

Hacia una agricultura sostenible: El uso de *Bacillus* spp. como bioestimulante

Towards sustainable agriculture: The use of *Bacillus* spp. as biostimulant

Consuelo Flores-Estrada¹ , Samantha de J. Rivero-Montejo¹ , Luz I. Rojas-Avelizapa² ,
Andrea M. Rivas-Castillo^{1*} 

¹ Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada-Instituto Politécnico Nacional, Unidad Querétaro, Cerro Blanco 141, Colinas del Cimatario, 76090, Querétaro, Querétaro, México.

² Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, camino Peñuela-Amatlán s/n, Amatlán de los Reyes, 94945, Veracruz, México.

*Autor para correspondencia: amrivasc@ipn.mx

Fecha de recepción:

21 de enero de 2025

Fecha de aceptación:

10 de marzo de 2026

Disponible en línea:

19 de junio de 2026

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-
NoComercial-
CompartirIgual 4.0
Internacional
(CC BY-NC-SA 4.0)

Cómo citar:

Flores-Estrada, C.,
Rivero-Montejo,
S. de J., Rojas-Avelizapa,
L. I., Rivas-Castillo,
A. M. (2026). Hacia una
agricultura sostenible:
El uso de *Bacillus* spp.
como bioestimulante. *Acta
Agrícola y Pecuaria*, 12, e0121026.
https://doi.org/10.30973/
aap/2026.12.0121026

RESUMEN

En México, la dependencia a fertilizantes y plaguicidas químicos ocasiona afectaciones ambientales y a la salud humana. Los bioestimulantes bacterianos, como *Bacillus* spp., representan una alternativa para reducir el impacto ambiental y promover la seguridad alimentaria. Estos bioestimulantes pueden mejorar la nutrición y el crecimiento vegetal. La presente revisión se centra en el uso de *Bacillus* spp. como bioestimulante, especialmente *B. velezensis*, y en su potencial para promover el crecimiento, además de la resistencia a estrés biótico y abiótico en cultivos, lo cual puede contribuir a una agricultura sostenible.

PALABRAS CLAVE

Resistencia sistémica, rizobacterias, metabolitos secundarios, seguridad alimentaria.

ABSTRACT

In Mexico, the dependence on chemical fertilizers and pesticides causes environmental and human problems. Bacterial biostimulants, such as *Bacillus* spp., represent an alternative for reducing environmental impact and promoting food security. These biostimulants can improve plant nutrition and growth. This review focuses on the use of *Bacillus* spp. as biostimulant, especially *B. velezensis*, and its potential to promote growth and resistance to biotic and abiotic stress in crops, which can contribute to sustainable agriculture.

KEYWORDS

Systemic resistance, rhizobacteria, secondary metabolites, food security.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades humanas fundamentales para el desarrollo de las civilizaciones, y es la principal fuente productora de alimentos para la humanidad. A nivel económico, la producción agrícola representa el 1 % del producto interno bruto (PIB) y, en algunos países en desarrollo, comprende más del 25 % del PIB (Ramírez-Espinoza et al., 2020). Sin embargo, el aumento de la población mundial ha alcanzado los 8,000 millones de personas a principios del 2024, lo que se traduce como un conflicto para el sistema agrícola actual que, se ha reportado, solo podrá abastecer a 10,000 millones de personas sin comprometer los recursos alimenticios (Chávez-Díaz et al., 2020). Para mejorar la productividad de los cultivos, se ha implementado el uso constante de sustancias químicas como fertilizantes y plaguicidas, sin tener en consideración los problemas a largo plazo por el uso descontrolado de estas sustancias.

Aunado a ello, ha sido ampliamente reportado que los fertilizantes y plaguicidas comúnmente utilizados generan problemas ambientales como la degradación del suelo, la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, además de la emisión de gases que provocan el efecto invernadero (García-Pinto, 2021). Específicamente en México, la dependencia a fertilizantes y plaguicidas químicos, principalmente en las regiones con mayor productividad agrícola, ocasiona afectaciones como la infertilidad y salinidad del suelo. Por ejemplo, el Valle del Mezquital en Hidalgo se caracteriza por recibir las aguas residuales de la Zona Metropolitana del Valle de México, distribuidas por el río Tula a diversos distritos de riego en Tula, Alfajayucan y Ajacuba.

El uso de estas aguas residuales para el riego, así como la utilización de plaguicidas y fertilizantes como una práctica común, ha provocado que se hallen residuos de productos químicos tanto en agua como en suelo, entre ellos, glifosato y glufosinato, químicos encontrados en los plaguicidas comunes (Cabrera-Ruíz, 2022). Otra región que presenta este tipo de afectación es Punta Banda-San Quintín, en Baja California, dentro de la cual el Valle de San Quintín presenta deterioro ambiental debido a la aplicación intensiva de fertilizantes, que viajan a través de los escurrimientos superficiales de los campos agrícolas y llegan a los cuerpos de agua que son contaminados (Gobierno Municipal de Ensenada, s. f.). Lo anterior hace evidente la necesidad de promover

prácticas agrícolas sostenibles que minimicen el impacto al medio ambiente y a la salud humana.

Un bioestimulante puede definirse como cualquier sustancia de origen biológico o microorganismo que, al ser aplicado en los cultivos, ayuda positivamente en el crecimiento vegetal, fortalece la asimilación de nutrientes del suelo y optimiza la tolerancia al estrés abiótico y biótico (Salazar Rodríguez et al., 2021). Su uso en la agricultura representa una alternativa que busca reducir el impacto ambiental y promover la seguridad alimentaria (Castillo et al., 2022; Gómez-Salazar et al., 2022), siendo los más empleados los extractos de algas, los hongos benéficos, los aminoácidos y las bacterias, los cuales pueden promover el crecimiento vegetal, mejorar la absorción de nutrientes e incrementar la resistencia al estrés biótico y abiótico (Aguayo Zambrano & Cruz López, 2020). Específicamente, los bioestimulantes bacterianos han sido probados como inductores del crecimiento vegetal y el desarrollo de cultivos con alta calidad nutricional (Tudi et al., 2021).

Dentro de estos bioestimulantes bacterianos, el género *Bacillus* destaca por promover el crecimiento vegetal al mejorar la absorción de nutrientes (Ayala Garay et al., 2021) y producir fitohormonas como auxinas, giberelinas y citocinas (Timofeeva et al., 2024). Además, genera enzimas hidrolíticas como quitinasas, proteasas, celulasas y amilasas que protegen a la planta contra fitopatógenos (Etesami et al., 2023). Entre las diferentes especies de *Bacillus*, se encuentra *B. velezensis*, especie que fue aislada originalmente de la rizosfera del maíz y que ha despertado el interés científico por sus capacidades sobresalientes como bioestimulante y fungicida, que brinda protección natural a las plantas contra la presencia de plagas como *Bemisia tabaci* (Gennadius) y *Myzus persicae* (Sulzer), así como de fitopatógenos como, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum* y *Ralstonia solanacearum*; además, puede inducir el crecimiento vegetal de cultivos esenciales como maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), frijol ejotero (*P. vulgaris*) y soya (*Glycine max* L.) (Etesami et al., 2023; Tsotetsi et al., 2022). La aplicación de *B. velezensis* como bioestimulante en la agricultura mexicana se encuentra en desarrollo, al igual que en Argentina, Chile, Estados Unidos y países de Europa (Ortiz Enríquez et al., 2022). Derivado del potencial previamente reportado, la presente revisión busca compilar el estado del arte sobre el uso de *Bacillus* como bioestimulantes, específicamente *B.*

velezensis, en su aspecto de estimulante del crecimiento y la resistencia de los cultivos, con la finalidad de ofrecer una fuente de consulta formal para los interesados en el desarrollo de métodos innovadores para los sistemas agrícolas sostenibles.

Impacto ambiental de los fertilizantes y plaguicidas convencionales

El empleo de fertilizantes y plaguicidas químicos es común en la agricultura, y se aplican principalmente para aumentar la productividad agrícola y satisfacer las necesidades alimenticias de la población. Sin embargo, la adición de estos químicos en las superficies agrícolas ha ocasionado la contaminación del aire, suelo y agua, lo cual ha generado un riesgo para los ecosistemas y la salud humana (Lombo Celis & Mancipe Herrera, 2021)

(Figura 1). El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados degrada la fertilidad del suelo y lo acidifica, lo cual reduce su capacidad para sustentar la vida vegetal (Guo et al., 2021; Bijay-Singh & Craswell, 2021). Además, estudios previos han reportado que la eficiencia en el aprovechamiento de los fertilizantes varía significativamente, del 8 % al 70 %, en función del tipo de cultivo, la dosis aplicada, el clima y el tipo de suelo; por ejemplo, para el caso del frijol, los fertilizantes que contienen fósforo (P) reportan eficiencias que varían del 8 % al 40 %, y una absorción del 60 % para el caso del potasio (K) (Ayala Garay et al., 2021). El exceso de nutrientes adicionados a través de los fertilizantes es arrastrado por las escorrentías a las fuentes de agua subterránea y superficial, lo que afecta la calidad de los recursos hídricos e impacta a las comunidades que carecen de acceso a agua potable (Gobierno Municipal de El Arenal, 2020).

