para correspondencia: \*[jesus.munoz@correo.buap.mx](mailto:jesus.munoz@correo.buap.mx) \*\*[yolanda.moralesg@correo.buap.mx](mailto:yolanda.moralesg@correo.buap.mx)

**Recibido:** 15 junio 2023. **Aceptado:** 20 junio 2023

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

### RESUMEN

El aumento de la temperatura en diversas regiones del planeta es una consecuencia de varios factores que afectan a la capa de ozono, propician su debilitamiento y permiten la entrada de los rayos solares con mayor intensidad, uno de los factores que más influye es la gran cantidad de fertilizante nitrogenado que se adiciona a los cultivos. La mayor parte de estos fertilizantes se lixivian hacia los mantos acuíferos donde provocan la eutrofización y muerte de los seres acuáticos. En el peor escenario los compuestos nitrogenados son transformados a compuestos NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno) que son volátiles, que reaccionan con el agua de las nubes y precipitan en forma de ácidos correspondientes como el ácido nítrico. Sin embargo, la mayor parte de los NO<sub>x</sub> llegan a la estratósfera y reaccionan con la capa de ozono, afectando su funcionamiento. Es urgente disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados para evitar un mayor daño a la capa de ozono. Una alternativa prometedora para disminuir la aplicación de los agroquímicos en el campo es el uso de bacterias promotoras del crecimiento de plantas. En este manuscrito se discute de forma breve el estado del arte de la investigación relacionada con las formulaciones con bacterias promotoras del crecimiento de plantas y como el uso de éstas podrían mitigar el cambio climático además de potenciar el desarrollo de los cultivos agrícolas.

**Palabras clave:** fertilización nitrogenada; capa de ozono; cambio climático; bacterias benéficas; inoculantes bacterianos.

## ABSTRACT

The increase in temperature in various regions of the planet is a consequence of several factors that affect the ozone layer, promote its weakening, and allow the entry of more intense sunlight, one of the factors that most influences is the large amount of nitrogenous fertilizer added to the crops. Most of these fertilizers leach into the aquifers where they cause eutrophication and death of aquatic beings. In the worst scenario, nitrogenous compounds are transformed into volatile NO<sub>x</sub> compounds (nitrogen oxides), which react with cloud water and precipitate in the form of corresponding acids such as nitric acid. However, most of the NO<sub>x</sub> reaches the stratosphere and reacts with the ozone layer, affecting its function. It is urgent to reduce the use of nitrogenous fertilizers to avoid further damage to the ozone layer. A promising alternative to reduce the agrochemicals application is the use of plant growth promoting rhizobacteria. This manuscript briefly discusses the state of the art of research related to formulations with plant growth-promoting bacteria and how the use of them could mitigate climate change as well as enhance the development of agricultural crops.

**Keywords:** nitrogen fertilization; ozone layer; climate change; beneficial bacteria; bacterial inoculants.

## INTRODUCCIÓN

En estos últimos días se han registrado varias olas de calor que han afectado a los cultivos agrícolas y a la vida cotidiana de los humanos [1,2]. En México se ha publicado en las noticias la muerte de varias personas a causa de este exceso de calor [3]. Este aumento de temperatura está fuertemente asociado con el daño a la capa de ozono, que permite una mayor entrada de radiación ultravioleta a la tierra [4]. El cambio climático está ocurriendo por muchas razones, entre la que destaca la contaminación por aerosoles [4], pero una razón que en particular preocupa es el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados que se adicionan en la agricultura de todo el mundo [5]. Por ejemplo, en México se utilizan

alrededor de 1,200,000.00 toneladas de urea anualmente, más otros compuestos nitrogenados [6]; en Puebla, México, se aplican 8 bultos o más de urea por hectárea [7]. Sin embargo, no es el único compuesto nitrogenado que se adiciona a los cultivos, también se usa sulfato de amonio, nitrato de amonio, nitrato de potasio, entre otros componentes.