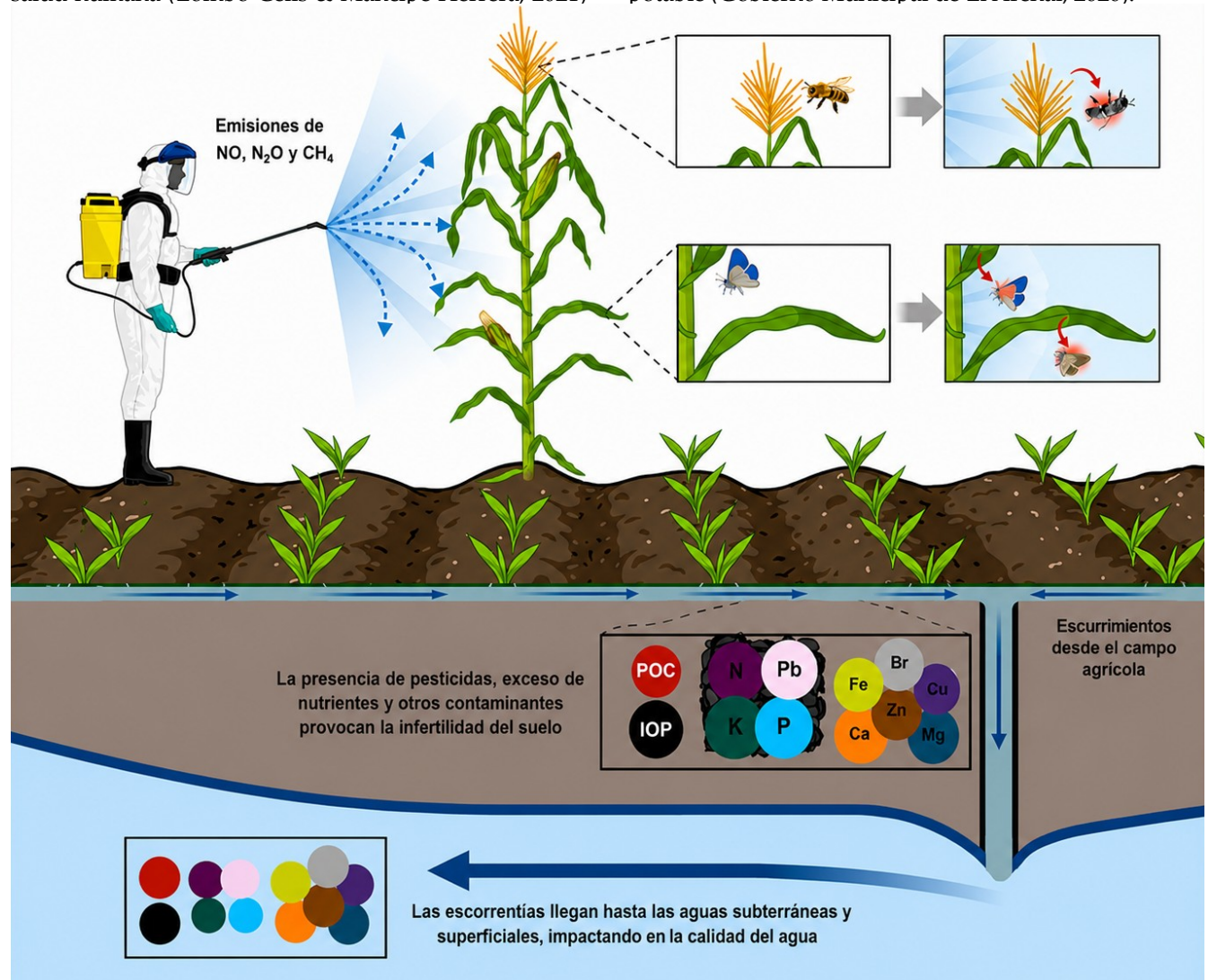


Figura 1. Representación del impacto negativo de fertilizantes y plaguicidas químicos en el ambiente.

Por otro lado, los plaguicidas químicos como funguicidas, bactericidas, acaricidas, insecticidas, nematocidas y herbicidas causan contaminación por el efecto de la residualidad en el ambiente, en parte debido a su inadecuada aplicación, pues frecuentemente no se emplean las dosis correctas en los cultivos, además de la falta de capacitación y equipo de protección específico para la utilización de estas sustancias químicas (Moreira & Da Silva, 2023); lo anterior promueve el riesgo de que estos ingresen al cuerpo humano por una exposición o ingesta indirecta (exposición o manipulación de la sustancia) o directa (al ingerir alimentos contaminados) (United Nations Environment Programme, 2023). Adicional a lo antes dicho, contaminan el suelo, el aire y el agua. El uso de plaguicidas químicos también afecta la biodiversidad de la región agrícola y las áreas naturales cercanas; al ser dispersados por el ambiente, no solo se impacta a las plagas que afectan a los cultivos, sino también a organismos benéficos en los ecosistemas, como especies polinizadoras (abejas, mariposas y polillas), los cuales desempeñan un rol importante en la reproducción de plantas (Bondareva & Fedorova, 2021).

Bioestimulantes microbianos como sustitutos de compuestos químicos

Los bioestimulantes microbianos se pueden clasificar en función de los microorganismos que los componen como las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés) y hongos, los cuales forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, incrementan su reproducción y optimizan sus mecanismos de defensa contra patógenos (Bahuguna et al., 2022). Las PGPR incluyen especies bacterianas que habitan en la rizosfera y que ejercen un efecto beneficioso sobre el crecimiento de los cultivos. Destacan algunos géneros como *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* y *Bacillus* (Moreno-Gavira, 2022). Algunos ejemplos de bacterias usadas como bioestimulantes se presentan en el Cuadro 1.

Género *Bacillus* como bioestimulante

Bacillus es un género bacteriano Gram-positivo ampliamente distribuido en el medio ambiente,

especialmente en el suelo, el agua y en materiales en descomposición; además, es un agente litosférico, ya que utiliza su capacidad para degradar sustratos derivados de la fauna, flora y compuestos orgánicos (De Souza et al., 2023). Los miembros de este género se caracterizan por su capacidad de formar esporas que le permiten sobrevivir en condiciones adversas, como temperaturas extremas, desecación, radiación y exposición a agentes químicos. Estas características hacen de *Bacillus* un género adaptable a diversos ecosistemas con condiciones extremas (Valencia-Marín et al., 2023). Además, estas bacterias poseen un metabolismo versátil, lo que les permite remover contaminantes orgánicos e inorgánicos mediante procesos de sorción o producción de enzimas extracelulares, como proteasas, amilasas y lipasas; su capacidad para generar estas enzimas las hace especialmente útiles en aplicaciones industriales y agrícolas (Rivas-Castillo et al., 2024; Valenzuela-Ruiz et al., 2022).

En relación con lo anterior, la interacción de *Bacillus* con su hábitat terrestre puede ocurrir de forma directa o indirecta (Figura 2). La interacción indirecta se manifiesta cuando las especies del género *Bacillus* producen sustancias antagonistas como la bacitracina, polimixina y lipopéptidos que actúan frente a patógenos. Asimismo, estas bacterias pueden inducir mecanismos de resistencia en las plantas, ya que promueven la producción de compuestos vegetales como el ácido jasmónico y el etileno, que mejoran la capacidad de defensa frente a enfermedades por factores abióticos y promueven la resistencia sistemática inducida (RSI) (Etesami et al., 2023).

Como resultado de estas propiedades, diversos miembros del género *Bacillus* se han evaluado como bioestimulantes y han sido utilizados para la elaboración de formulaciones comerciales destinadas al ámbito agrícola. En este ámbito, *Bacillus* ha destacado como bioestimulante bacteriano; por ejemplo, se ha reportado que *Bacillus* destina un 8.5 % de sus capacidades genéticas a la síntesis de compuestos antimicrobianos que inhiben el crecimiento de patógenos, lo que puede reducir la incidencia de enfermedades vegetales ocasionadas por agentes bióticos (Pimentel Silva, 2022). Estas formulaciones inducen la disponibilidad de nutrientes esenciales (N, P y K) y micronutrientes como hierro (Fe), zinc (Zn) y man-

Cuadro 1. Microorganismos usados como bioestimulantes.

Especie	Características	Resultados	Referencias
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Bacteria colonizadora de la rizosfera de las plantas, promueve el crecimiento vegetal y el biocontrol.	<ul style="list-style-type: none"> • Promueve el crecimiento vegetal bajo condiciones de estrés biótico o abiótico. • Mejora la productividad agrícola de cultivos como arroz, sandía, pepino y tabaco. • Produce metabolitos antifúngicos como surfactinas, iturinas y fengicinas. • Mejorar la disponibilidad de nutrientes del suelo mediante la mejora del suministro de nitrógeno, la solubilización de fosfato y potasio, y la producción de sideróforos. 	Luo et al. (2022), Ngalimat et al. (2021), Xue et al. (2021).
<i>Bacillus licheniformis</i>	Produce probióticos y estimula el crecimiento vegetal, actúa como biocontrolador de ciertos patógenos.	<ul style="list-style-type: none"> • Promueve el crecimiento vegetal de <i>Codonopsis pilosula</i>, valiosa planta medicinal con lento crecimiento. • Mejora la tasa de intercambio de gases foliares, incluyendo la tasa de fotosíntesis, la conductancia estomática y la tasa de transpiración en la etapa temprana de la plántula. • Incrementa la producción de la papa y hortalizas. 	Liu et al. (2022), Muras et al. (2021), Ni et al. (2024).
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Solubilizador de fosfatos y productora de diversos compuestos como las auxinas y citoquininas, útiles para la producción de cultivos. Capacidad de biocontrol de poblaciones de insectos y otros agentes de enfermedades.	<ul style="list-style-type: none"> • Capaz de mejorar la altura de plantas de soya, maíz y jitomate. • Tóxica para coleópteros y la araña roja de dos manchas <i>Tetranychus urticae</i> Koch. • Secreta toxinas VIP (proteína insecticida vegetativa) y SIP (proteína insecticida secretada) durante la fase vegetativa del crecimiento vegetal, creando cultivos de gran tamaño. 	Delfim & Dijoo (2021), Oliveira-Gutiérrez (2021), Sorokan et al. (2023).
<i>Bacillus subtilis</i>	Propiedades antifúngicas y promotor del crecimiento vegetal. Agente desnitrificante que reduce nitratos a formas de nitrógeno gaseoso en los agroecosistemas.	<ul style="list-style-type: none"> • Promueve la producción de AIA y el desarrollo radicular en hortalizas, frutales y cereales. • Induce la transferencia horizontal durante el compostaje con estiércol modificando la composición genética del microbiota. • Sintetiza una variedad de sustancias responsables de los mecanismos de defensa de la planta, como lipopéptidos y surfactina. 	Castillo Alonso (2020), Deng et al. (2023), Quintana-Menéndez (2022), Yang et al. (2021).
<i>Bacillus velezensis</i>	Propiedades antifúngicas y promotor del crecimiento vegetal.	<ul style="list-style-type: none"> • Inducción del crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas como auxinas y citoquininas en cultivos como maíz y frijol ejotero. • Induce la resistencia a <i>Ralstonia solanacearum</i> mediante la ruptura de la pared celular. • Reduce enfermedades foliares bacterianas en el pepino, como la mancha angular de la hoja causada por <i>Pseudomonas syringae</i> y marchitez de las cucurbitáceas causada por <i>Erwinia tracheiphila</i>. 	Balderas-Ruiz et al. (2020), González-León et al. (2024), Jang et al. (2023), Kondo et al. (2023).

ganeso (Mn), promueven la resistencia sistémica en las plantas, además de degradar la materia orgánica a partir de la producción de enzimas extracelulares como quitinasas y glucanasas (Corrales Ramírez et al., 2017; Mohsin et al., 2021), que descomponen compuestos como celulosa, quitina y proteínas, liberando nutrientes esenciales como N, P y K (Sun et al., 2020). En la agricultura, se han utilizado cepas de *Bacillus* en la producción de bioestimulante como se muestra en el Cuadro 2.

Los bioestimulantes a base de cepas de *Bacillus* se han comenzado a utilizar en la agricultura como parte de prácticas agrícolas sostenibles, estos productos se han implementado en cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, con resultados favorables (Poveda & González-Andrés, 2021). En garbanzo (*Cicer arietinum* L.), se reportó un incremento del 37.5 % en la longitud del tallo y del 42.6 % en raíces (Hakim et al., 2021). Efectos similares se han registrado en arroz, con un aumento de 27 % en la longitud de tallo, raíces y biomasa (83-91 %) en com-

paración al control (Devi et al., 2023). Además, en soya la aplicación de *Bacillus* incrementó la formación de nodos de fijación de nitrógeno de 29.5 % a 75.8 %, así como como el peso fresco de 173.8 mg/planta a 355.4 mg/planta (Qiu et al., 2025). Sin embargo, su adopción enfrenta limitaciones significativas como la falta de regulaciones específicas y la percepción negativa de agricultores y consumidores. Al ser una práctica relativamente nueva, persisten prejuicios y dudas sobre su seguridad en la salud humana, además que es necesario comprender el manejo adecuado de estas formulaciones para optimizar su aplicación (Ploll et al., 2022). Actualmente, las investigaciones sobre los bioestimulantes bacterianos de cepas de *Bacillus* buscan mejorar la calidad de los productos disponibles y su posicionamiento como una solución integral en la transición hacia una agricultura sostenible.