Lamentablemente se conoce que solo alrededor del 30% es absorbido por las plantas, el restante se pierde por lixiviación y se va a los mantos acuíferos [8,9], mantos que alimentan a ríos, lagunas, agua de los pozos y manantiales; contaminando las fuentes de agua y contribuyendo al fenómeno de eutrofización [10–13]; que es la formación de una delgada capa de compuestos nitrogenados que impide el

intercambio de oxígeno entre el aire y el agua; lo que contribuye al crecimiento de plantas acuáticas como el lirio y propicia la muerte de los animales acuáticos como los peces [14]. Mucho de ese nitrógeno derivado de la agricultura es transformado a compuestos NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno) [15]. Los compuestos NO<sub>x</sub> son volátiles y reaccionan con el agua de las nubes provocando lluvia ácida [16] y en el peor de los casos esos compuestos pueden llegar a la estratósfera y reaccionar con el ozono; lo que contribuye al debilitamiento de esta importante capa que protege al planeta de la radiación solar [17]. Ya son más de 50 años, que en el mundo se ha implementado la tecnología de fertilización nitrogenada, lo que implica un gran desgaste a la capa de ozono y en consecuencia una mayor entrada de radiación solar; que a su vez impacta en la temperatura global del planeta y que contribuye fuertemente al cambio climático [18]. Por esta razón es urgente cambiar las prácticas agrícolas y disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados, lo cual representa un gran reto ya que no debemos de perder de vista que de eso depende la alimentación humana.

### **Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal como estrategia para disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados**

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR por sus siglas en inglés) han sido estudiadas desde hace muchos años [19–21]. Estas bacterias son capaces de promover el crecimiento de plantas mediante diferentes mecanismos; que de manera global se clasifican

en directos e indirectos [22]. Los mecanismos directos son aquellos en los que la nutrición de la planta se ve beneficiada ya sea porque la bacteria proporciona algún metabolito a la planta o bien porque la bacteria produce una molécula que estimula el crecimiento de las raíces de la planta provocando una mejor absorción de los nutrientes [23]. Los mecanismos indirectos por su lado están implicados en la protección de la planta contra enfermedades, en este tipo de mecanismos las bacterias pueden inhibir el crecimiento de patógenos por la producción de sustancias antimicrobianas o bien pueden provocar que la planta desencadene una respuesta sistémica inducida que las protege del ataque de patógenos [24]. Hay varias revisiones que abordan a profundidad estos temas y no es el objetivo de este trabajo adentrarnos en los mecanismos [19,20,25–27]; sin embargo, es importante enfatizar que muchas de estas bacterias podrían ser la solución al dilema de la disminución del uso de fertilizantes nitrogenados [28]. Por ejemplo, se ha documentado que la aplicación de la bacterias como *Azospirillum brasilense* puede potenciar el rendimiento de las plantas y disminuir el uso de agroquímicos [21,29,30]. Más interesante aún, se han diseñado inoculantes bacterianos multiespecies que son más efectivos que las formulaciones monoespecie para promover el crecimiento de plantas en condiciones de campo [31–33]. Por ejemplo, bajo condiciones de campo se ha observado que la aplicación de una mezcla de bacterias denominada EMMIM-5 puede disminuir el uso de agroquímicos hasta

en un 50% sin perder el rendimiento esperado [31,34]. El conocimiento sobre bacterias promotoras del crecimiento de plantas ha aumentado enormemente y muchas formulaciones han sido patentadas y otras más están incluso en la puerta de la comercialización [31,35].

### **La educación a agricultores, la clave para disminuir los compuestos nitrogenados en el campo**

No obstante, lograr que las formulaciones con bacterias benéficas logren penetrar en los mercados es una situación que no solo requiere que el científico implicado estudie la problemática, sino que la información generada en los laboratorios pueda llegar a los agricultores y población en general, para que comprendan porqué se debe disminuir la aplicación de fertilizantes nitrogenados y sustituirlos por prácticas agrícolas sustentables y amigables con el medio ambiente. Esto será un reto de nuestros días, porque los científicos deben salir de los laboratorios a concientizar a la población en general, en especial a los niños como estrategia para mitigar el cambio climático [36]. Además, los gobiernos son pieza clave para que esto se acelere, porque de ello dependerá que cambien varias normativas para que el uso de formulaciones bacterianas sean una prioridad para el desarrollo del campo y que exijan que la alimentación humana debe estar basada en una agricultura amigable con el medio ambiente. Un esfuerzo reciente para la educación de agricultores fue llevado a cabo por investigadores de la Benemérita

Universidad Autónoma de Puebla con apoyo del CONCYTEP [7], en el que se recorrieron varias zonas agrícolas con el fin de llevarles información clave para potenciar el desarrollo de plantas usando formulaciones multiespecies y formas para combatir patógenos sin el uso de agroquímicos [7,23,37].