Mecanismos directos

Inducción de los niveles de fitohormonas

- Citocinas
- Ácidos orgánicos
- Etileno
- Vitaminas
- Enzimas

Producción de reguladores del crecimiento

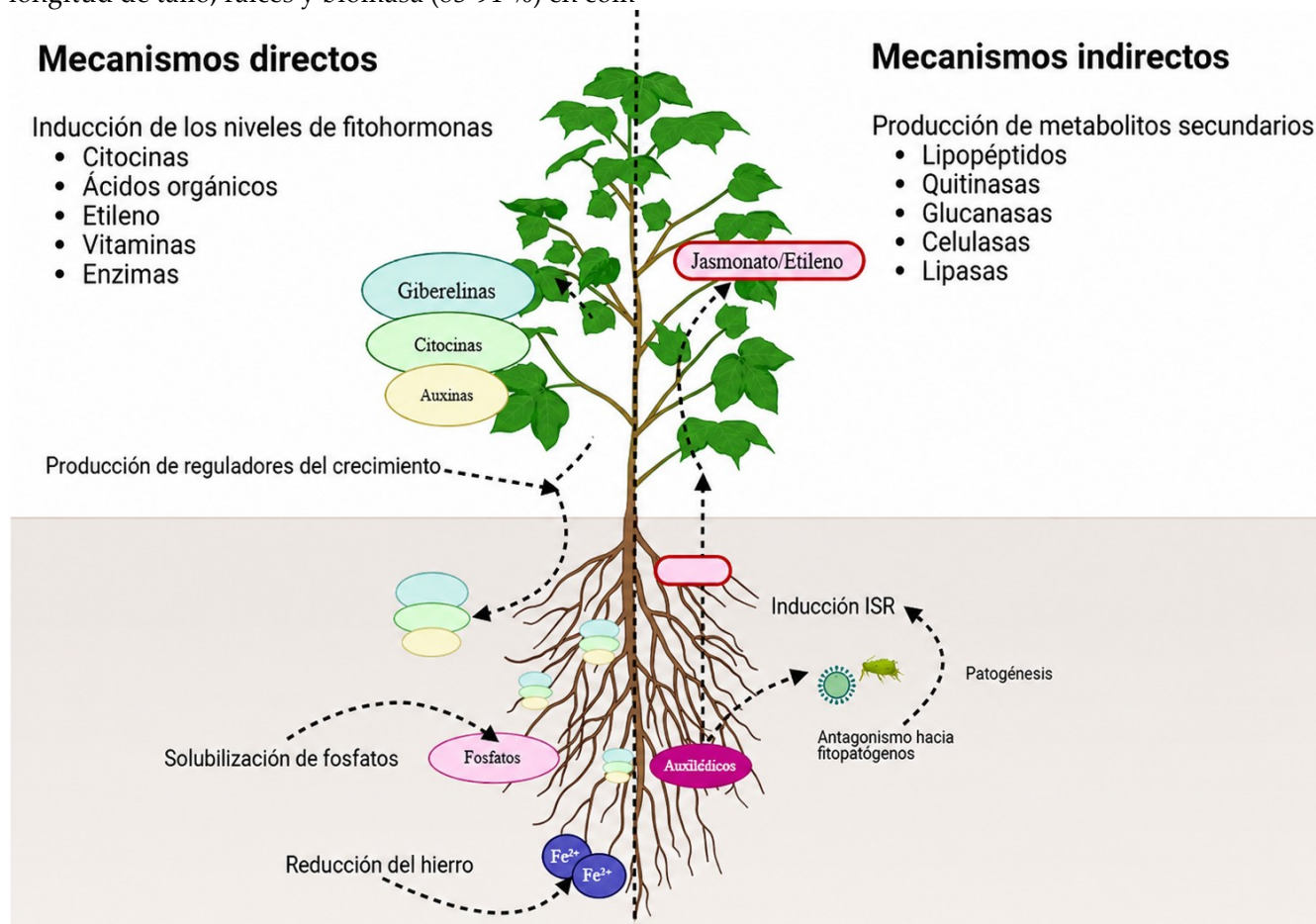


Figura 2. Mecanismos directos e indirectos involucrados en la estimulación del crecimiento vegetal por rizobacterias.

Cuadro 2. Bioestimulantes comerciales a base de cepas de *Bacillus*.

Producto comercial	Composición	Descripción	Referencia
Badixi®	<i>B. amyloliquefaciens</i> MBI 600	Fungicida biológico que coloniza la raíz de la planta ya que contiene metabolitos que destruyen la pared celular de los patógenos, de amplio espectro multicultivo, es preventivo de una gran variedad de enfermedades foliares y del fruto, así como de patógenos del suelo como <i>Fusarium</i> .	Syngenta (2022).
Fusvicur®	<i>B. subtilis</i>	Biofertilizante soluble con una alta concentración de <i>Bacillus subtilis</i> y hongos endomicorrícicos que mejora el vigor de la planta contribuye al desarrollo del sistema radicular y los conductos vasculares, que favorecen la asimilación de nutrientes; se puede utilizar en la mayoría de las plantas hortícolas, frutales, cereales y ornamentales.	JISA (s. f.)
Radisei™	<i>B. subtilis</i> SEIB23	Utilizado para activar procesos biológicos en el suelo, desbloquear nutrientes esenciales y promover el desarrollo del sistema radicular, produce sideróforos que cambian la valencia de nutrientes que están en el suelo para que la planta pueda utilizarlos.	Cortés (2022).
Saferbacter WP®	<i>B. amyloliquefaciens</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. paralicheniformis</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. velezensis</i>	Biofertilizante que promueve el crecimiento vegetal contribuye a la ganancia de biomasa; además, permite reducir el uso de fertilizantes y mitigar el problema de deterioro y/o contaminación ambiental del suelo.	SÁFER Agrobiológicos S.A.S. (2020).
Serenade® ASO	<i>B. amyloliquefaciens</i> QST713, <i>B. velezensis</i> QST713	En formulación líquida de aplicación foliar para el control de enfermedades como cenicilla, antracnosis y sigatoka negra en frutales y ornamentales sin generar resistencia, inhibe el establecimiento de patógenos en la superficie de la planta y detiene el desarrollo del micelio por destrucción de la pared celular.	Bayer de México (s. f.), James et al. (2021).
TUREX® 50 WG	<i>B. thuringiensis</i> sp. <i>aizawai</i> GC-91	Insecticida biológico que se caracteriza por su amplio rango de acción larvicida, selectividad para organismos útiles y un perfil ecotoxicológico favorable, que sintetiza cristales proteicos compuestos de δ -endotoxinas (pro-toxinas) denominadas también toxinas Cry, que son las responsables de la acción insecticida.	Certis Belchim (2025).

***Bacillus velezensis* como bioestimulante bacteriano**

Dentro del género *Bacillus*, se encuentra *B. velezensis*, especie destacable por su capacidad para adaptarse a diversos entornos ambientales (suelos contaminados por actividades agrícolas, presencia de metales, sequía, cambio climático, etc.), y por su habilidad para producir una amplia variedad de metabolitos secundarios como compuestos antimicrobianos y volátiles. Estas propiedades le permiten desempeñar sus beneficios como bioestimulante, ya que promueve el crecimiento vegetal y proporciona una

barrera natural contra patógenos al competir por los nutrientes esenciales (Joly et al., 2021).

Bacillus velezensis suprime patógenos mediante la producción de una serie de compuestos bioactivos. Dichas sustancias incluyen antibióticos como los lipopéptidos cíclicos, entre ellos, surfactina, iturina y fengicina, que poseen propiedades antimicrobianas, específicamente fungicidas. Los policétidos, como la macrolactina, bacilomicina, bacilaeno, difficidina y micosubtilina, actúan como agentes protectores frente a patógenos bacterianos y fúngicos (Ramírez Martínez, 2023), y son utilizados para proteger cul-

tivos de alto valor como frijol, tomate, arroz y maíz. Los sideróforos, como la bacilibactina, facilitan la adquisición de Fe en entornos competitivos y la supresión de microorganismos fitopatógenos, mejorando la capacidad de *B. velezensis* para colonizar la rizosfera. Esto se debe a los tensoactivos, como la tensiofactina que posee propiedades que favorecen la movilidad bacteriana, y a compuestos como 2,3-butanodiol, 2-tridecanona y pirazinas, los cuales desempeñan un papel importante en la comunicación intermicrobiana y en la estimulación del crecimiento vegetal al facilitar la absorción de nutrientes y mejorar la resistencia al estrés biótico y abiótico (Fan et al., 2024; Zhong et al., 2024). Además, *B. velezensis* produce otros metabolitos secundarios como el AIA, una auxina que regula el alargamiento y desarrollo de las raíces laterales y pelos radiculares; así como citoquininas, como la zaetina, que regulan la interacción entre las raíces y los brotes, y las giberelinas, como el ácido giberélico, involucradas en la elongación celular, la germinación de las semillas y el crecimiento del tallo (Castillo Alonso, 2020; Gómez Guerrero, 2021; Moradi-Pour et al., 2021). También se ha demostrado que el uso de *B. velezensis* mejora la calidad nutrimental y nutracéutica de las plantas a través de la inducción de resistencias, como en plantas de albahaca dulce y plantas medicinales como *Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf. y *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC. (Jang et al., 2023).

En el Cuadro 3, se describen cepas específicas utilizadas, los compuestos que producen, los patógenos sobre los que actúan y los cultivos bioestimulados.

Dentro de las cepas de *B. velezensis* utilizadas con fines de bioestimulación, destacan las cepas 83 y QST713 por su implementación en productos comerciales. *Bacillus velezensis* 83 ha sido implementado en el biofungicida Fungifree AB®, desarrollado en México, que ha demostrado ser un producto eficaz para el control de varios hongos fitopatógenos (*F. oxysporum*, *R. solanacearum*) en diversos cultivos como aguacate, chile, jitomate, tomate verde, calabaza y chayote. Su modo de acción se basa en dos factores de antagonismo. El primero es a nivel celular, donde la bacteria compite contra los fitopatógenos por espacio y nutrientes en la rizosfera, limitando su capacidad de proliferación; durante este proceso se lleva a cabo la síntesis de metabolitos secundarios, como la surfactina, iturina y fengicina, los cuales actúan mediante

la antibiosis para inhibir la presencia de patógenos, activando rsi. El segundo mecanismo está relacionado con la acción directa contra fitopatógenos mediante la producción de lipopéptidos específicos como bacilomicina, micosubtilina y macrolactina, que evitan que los patógenos se desarrollen al dañar sus membranas celulares (Gómez Guerrero, 2021). *Bacillus velezensis* QST713 se implementó en el fungicida líquido Serenade® como agente para el biocontrol de enfermedades como cenicilla y antracnosis, favoreciendo el cultivo de maíz, jitomate, chile, papaya, naranja y mandarina, a través de la síntesis de surfactina, macrolactina, bacilaeno, bacilomicina, fengicina, difficidina, bacilisina, subtilina, similarericina y bacilibactina, que desempeñan actividades antimicrobianas implicadas en la antibiosis para aumentar la resistencia a estrés por factores bióticos, lo cual permite a las plantas disponer de una mayor cantidad de nutrientes provenientes del suelo y estimular, con ello, el crecimiento vegetal (Rabbee et al., 2023).

A pesar de sus beneficios, *B. velezensis* presenta diversas limitaciones y desafíos en su aplicación como bioestimulante en la agricultura. Entre las principales dificultades se encuentra el acceso limitado a bases de datos confiables en español, con información útil y actualizada sobre los beneficios que puede ofrecer como bioestimulante bacteriano, aunado al escepticismo de agricultores y consumidores respecto al uso de microorganismos como *B. velezensis* para aplicaciones agrícolas (Kapoore et al., 2021). Cabe mencionar que, en México, existe una inminente necesidad de promover el desarrollo de estudios de alto nivel hacia nuevas tecnologías agrícolas sostenibles (Fundar, s. f.). Aunado a ello, las regulaciones y normativas relacionadas con la agricultura y seguridad alimentaria influyen directamente en el mercado de los bioestimulantes, retrasando la aprobación e implementación de bioestimulantes en las prácticas agrícolas actuales (Castillo Alonso, 2020). Es así que la incorporación de bioestimulantes bacterianos a estas prácticas, como *B. velezensis*, puede representar un menor costo de operación a largo plazo frente a los agroquímicos tradicionales, tanto en su fabricación como en su adquisición, lo que puede mejorar la productividad agrícola y la disponibilidad de alimentos (Dame et al., 2021).

Cuadro 3. Descripción de las cepas de *B. velezensis* utilizadas como bioestimulantes.

Cepa de <i>B. velezensis</i>	Compuestos producidos	Patógenos inhibidos	Cultivos estimulados	Referencias
AK-0	Bacilaeno, bacillibactina, 2,3-butanodiol difficidina, fengicina, macrolactina, surfactina.	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Ralstonia solanacearum</i> .	Jitomate, manzana.	Das et al. (2024), Kim et al. (2021).
Bs006	Fengicinas, iturinas, surfactinas.	<i>Fusarium oxysporum</i> .	Baya dorada.	Izquierdo-García & Moreno-Velandia (2024), Moreno-Velandia et al. (2021).
BZR-517	Bacilaeno, bacilisina, bacilomicina bacillibactina, difficidina, fengicina, macrolactina tensiofactina.	<i>Fusarium culmorum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>Microdochium nivale</i> , <i>Pirenophora tritici-repentis</i> .	Trigo, maíz.	Asaturova et al. (2022), Garkovenko et al. (2020), Radchenko et al. (2020).
B25	Bacilomicina, fengicina, iturina.	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> .	Arroz, jitomate, maíz.	Joly et al. (2021).
B4-7	Fengicina, iturina.	<i>Fusarium oxysporum</i> .	Tabaco.	Meng et al. (2024).
CC09	2,3-butanediol iturina.	<i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Gaeumannomyces graminis var. tritici</i> .	Trigo.	Kang et al. (2018), Rabbee et al. (2023).
CH1	Bacilaeno, bacilibretina, bacilisina, difficidina, fengicina, macrolactina, surfactina.	<i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Erysiphe</i> spp., <i>Tilletia controversa</i> .	Arroz, cebada, jitomate, pimienta, trigo.	Cheng et al. (2024).
9D-6	Bacilomicina, iturina, lantipeptido, micosubtilina, surfactina.	<i>Alternaria solani</i> , <i>Gibberella pulicaris</i> , <i>G. zaeae</i> , <i>Monilinia fructicola</i> .	Cebolla, jitomate, maíz, papa, trigo.	Grady et al. (2019).
FJAT-46737	Fengicinas, iturinas, surfactinas.	<i>Escherichia coli</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Ralstonia solanacearum</i> .	Jitomate.	Chen et al. (2020), Rabbee et al. (2023).
FZB42	Ácido jasmónico, bacilomicina etileno, fengicinas, iturinas, surfactinas.	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>Phytophthora palmivora</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> .	Jitomate, lechuga, maíz, papa, soya, trigo.	Fan et al. (2024), Han et al. (2021).
GUMT319	Bacilicidina fengicina, surfactina, iturinas.	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> .	Uva.	Chen et al. (2022).
G341	Bacilomicina, benzotiazol, fenol, fengicina, pirazina, 2-tridecanona.	<i>Alternaria panax</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Phytophthora capsici</i> .	Cebolla, jitomate.	Lim et al. (2017).
HNA3	Ácido indolacético bacilomicinas, difficidina, fengicinas mycosubtilina, surfactinas.	<i>Bemisia tabaci</i> , <i>Fusarium graminearum</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. verticillioides</i> .	Jitomate, soya, tabaco, uva.	De Oliveira-Filho et al. (2021), Zaid et al. (2023).
HN-Q-8	Fengicina, surfactina.	<i>Alternaria solani</i> , <i>Phytophthora infestans</i> , <i>Streptomyces sarna</i> , <i>S. ipomoeae</i> , <i>S. turgidiscabies</i> .	Jitomate, papa.	Bai et al. (2023), Zhao et al. (2022).
K-9	Bacilaeno, bacillibactina, bacilomicina, fengicina, macrolactina, surfactina.	<i>Phytophthora infestans</i> .	Papa.	Ma et al. (2023).

Cuadro 3. Descripción de las cepas de *B. velezensis* utilizadas como bioestimulantes.

Cepa de <i>B. velezensis</i>	Compuestos producidos	Patógenos inhibidos	Cultivos estimulados	Referencias
LDO2	Bacilaeno, bacillibactina, butirosina, difficidina, fengicina, surfactina.	<i>Fusarium verticillioides</i> .	Cacahuate.	Chen et al. (2019).
LM2303	Fengicina, iturina, surfactina.	<i>Fusarium graminearum</i> .	Trigo.	Chen et al. (2018).
NWUMFkBS10.5	Ácido indol-acético, bacilisina, difficidina, fengicina, iturina, macrolactina, surfactina.	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> .	Maíz.	Adeniji & Babalola (2022), Adeniji et al. (2019).
PEA1	Fenilalanina, surfactina.	<i>Fusarium oxysporum</i> .	Jitomate, papa, pepino, tabaco.	Abdelkhalek et al. (2020), Rabbee & Baek (2020).
P2-1	Iturina, surfactina.	<i>Botryosphaeria dothidea</i> , <i>Magnaporthe oryzae</i> .	Manzana.	Yuan et al. (2022).
QST713	Bacilisina, bacillaeno, bacillibactina, bacilomicina, difficidina, fengicina, macrolactina, surfactina.	<i>Agaricus bisporus</i> , <i>Trichoderma aggressivum</i> .	Chile, jitomate, papaya, mandarina, maíz, naranja.	Pandin et al. (2019), Rabbee et al. (2023).
RB.IBE29	Bacilomicina difficidina, fengicina, macrolactina.	<i>Botrytis cinérea</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> .	Jitomate, maíz.	Tran et al. (2023).
Sh-1471	Ácido indol-acético, butirosina, fengicina, macrolactina, surfactina.	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Phoma mateuiciicola</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> .	Chile, jitomate, pepino.	Shen et al. (2023).
SQR9	Ácido indol-acético, bacitracina, fengicinas, iturinas, surfactinas.	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> .	Jitomate, manzana, pepino.	Huang et al. (2022) Xiong et al. (2020).
WRN031	Citoquininas, fengicina, gibberelinas.	<i>Ralstonia solanacearum</i> .	Arroz, maíz.	Luo et al. (2024), Wang et al. (2020).
XT1	Butirosina, proteasas surfactina.	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Monilinia fructicola</i>	Calabaza, jitomate, pepino, pimiento.	Toral et al. (2020), Torres et al. (2020).
Y6 y F7	Fengicina, iturina, surfactina.	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Ralstonia solanacearum</i>	Jitomate, maíz, plátano, trigo.	Cao et al. (2018), Rabbee et al. (2023).
zk1	Fengicina, iturina, surfactina.	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Botrytis cinérea</i> .	Jitomate, uva.	Chen et al. (2021), Rabbee et al. (2023).
83	Bacilomicina, fengicina.	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Ralstonia solanacearum</i> .	Aguacate, calabaza, chile, chayote, jitomate, tomate verde.	Balderas-Ruíz et al. (2020).
160	Bacilomicina, fengicina.	Aphididae, Aleyrodidae.	Frijol ejotero.	González-León et al. (2024), Pérez-García & Vega-Carrillo (2018).