### **Investigación científica una herramienta para comprender la rizósfera**

La rizósfera es la zona del suelo influenciada por los exudados de las raíces de las plantas [19,38]. Las interacciones en la rizósfera son muy complejas, ya que hay una enorme diversidad microbiana [39,40] y solo recientemente con estudios de secuenciación masiva y el análisis de los microbiomas se ha podido comprender un poco mejor la importancia de esa diversidad [41]. Los microbiomas son el conjunto de microorganismos que se encuentran en un hospedero y gracias a éstos el hospedero puede llevar a cabo sus funciones vitales [42]; por ejemplo el éxito competitivo y adaptativo de las plantas depende de sus microbiomas [43,44]. La cantidad de microorganismos presentes en un microbioma de plantas es enorme y aun no se ha modelado de forma precisa como esos microorganismos están interaccionando, no obstante, es probable que la planta regula las fluctuaciones de microorganismos en acuerdo con sus necesidades [45,46], por ejemplo, si las plantas requieren nitrógeno en un ambiente donde el nitrógeno combinado es escaso es posible que las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno sean favorecidas [47].

Aunque en la actualidad ya contamos con formulaciones bacterianas que potencian el desarrollo y rendimiento de cultivos agrícolas [31], es importante señalar que la investigación científica no se puede detener, se debe continuar comprendiendo como ocurren las interacciones en la rizósfera de las plantas [48], tener nuevos aislamientos de bacterias benéficas con propiedades PGPR y que además sean tolerantes a condiciones adversas [49], vislumbrar como evitar el desarrollo de patógenos usando bacterias PGPR evitando el uso de agroquímicos [50], así como comprender de forma global y desde perspectivas ómicas como ocurren las interacciones de bacterias en plantas sanas *versus* plantas infectadas [51], conocer los microbiomas y cómo podríamos en el futuro acercarnos al diseño de formulaciones multiespecies que se acerquen a ayudar a las plantas de forma similar a lo que ocurre cuando una planta interacciona con un microbioma sano, o bien formulaciones bacterianas que permitan a los microbiomas enriquecerse en diversidad nuevamente.

Contribuyendo a la generación del conocimiento y para difundir este conocimiento a la sociedad hispanohablante, en este número de Alianzas y Tendencias BUAP se han publicado un manuscrito de revisión sobre el potencial de *Klebsiella variicola* para promover el crecimiento de plantas y sus inconvenientes de uso [52], un artículo original que muestra como evaluar sustancias inhibitorias usando como modelo al kéfir [53], un artículo original que muestra el modelamiento del cultivo de

caucho en el escenario del cambio climático y muestra como el suelo cada vez deja de ser apto para el desarrollo del caucho a medida que el tiempo avanza [54]. Además, la portada de este número representa las burbujas del tiempo [55], lo que nos hace recordar que tiempo es lo que ya no tenemos para revertir el cambio climático.

## CONCLUSIONES

El uso de fertilizantes nitrogenados afecta al ambiente en distintos niveles, incluyendo a la capa de ozono y sus funciones de protección contra la radiación solar; lo que acelera el aumento de temperatura y efectos en el clima del planeta. Es urgente disminuir el uso de estos compuestos en la agricultura y las bacterias promotoras del crecimiento de plantas podrían ser una excelente alternativa para disminuir el uso de agroquímicos sin afectar los rendimientos. No obstante, para conseguir esto, se requiere de llevar a cabo la educación de la población para que exista un convencimiento colectivo y así mitigar el cambio climático. También es importante continuar con el desarrollo de investigaciones científicas que permitan una mayor comprensión y desarrollo de tecnologías en el área de inoculantes bacterianos para eficientizar el uso de estos microorganismos, evitando la dispersión de patógenos.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

## AGRADECIMIENTOS

A la VIEP-BUAP por el apoyo para llevar a cabo nuestras investigaciones. FDM-V es becario postdoctoral CONACYT, el Dr. JM-R la Dra. YEM-G son miembros del S.N.I.; por lo que todos agradecen a esta institución por su apoyo.