CONCLUSIONES

El uso de bioestimulantes bacterianos puede representar una alternativa sostenible para satisfacer las necesidades alimenticias que demanda la creciente población mundial, al estimular el crecimiento vegetal y aumentar la resistencia a estresores vegetales, tanto bióticos como abióticos. Los miembros del género *Bacillus* destacan por sus propiedades de inducción del crecimiento y la protección de cultivos de interés agrícola. *Bacillus velezensis* presenta este doble beneficio a través de la producción de metabolitos secundarios específicos, y es, además, capaz de adaptarse a entornos ambientales adversos. Aunque en los últimos años han avanzado las investigaciones referentes a la generación de formulaciones basadas en el uso de bioestimulantes bacterianos —por ejemplo, de *B. velezensis* como agente fungicida—, estas aplicaciones tecnológicas aún son limitadas en cuanto a madurez tecnológica y efectividad. Por ello, es necesario fortalecer la generación del conocimiento y las prácticas agrícolas que permitan la implementación de sistemas sostenibles.

LITERATURA CITADA

- Abdelkhalek, A., Behiry, S. I., & Al-Askar, A. A. (2020). *Bacillus velezensis* PEA1 inhibits *Fusarium oxysporum* growth and induces systemic resistance to cucumber mosaic virus. *Agronomy*, 10(9), 1312. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091312>
- Adeniji, A. A., & Babalola, O. O. (2022). Evaluation of *Pseudomonas fulva* PS9.1 and *Bacillus velezensis* NWUMFkBS10.5 as candidate plant growth promoters during maize-fusarium interaction. *Plants*, 11(3), 324. <https://doi.org/10.3390/plants11030324>
- Adeniji, A. A., Aremu, O. S., & Babalola, O. O. (2019). Selecting lipopeptide-producing, *Fusarium*-suppressing *Bacillus* spp.: Metabolomic and genomic probing of *Bacillus velezensis* NWUMFkBS10.5. *MicrobiologyOpen*, 8(6), e00742. <https://doi.org/10.1002/mbo3.742>
- Aguayo Zambrano, A. J., & Cruz López, G. P. (2020). *Efecto del silicio y bioestimulantes sobre el rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) amarillo duro* [Tesis de licenciatura inédita]. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.
- Asaturova, A. M., Zhevnova, N. A., Tomashevich, N. S., Sidorova, T. M., Homyak, A. I., Dubyaga, V. M., Nadykta, V. D., Zharikov, A. P., Kostyukevich, Y. I., & Tupertsev, B. S. (2022). Evaluation of *Bacillus velezensis* biocontrol potential against *Fusarium* fungi on winter wheat. *Agronomy*, 12(8), 1956 <https://doi.org/10.3390/agronomy12081956>
- Ayala Garay, A. V., Acosta Gallegos, J. A., & Reyes-Muro, L. (2021). *El cultivo del frijol. Presente y futuro para México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Bahuguna, A., Sharma, S., Rai, A., Bhardwaj, R., Sahoo, S. K., Pandey, A., & Yadav, B. (2022). Advance technology for biostimulants in agriculture. En H. Bahadur Singh & A. Vaishnav (Eds.), *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Sustainable Agriculture: Revisiting Green Chemicals* (pp. 393-412). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85581-5.00010-0>
- Bai, X., Li, Q., Zhang, D., Zhao, Y., Zhao, D., Pan, Y., Wang, J., Yang, Z., & Zhu, J. (2023). *Bacillus velezensis* strain HN-Q-8 induced resistance to *Alternaria solani* and stimulated growth of potato plant. *Biology*, 12(6), 856. <https://doi.org/10.3390/biology12060856>
- Balderas-Ruiz, K. A., Bustos, P., Santamaria, R. I., González, V., Cristiano-Fajardo, S. A., Barrera-Ortiz, S., Mezo-Villalobos, M., Aranda-Ocampo, S., Guevara-García, Á. A., Galindo, E., & Serrano-Carreón, L. (2020). *Bacillus velezensis* 83 a bacterial strain from mango phyllosphere, useful for biological control and plant growth promotion. *AMB Express*, 10, 163. <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01101-8>
- Bayer de México. (S. f.). *Fungicidas. Serenade® ASO* [Ficha técnica]. https://www.micultivo.bayer.com.mx/es-mx/productos/product-details.html/fungicidas/serenade_aso.html
- Bijay-Singh, & Craswell, E. (2021). Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *Discover Applied Sciences*, 3, 518. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>
- Bondareva, L., & Fedorova, N. (2021). Pesticides: Behavior in agricultural soil and plants. *Molecules*, 26(17), 5370. <https://doi.org/10.3390/molecules26175370>
- Cabrera-Ruiz, Rosina. (2022, 1 de abril). *Uso histórico y reciente de plaguicidas en la agricultura del Alto Mezquital de Hidalgo*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. <https://www.ciad.mx/uso-historico-y-reciente-de->

- plaguicidas-en-la-agricultura-del-alto-mezquitil-de-hidalgo/
- Cao, Y., Pi, H., Chandrangu, P., Li, Y., Wang, Y., Zhou, H., Xiong, H., Helmann, J. D., & Cai, Y. (2018). Antagonism of two plant-growth promoting *Bacillus velezensis* isolates against *Ralstonia solanacearum* and *Fusarium oxysporum*. *Scientific Reports*, 8, 4360. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22782-z>
- Castillo, B., Ruiz, J. O., Manrique, M. A. L., & Pozo, C. (2022). Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú). *Revista Espacios*, 41(10), 11.
- Castillo Alonso, F. (2020). *Análisis de modelos metabólicos a escala genómica de Bacillus subtilis para la producción de ácido 3-indolacético* [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Certis Belchim. (2025, 27 de octubre). TUREX 50WG [Ficha técnica]. <https://certisbelchim.es/pdf/Tech/Ficha%20t%C3%A9cnica%20y%20uso%20seguro%20TUREX%2050WG.pdf>
- Chávez-Díaz, F. I., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., & De Los Santos Villalobos, S. (2020). Considerations on the use of biofertilizers as a sustainable agro-biotechnological alternative to food security in Mexico. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1423-1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>
- Chen, L., Heng, J., Qin, S., & Bian, K. (2018). A comprehensive understanding of the biocontrol potential of *Bacillus velezensis* LM2303 against *Fusarium* head blight. *PLoS ONE*, 13(6), e0198560. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198560>
- Chen, L., Shi, H., Heng, J., Wang, D., & Bian, K. (2019). Antimicrobial, plant growth-promoting and genomic properties of the peanut endophyte *Bacillus velezensis* LDO2. *Microbiological Research*, 218, 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.10.002>
- Chen, M., Wang, J., Liu, B., Zhu, Y., Xiao, R., Yang, W., Ge, C., & Chen, Z. (2020). Biocontrol of tomato bacterial wilt by the new strain *Bacillus velezensis* FJAT-46737 and its lipopeptides. *BMC Microbiology*, 20, 160. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-01851-2>
- Chen, S. x., Liu, Y., Zeng, Y. y., & Yu, Q. (2021). 贝莱斯芽孢杆菌zk1对鹰嘴桃果肉组织的影响及酶学特性 [Effects of *Bacillus velezensis* zk1 on fleshy tissue of olecranon peach and its enzymatic properties]. *Food and Machinery*, 37(7), 14-19. <https://doi.org/10.13652/j.issn.1003-5788.2021.07.003>
- Chen, X., Yang, F., Bai, C., Shi, Q., Hu, S., Tang, X., Peng, L., & Ding, H. (2022). *Bacillus velezensis* strain GUMT319 reshapes soil microbiome biodiversity and increases grape yields. *Biology*, 11(10), 1486. <https://doi.org/10.3390/biology11101486>
- Cheng, C., Su, S., Bo, S., Zheng, C., Liu, C., Zhang, L., Xu, S., Wang, X., Gao, P., Fan, K., He, Y., Zhou, D., Gong, Y., Zhong, G., & Liu, Z. (2024). A *Bacillus velezensis* strain isolated from oats with disease-preventing and growth-promoting properties. *Scientific Reports*, 14(1), 12950. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63756-8>
- Corrales Ramírez, L. C., Caycedo Lozano, L., Gómez Méndez, M. M., & Ramos Rojas, S. J., & Rodríguez Torres, J. N. (2017). *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*, 15(27), 45-65.
- Cortés, B. (2022). Innovación verde para una mejora sostenible del suelo. *Revista Agropecuaria y Ganadera*, 1062, 12-15.
- Dame, Z. T., Rahman, M., & Islam, T. (2021). Bacilli as sources of agrobiotechnology: recent advances and future directions. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 14(2), 246-271. <https://doi.org/10.1080/17518253.2021.1905080>
- Das, V. A., Gautam, B., Yadav, P. K., Varadwaj, P. K., Wadhwa, G., & Singh, S. (2024). Computational approach to identify novel genomic features conferring high fitness in *Bacillus atrophaeus* CNY01 and *Bacillus velezensis* AK-0 associated with plant growth promotion (PGP) in apple. *BMC Plant Biology*, 24, 1127. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05795-x>
- De Oliveira-Filho, J. G., Silva, G. Da C., Cipriano, L., Gomes, M., & Egea, M. B. (2021). Control of postharvest fungal diseases in fruits using external application of RNAi. *Journal of Food Science*, 86(8), 3341-3348. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15816>
- De Souza, A. E. S., Filla, V. A., Da Silvia, J. P. M., Barbosa Júnior, M. R., De Oliveria-Paiva, C. A., Coelho, A. P., & Lemos, L. B. (2023). Application of *Bacillus* spp. phosphate-solubilizing bacteria improves common bean production compared to conventional fertilization. *Plants*, 12(22), 3827. <https://doi.org/10.3390/plants12223827>
- Delfim, J., & Dijoo, K. Z. (2021). *Bacillus thuringiensis* as a biofertilizer and plant growth promoter. En G. H. Dar, R. A. Bhat, M. A. Mehmood & K. R. Hakeem (Eds.), *Microbiota*