## REFERENCIAS

- [1]. Jiménez-Gómez I, Martín-Sosa-Rodríguez S. Cobertura en la prensa europea de la adaptación de las ciudades a las olas de calor y al cambio climático. 2021 Disponible en: <http://hdl.handle.net/10045/111185>
- [2]. Gallardo Olivares R. Impactos de las olas de calor en la agricultura ¿Cómo podemos proteger los cultivos? Prensa Uchile. 2023. Disponible en: <https://agronomia.uchile.cl/noticias/193450/imp-actos-de-las-olas-de-calor-en-la-agricultura->
- [3]. Salud reporta ocho muertes asociadas al calor y 487 casos por afectaciones. Expansión Política. 2023. Disponible en: <https://politica.expansion.mx/mexico/2023/06/08/muertes-por-ola-de-calor-en-mexico-2023>
- [4]. Bernhard GH, Bais AF, Aucamp PJ, Klekociuk AR, Liley JB, McKenzie RL. Stratospheric ozone, UV radiation, and climate interactions. *Photochem Photobiol Sci*. 2023; 1–53. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s43630-023-00371-y>
- [5]. Pazos-Rojas LA, Marín-Cevada V, Morales-García YE, Baez A, Villalobos-López MÁ, Pérez-Santos M, Muñoz-Rojas J. Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde. *Rev Iberoam Ciencias*. 2016; 3(7): 72–85.
- [6]. Alonso Torres E, Panecatí Bernal Y, Alvarado-Pulido JJ, Fuentes-Ramírez LE, Martínez-Morales J, Muñoz-Rojas J, Morales-García YE. Rumbo a la generación de inoculantes en polvo a base de *Pseudomonas putida* KT2440. *AyTBUAP*. 2022; 7(27): 87–116. Disponible en: <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-727/rumbo-a-la-generación-de-inoculantes-en-polvo-a-base-de-pseudomonas-putida>
- [7]. Carbajal-Armenta A, Alonso Torres E, Morales-García YE, Muñoz-Rojas J. Compartiendo conocimiento a los agricultores del estado de Puebla respecto al impacto ambiental derivado del uso de agroquímicos. In: Luna-Méndez N, Castañeda-Antonio MD, Morales-García YE, Muñoz-Rojas J, editors. *Inoculación y uso de extractos naturales Una alternativa agroecológica para la prevención de plagas y enfermedades en el cultivo de maíz en Puebla*. 1st ed. Puebla, México: CONCYTEP. 2022; 33–50. Disponible en: <https://sites.google.com/viep.com.mx/bookiuen/capítulo-iii>
- [8]. Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 2002; 418(6898): 671–7. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- [9]. Tilman D, Lehman C. Human-caused environmental change: Impacts on plant diversity and evolution. *Proc Natl Acad Sci*.

2001; 98(10): 5433 LP – 5440. Disponible en: <http://www.pnas.org/content/98/10/5433.abstract>

[10]. Muñoz-Rojas J. Editorial 5(17). Cambios urgentes en las prácticas agrícolas para mitigar el cambio climático. AyTBUAP. 2020; 5(17): i–iii. Disponible en: <https://www.aytbuap.mx/publicaciones#h.8rq3a84r3cae>

[11]. Kumar PS, Yaashikaa PR. Agriculture pollution. In: Advanced Treatment Techniques for Industrial Wastewater. Hershey, PA, USA: IGI Global; 2019; 134–54. Disponible en: <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-5225-5754-8.ch009>

[12]. Savci S. Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. APCBEE Procedia. 2012; 1: 287–92. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212670812000486>

[13]. Dai M, Zhao Y, Chai F, Chen M, Chen N, Chen Y, Cheng D, Gan J, Guan D, Hong Y. Persistent eutrophication and hypoxia in the coastal ocean. Cambridge Prism Coast Futur. 2023; 1: e19. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/article/persistent-eutrophication-and-hypoxia-in-the-coastal-ocean/08B740C894A7895A354FBE7194BC6489>

[14]. Rodríguez-Lara JW, Cervantes-Ortiz F, Arambula-Villa G, Mariscal-Amaro LA, Aguirre-Mancilla CL, Andrio-Enríquez E. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): A review. Agron Mesoam [Internet]. 2021; 33(1

SE-Literature Reviews): 44201. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/44201>

[15]. Recio J, Montoya M, Álvarez JM, Vallejo A. Inhibitor-coated enhanced-efficiency N fertilizers for mitigating NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O emissions in a high-temperature irrigated agroecosystem. Agric For Meteorol. 2020; 292–293: 108110. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192320302124>