- and Biofertilizers: Vol. 2 (pp. 251-265). Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_12
- Deng, L., Wang, C., Zhang, X., Yang, W., Tang, H., Chen, X., Du, S., & Chen, X. (2023). Cell-to-cell natural transformation in *Bacillus subtilis* facilitates large scale of genomic exchanges and the transfer of long continuous DNA regions. *Nucleic Acids Research*, 51(8), 3820-3835. <https://doi.org/10.1093/nar/gkad138>
- Devi, S., Sharma, S., Tiwari, A., Bhatt, A. K., Singh, N. K., Singh, M., Kaushalendra, & Kumar, A. (2023). Screening for multifarious plant growth promoting and biocontrol attributes in *Bacillus* strains isolated from indo gangetic soil for enhancing growth of rice crops. *Microorganisms*, 11(4), 1085. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041085>
- Etesami, H., Jeong, B. R., & Glick, B. R. (2023). Potential use of *Bacillus* spp. as an effective biostimulant against abiotic stresses in crops-A review. *Current Research in Biotechnology*, 5, 100128. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2023.100128>
- Fan, Y., Wang, H., Zhang, Z., Li, Y., Zhao, Z., & Ni, X. (2024). Mechanisms involved in plant growth promotion by *Enterobacter cloacae* DJ under salinity-alkalinity stress. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 11, 12. <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00537-5>
- Fundar. (S. f.). *Todavía no es suficiente: Presupuesto a ciencia y tecnología en el proyecto de presupuesto de egresos 2022*. Centro de Análisis e Investigaciones. <https://fundar.org.mx/pef2022/todavia-no-es-suficiente-presupuesto-ciencia-y-tecnologia-en-el-proyecto-de-presupuesto-de-egresos-2022/>
- García-Pinto, L. C. (2021). *Interacciones tóxicas entre contaminantes ambientales y el hombre*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://doi.org/10.22490/notas.4286>
- Garkovenko, A. V., Vasilyev, I. Y., Ilnitskaya, E. V., Radchenko, V. V., Asaturova, A. M., Kozitsyn, A. E., Tomashevich, N. S., Milovanov, A. V., Grigoreva, T. V., & Shternshis, M. V. (2020). Draft genome sequence of *Bacillus velezensis* BZR 336g, a plant growth-promoting antifungal biocontrol agent isolated from winter wheat. *Microbiology Resource Announcements*, 9(30). <https://doi.org/10.1128/mra.00450-20>
- Gobierno Municipal de El Arenal. (2020). *Atlas de peligros y riesgos del municipio de El Arenal, Hidalgo*. Elementum. https://rmgir.proyectomesoamerica.org/AtlasMunPDF/2020/13009_EL_ARENAL_2020.pdf
- Gobierno Municipal de Ensenada. (S. f.). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población. Vicente Guerrero* [Versión abreviada]. <http://www.sidurt.gob.mx/doctos/SAN%20QUINTIN/02-PDUCP%20VG/DIF-PDUCPVG.pdf>
- Gómez Guerrero, C. I. (2021). *Evaluación de la eficacia biológica de Bacillus velezensis 83 contra Botrytis cinerea en hojas y frutos de tomate* [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Gómez-Salazar, A., López-Salvador, G., Jerez-Mompie, E., González-Cañizares, P., & Guerrero-Domínguez, L. (2022). Influencia de dos bioestimulantes en el crecimiento y desarrollo de plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 43(2).
- González-León, Y., De la Vega-Camarillo, E., Ramírez-Vargas, R., Anducho-Reyes, M. A., & Mercado-Flores, Y. (2024). Whole genome analysis of *Bacillus velezensis* 160, biological control agent of corn head smut. *Microbiology Spectrum*, 12(4), e03264-23. <https://doi.org/10.1128/spectrum.03264-23>
- Grady, E. N., MacDonald, J., Ho, M. T., Weselowski, B., McDowell, T., Solomon, O., Renaud, J., & Yuan, Z.-C. (2019). Characterization and complete genome analysis of the surfactin-producing, plant-protecting bacterium *Bacillus velezensis* 9D-6. *BMC Microbiology*, 19, 5. <https://doi.org/10.1186/s12866-018-1380-8>
- Guo, L., Li, H., Cao, X., Cao, A., & Huang, M. (2021). Effect of agricultural subsidies on the use of chemical fertilizer. *Journal of Environmental Management*, 299, 113621. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113621>
- Hakim, S., Naqqash, T., Nawaz, M. S., Laraib, I., Siddique, M. J., Zia, R., Mirza, M. S., & Imran, A. (2021). Rhizosphere engineering with plant growth-promoting microorganisms for agriculture and ecological sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 617157. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.617157>
- Han, X., Shen, D., Xiong, Q., Bao, B., Zhang, W., Dai, T., Zhao, Y., Borriss, R., & Fan, B. (2021). The plant-beneficial rhizobacterium *Bacillus velezensis* FZB42 controls the soybean pathogen *Phytophthora sojae* due to bacilysin production. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(23), e01601-21. <https://doi.org/10.1128/AEM.01601-21>
- Huang, R., Feng, H., Xu, Z., Zhang, N., Liu, Y., Shao, J., Shen, Q., & Zhang, R. (2022). Identification of adhesins in plant beneficial rhizobacteria *Bacillus velezensis* SQR9 and their effect on root colonization. *Molecular Plant-*