[16]. Shammass NK, Wang LK, Wang M-HS. Sources, Chemistry and Control of Acid Rain in the Environment. In: Handbook of Environment and Waste Management. WORLD SCIENTIFIC. 2019; 1–26. (Handbook of Environment and Waste Management; vol. Volume 3). Disponible en: [https://doi.org/10.1142/9789811207136\\_0001](https://doi.org/10.1142/9789811207136_0001)

[17]. Müller R. The impact of the rise in atmospheric nitrous oxide on stratospheric ozone. Ambio. 2021; 50(1): 35–9. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01428-3>

[18]. Gurung RB, Ogle SM, Breidt FJ, Parton WJ, Del Grosso SJ, Zhang Y, Hartman MD, Williams SA, Venterea RT. Modeling nitrous oxide mitigation potential of enhanced efficiency nitrogen fertilizers from agricultural systems. Sci Total Environ. 2021; 801: 149342. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721044156>

[19]. Lugtenberg B, Kamilova F. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. Annu Rev Microbiol. 2009; 63(1): 541–56. Disponible en:

[https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918?casa\\_token=QKuYOOd4R3gAAAAA%3AJerI-sW7Ub2BrHIy7L2Bip7hZzfP5xaNU4vrigRiOXxL4OWYpYoJSrYEzsc0Sq5oQ3wZr50aJ1dvZA](https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918?casa_token=QKuYOOd4R3gAAAAA%3AJerI-sW7Ub2BrHIy7L2Bip7hZzfP5xaNU4vrigRiOXxL4OWYpYoJSrYEzsc0Sq5oQ3wZr50aJ1dvZA)

[20]. Lucy M, Reed E, Glick BR. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2004; 86(1): 1–25. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:ANTO.0000024903.10757.6e>

[21]. Caballero-Mellado J. El género *Azospirillum*. In: Martínez-Romero E, Martínez-Romero J, editors. *Microbios en línea*. first. Cuernavaca; 2001. Disponible en: <http://www.biblioweb.tic.unam.mx/libros/microbios/Cap10/>

[22]. Molina-Romero D, Bustillos-Cristales M del R, Rodríguez-Andrade O, Morales-García YE, Santiago-Saenz Y, Castañeda-Lucio M, Muñoz-Rojas J. Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas*. 2015; 17(2): 24–34.

[23]. Morales-García YE, Sánchez-Navarrete ET, Romero-Navarro E, Rivera-Urbalejo AP. INOCREP: inoculante de segunda generación Introducción. In: Luna-Méndez N, Castañeda-Antonio MD, Morales-García YE, Muñoz-Rojas J, editors. *Inoculación y uso de extractos naturales Una alternativa agroecológica para la prevención de plagas y enfermedades en el cultivo de maíz en Puebla*. Puebla, México: CONCYTEP; 2022; 51–60. Disponible en:

<https://sites.google.com/viep.com.mx/bookiuen/capitulo-iv>

[24]. Oleńska E, Małek W, Wójcik M, Swiecicka I, Thijs S, Vangronsveld J. Beneficial features of plant growth-promoting rhizobacteria for improving plant growth and health in challenging conditions: A methodical review. *Sci Total Environ*. 2020; 743: 140682. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720342042>

[25]. Molina-Romero D, Bustillos-Cristales MR, Rodríguez-Andrade O, Morales-García YE, Santiago-Saenz Y, Castañedo-Lucio M, Muñoz-Rojas J. Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Rev la DES Ciencias Biológico Agropecu*. 2015; 17(2): 24–34.

[26]. Vessey JK. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*. 2003; 255(2): 571–86. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>

[27]. Ambrosini A, Passaglia LMP. Plant Growth–Promoting Bacteria (PGPB): Isolation and Screening of PGP Activities. *Curr Protoc Plant Biol*. 2017; 2(3): 190–209. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/pb.20054>

[28]. Bind S, Bind S, Chandra D. Chapter 1 - Beneficial microbes for sustainable agroecosystem. *Developments in Applied Microbiology and Biotechnology*. Academic Press. 2023; 1–19. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323916431000089>



- [29]. Aguilar-Piedras JJ, Xiqui-vásquez ML, García-García S, Beatriz E. Producción del ácido indol-3-acético en *Azospirillum*. Rev Latinoam Microbiol. 2014; 50(1 & 2): 21–37. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Beatriz\\_Baca/publication/228628241\\_Produccion\\_del\\_acido\\_indol-3-acetico\\_en\\_Azospirillum/links/5425d0960cf238c6ea778333.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Beatriz_Baca/publication/228628241_Produccion_del_acido_indol-3-acetico_en_Azospirillum/links/5425d0960cf238c6ea778333.pdf)
- [30]. Zeffa DM, Perini LJ, Silva MB, Vieira de Sousa N, Scapim CA, Martinez de Oliveira AL, Teixeira do Amaral Júnior A, Azeredo Gonçalves LS. *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. PLoS One. 2019; 14(4): e0215332-. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215332>
- [31]. Morales-García YE, Baez A, Quintero-Hernández V, Molina-Romero D, Rivera-Urbalejo AP, Pazos-Rojas LA, Muñoz-Rojas J. Bacterial mixtures, the future generation of inoculants for sustainable crop production. Sustainable. Field Crops: Sustainable Management by PGPR. 2019; 11–44. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-30926-8\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-30926-8_2)
- [32]. Molina-Romero D, Baez A, Quintero-Hernández V, Castañeda-Lucio M, Fuentes-Ramírez LE, Bustillos-Cristales M del R, Rodríguez-Andrade O, Morales-García YE, Munive A, Muñoz-Rojas J. Compatible bacterial mixture, tolerant to desiccation, improves maize plant growth. PLoS One. 2017; 12(11):

- e0187913. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187913>
- [33]. Muñoz-Rojas J, Alatorre-Cruz JM, Bustillos-Cristales M del R, Morales-García YE, Hernández-Tenorio A-L, Baez-Rogelio A. Multi-species formulation to improve the growth from plants semi-desertic zones. México; MX20150 14278A, 2015; 1–28. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/315800535\\_Multi-species\\_formulation\\_to\\_improve\\_the\\_growth\\_from\\_plants\\_semi-desertic\\_zones](https://www.researchgate.net/publication/315800535_Multi-species_formulation_to_improve_the_growth_from_plants_semi-desertic_zones)
- [34]. Molina-Romero D, Juárez-Sánchez S, Venegas B, Ortiz-González CS, Baez A, Morales-García YE, Muñoz-Rojas J. A Bacterial Consortium Interacts With Different Varieties of Maize, Promotes the Plant Growth, and Reduces the Application of Chemical Fertilizer Under Field Conditions. Front Sustain Food Syst. 2021; 4. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsu.2020.616757/full>
- [35]. Morales-García YE, Juárez-Hernández D, Hernández-Tenorio A-L, Muñoz-Morales JM, Baez A, Muñoz-Rojas J. Inoculante de segunda generación para incrementar el crecimiento y salud de plantas de jardín. AyTBUAP. 2020; 5(20): 136–54. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1hnGVyOqfJdrs8F-LIXe5FrL1H6MP6nU/view>
- [36]. Muñoz-Rojas J. Compartiendo conocimiento de inoculantes multiespecie. Tick Tock; 2023. Disponible en: <https://www.tiktok.com/@joymerre/video/7231>

[464502791834886?lang=es](https://doi.org/10.464502791834886?lang=es)

[37]. Castañeda-Antonio D, Santamaría-Juárez JD, Quintero-Hernández V, Illescas Aparicio E. Estrategias alternativas de control biorracional de plagas: monitoreo, biofumigación y fitoextractos. In: Luna Méndez N, Castañeda-Antonio MD, Morales-García YE, Muñoz-Rojas J, editors. Inoculación y uso de extractos naturales Una alternativa agroecológica para la prevención de plagas y enfermedades en el cultivo de maíz en Puebla. Puebla, México: CONCYTEP; 2022; 15–31. Disponible en: <https://sites.google.com/viep.com.mx/bookiuen/capítulo-ii>

[38]. Singh I. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and their various mechanisms for plant growth enhancement in stressful conditions: a review. Eur J Biol Res. 2018; 8(4): 191–213. Disponible en: <http://journals.tmkarpinski.com/index.php/ejbr/article/view/90>

[39]. Mukhtar S, Mehnaz S, Malik KA. Microbial diversity in the rhizosphere of plants growing under extreme environments and its impact on crop improvement. Environ Sustain. 2019; 2(3): 329–38. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00061-5>

[40]. Hou Q, Wang W, Yang Y, Hu J, Bian C, Jin L, Li G, Xiong X. Rhizosphere microbial diversity and community dynamics during potato cultivation. Eur J Soil Biol. 2020; 98: 103-176. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556319304030>

[41]. Chaudhary P, Sharma A, Chaudhary A,

Khatri P, Gangola S, Maithani D. Illumina based high throughput analysis of microbial diversity of maize rhizosphere treated with nanocompounds and *Bacillus sp.* Appl Soil Ecol. 2021; 159: 103836. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139320307654>

[42]. Hartmann M, Six J. Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. Nat Rev Earth Environ. 2023; 4(1): 4–18. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00366-w>

[43]. Jacoby RP, Koprivova A, Kopriva S. Pinpointing secondary metabolites that shape the composition and function of the plant microbiome. J Exp Bot. 2021; 72(1): 57–69. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa424>

[44]. Lyu D, Zajonc J, Pagé A, Tanney CAS, Shah A, Monjezi N, Msimbira LA, Antar M, Nazari M, Backer R, Smith DL. Plant Holobiont Theory: The Phytomicrobiome Plays a Central Role in Evolution and Success. Microorganisms. 2021; 9. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-2607/9/4/675>

[45]. Rodríguez-Andrade O, Fuentes-Ramírez LE, Morales-García YE, Molina-Romero D, Bustillos-Cristales MR, Martínez-Contreras RD, Muñoz-Rojas J. The decrease in the population of *Gluconacetobacter diazotrophicus* in sugarcane after nitrogen fertilization is related to plant physiology in split root experiments. Rev Argent Microbiol. 2015; 47(4): 335–43. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii>

[i/S032575411500125X](https://doi.org/10.1038/s42003-023-04417-w)

[46]. Muñoz-Rojas J, Caballero-Mellado J. Population dynamics of *Gluconacetobacter diazotrophicus* in sugarcane cultivars and its effect on plant growth. *Microb Ecol.* 2003; 46(4): 454–64. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/4251831>

[47]. Igiehon NO, Babalola OO. Rhizosphere Microbiome Modulators: Contributions of Nitrogen Fixing Bacteria towards Sustainable Agriculture. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2018; 15. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/4/574>

[48]. Mueller CW, Carminati A, Kaiser C, Subke J-A, Gutjahr C. Editorial: Rhizosphere Functioning and Structural Development as Complex Interplay Between Plants, Microorganisms and Soil Minerals. *Frontiers in Environmental Science.* 2019; 7. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fen vs.2019.00130>

[49]. Slimani A, Raklami A, Oufdou K, Meddich A. Isolation and Characterization of PGPR and Their Potenzial for Drought Alleviation in Barley Plants. *Gesunde Pflanz.* 2023; 75(2): 377–91. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00709-z>

[50]. Egamberdieva D, Eshboev F, Shukurov O, Alaylar B, Arora NK. Bacterial Bioprotectants: Biocontrol Traits and Induced Resistance to Phytopathogens. *Microbiology Research.* 2023; 14: 689–703. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2036-7481/14/2/49>

[51]. Zhu Z, Wu G, Deng R, Hu X, Tan H, Chen

Y, Tian Z, Li J. Spatiotemporal biocontrol and rhizosphere microbiome analysis of *Fusarium* wilt of banana. *Commun Biol.* 2023; 6(1): 27. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04417-w>

[52]. Pancho-Márquez AM, Muñoz-Rojas J. Aplicaciones de *Klebsiella variicola* y uso potencial en la producción agrícola. *AyTBUAP.* 2023; 8(30): 1–16. Disponible en: <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-830/aplicaciones-de-klebsiella-variicola-y-uso-potencial>

[53]. Benítez de la Torre A, Montejo-Sierra IL, Jerezano Domínguez A. Inhibición de kéfir como prueba presuntiva en la evaluación de compuestos antimicrobianos. *AyTBUAP.* 2023; 8(30): 17–28. Disponible en: <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-830/inhibición-de-kéfir-como-prueba-presuntiva-en-la-evaluación-de-compuestos>

[54]. Basto-Monsalve MB, Pascuas-Rengifo E, Fontalvo-Buelvas JC. Modelación del cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el contexto de cambio climático para Caquetá, Colombia. *AyTBUAP.* 2023; 8(30): 29–43. Disponible en: <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-830/modelación-del-cultivo-de-caucho-hevea-brasiliensis>

[55]. Gordillo-Ibarra X, Muñoz-Morales JM. Burbujas del tiempo, un escenario adverso en tiempos del cambio climático. *Puebla, México: AyTBUAP.* 2023; 8(30): 44–6. Disponible en: <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-830/burbujas-del-tiempo-un-escenario-adverso-en-tiempos-del-cambio-climático>