- Microbe Interactions*, 35(1), 64-72. <https://doi.org/10.1094/MPMI-09-21-0234-R>
- Izquierdo-García, L. F., & Moreno-Velandia, C. A. (2024). Modes of action of *Trichoderma virens* G1006 and *Bacillus velezensis* Bs006: decoding the arsenal of the microbial consortium. *European Journal of Plant Pathology*, 170, 39-65. <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02881-6>
- James, G., Das, B. C., Jose, S., & Rejish Kumar, V. J. (2021). *Bacillus* as an aquaculture friendly microbe. *Aquaculture International*, 29, 323-353. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00630-0>
- Jang, S., Choi, S.-K., Zhang, H., Zhang, S., Ryu, C.-M., & Kloepper, J. W. (2023). History of a model plant growth-promoting rhizobacterium, *Bacillus velezensis* GB03: from isolation to commercialization. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1279896. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1279896>
- JISA. (S. f.). *Fusvicur*®. <https://www.fertilizantesyabonos.com/fusvicur/>
- Joly, P., Calteau, A., Wauquier, A., Dumas, R., Beuvin, M., Vallenet, D., Crovadore, J., Cochard, B., Lefort, F., & Berthon, J.-Y. (2021). From strain characterization to field authorization: highlights on *Bacillus velezensis* strain B25 beneficial properties for plants and its activities on phytopathogenic fungi. *Microorganisms*, 9(9), 1924. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091924>
- Kang, X., Zhang, W., Cai, X., Zhu, T., Xue, Y., & Liu, C. (2018). *Bacillus velezensis* CC09: A potential 'Vaccine' for controlling wheat diseases. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31(6), 623-632. <https://doi.org/10.1094/MPMI-09-17-0227-R>
- Kapooore, V. R., Wood, E. E., & Llewellyn, C. A. (2021). Algae biostimulants: A critical look at microalgal biostimulants for sustainable agricultural practices. *Biotechnology Advances*, 49, 107754. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107754>
- Kim, Y. S., Lee, Y., Cheon, W., Park, J., Kwon, H.-T., Balaraju, K., Kim, J., Yoon, Y. J., & Jeon, Y. (2021). Characterization of *Bacillus velezensis* AK-0 as a biocontrol agent against apple bitter rot caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Scientific Reports*, 11, 626. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80231-2>
- Kondo, T., Sibponkrung, S., Hironao, K.-y., Tittabutr, P., Boonkerd, N., Ishikawa, S., Ashida, H., Teaumroong, N., & Yoshida, K.-i. (2023). *Bacillus velezensis* S141, a soybean growth-promoting bacterium, hydrolyzes isoflavone glycosides into aglycones. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 69(3), 175-183. <https://doi.org/10.2323/jgam.2023.02.002>
- Lim, S. M., Yoon, M.-Y., Choi, G. J., Choi, Y. H., Jang, K. S., Shin, T. S., Park, H. W., Yu, N. H., Kim, Y. H., & Kim, J.-C. (2017). Diffusible and volatile antifungal compounds produced by an antagonistic *Bacillus velezensis* G341 against various phytopathogenic fungi. *Plant Pathology Journal*, 33(5), 488-498. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.04.2017.0073>
- Liu, J., Zhang, J., Zhu, M., Wan, H., Chen, Z., Yang, N., Duan, J., Wei, Z., Hu, T., & Liu, F. (2022). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) strain *Bacillus licheniformis* with biochar amendment on potato growth and water use efficiency under reduced irrigation regime. *Agronomy*, 12(5), 1031. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051031>
- Lombo Celis, J. L., & Mancipe Herrera, D. S. (2021). *Análisis de los impactos ambientales ocasionados por el uso de los fertilizantes nitrogenados, en el cultivo de papa en el municipio de Zipaquirá* [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Luo, L., Zhao, C., Wang, E., Raza, A., & Yin, C. (2022). *Bacillus amyloliquefaciens* as an excellent agent for biofertilizer and biocontrol in agriculture: An overview for its mechanisms. *Microbiological Research*, 259, 127016. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127016>
- Luo, X., Bai, L., Huang, J., Peng, L., Hua, J., & Luo, S. (2024). Genome-wide association studies reveal that the abietane diterpene isopimaric acid promotes rice growth through inhibition of defense pathways. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(17), 9161. <https://doi.org/10.3390/ijms25179161>
- Ma, S., Wang, Y., & Teng, W. (2023). *Bacillus velezensis* K-9 as a potential biocontrol agent for managing potato scab. *Plant Disease*, 107(12), 3943-3951. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-22-2829-RE>
- Meng, Y., Munir, M. T., Wu, X., Huang, Y., Yu, W., & Li, B. (2024). Phosphorus recovery and tetracycline mitigation: The role of *Bacillus cereus* LB-9 in struvite biomineralization from wastewater. *Chemosphere*, 363, 142823. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142823>
- Mohsin, M. Z., Omer, R., Huang, J., Mohsin, A., Guo, M., Qian, J., & Zhuang, Y. (2021). Advances in engineered *Bacillus subtilis* biofilms and spores, and their applications in bioremediation, biocatalysis, and biomaterials. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 6(3), 180-191. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2021.07.002>

- Moradi-Pour, M., Saberi-Riseh, R., Esmailzadeh-Salestani, K., Mohammadinejad, R., & Loit, E. (2021). Evaluation of *Bacillus velezensis* for biological control of *Rhizoctonia solani* in bean by alginate/gelatin encapsulation supplemented with nanoparticles. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31(10), 1373-1382. <https://doi.org/https://doi.org/10.4014/jmb.2105.05001>
- Moreira, A., & Da Silva, M. V. (2023). Pesticide application as a risk factor/behaviour for workers' health: A systematic review. *Environments*, 10(9), 160. <https://doi.org/10.3390/environments10090160>
- Moreno-Gavira, A. (2022). *Evaluación de Paecilomyces variotii Pae10773 como agente de control biológico (ACB) y hongos promotor del crecimiento de plantas (HPCP)* [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad de Almería.
- Moreno-Velandia, C. A., Ongena, M., & Cotes, A. M. (2021). Effects of fengycins and iturins on *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* and root colonization by *Bacillus velezensis* Bs006 protect golden berry against vascular wilt. *Phytopathology*, 111(12), 2227-2237. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-21-0001-R>
- Muras, A., Romero, M., Mayer, C., & Otero, A. (2021). Biotechnological applications of *Bacillus licheniformis*. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(4), 609-627. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873239>
- Ngalimat, M. S., Yahaya, R. S. R., Baharudin, M. M. A.-A., Yaminudin, S. M., Karim, M., Ahmad, S. A., & Sabri, S. (2021). A review on the biotechnological applications of the operational group *Bacillus amyloliquefaciens*. *Microorganisms*, 9(3), 614. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030614>
- Ni, S., Wu, Y., Zhu, N., Leng, F., & Wang, Y. (2024). *Bacillus licheniformis* YB06: A rhizosphere-genome-wide analysis and plant growth-promoting analysis of a plant growth-promoting rhizobacterium isolated from *Codonopsis pilosula*. *Microorganisms*, 12(9), 1861. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12091861>
- Oliveira-Gutiérrez, H. (2021). *Effects of Bacillus thuringiensis RZ2MS9 on soybean (Glycine max) considering volatile organic compounds, plant development in the field, and soil microbiome diversity* [Tesis de licenciatura inédita]. Universidade de São Paulo.
- Ortiz Enríquez, J. E., Peñuelas-Rubio, O., Argente-Martínez, L., Félix Valencia, P., Padilla Valenzuela, I., & Marroquín Morales, J. Á. (2022). La aplicación de bioestimulantes incrementa los componentes del rendimiento de frijol Pinto Bill Z en el sur de Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(2), 371-376. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2846>
- Pandin, C., Darsonval, M., Mayeur, C., Le Coq DAymerich, S., & Briandet, R. (2019). Biofilm formation and synthesis of antimicrobial compounds by the biocontrol agent *Bacillus velezensis* QST713 in an *Agaricus bisporus* compost micromodel. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(12), e00327-19. <https://doi.org/10.1128/AEM.00327-19>
- Pérez-García, B. D., & Vega-Carrillo, A. (2018). *Evaluación de la inducción de crecimiento y la resistencia de Phaseolus vulgaris var. Strike por la adición de bioestimulantes bacterianos* [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad Tecnológica de la Zona Metropolitana del Valle de México.
- Pimentel Silva, E. (2022). *Actividad antifúngica mediada por lipopéptidos y policétidos producidos por cepas del género Bacillus* [Tesis de licenciatura inédita]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Plohl, U., Arato, M., Börner, J., & Hartmann, M. (2022). Sustainable innovations: A qualitative study on farmers' perceptions driving the diffusion of beneficial soil microbes in Germany and the UK. *Sustainability*, 14(10), 5749. <https://doi.org/10.3390/su14105749>
- Poveda, J., & González-Andrés, F. (2021). *Bacillus* as a source of phytohormones for use in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105, 8629-8645. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11492-8>
- Qiu, J., Meng, X. O., Li, J., Zhang, T., Qin, S., Li, Y., & Tan, H. (2025). *Bacillus megaterium* GXU087 secretes indole-3-lactic acid to promote soybean growth and nodulation. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1560346. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1560346>
- Quintana-Menéndez, L. A. (2022). *Evaluación de la producción de ácido indolacético en Bacillus subtilis utilizando modelos metabólicos a escala genómica y algoritmos de optimización multiobjetivos* [Tesis de maestría en ciencias]. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Rabbee, M. F., & Baek, H.-K. (2020). Antimicrobial activities of lipopeptides and polyketides of *Bacillus velezensis* for agricultural applications. *Molecules*, 25(21), 4973. <https://doi.org/10.3390/molecules25214973>
- Rabbee, M. F., Hwang, B.-S., & Baek, K.-H. (2023). *Bacillus velezensis*: A beneficial biocontrol agent or facultative phytopathogen for sustainable agriculture. *Agronomy*, 13(3), 840. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030840>
- Radchenko, V. V., Vasilyev, I. Y., Ilnitskaya, E. V., Garkovenko, A. V., Asaturova, A. M., Tomashevich, N.

- S., Kozitsyn, A. E., Milovanov, A. V., Grigoreva, T. V., & Shternshis, M. V. (2020). Draft genome sequence of the plant growth-promoting bacterium *Bacillus subtilis* Strain BZR 517, isolated from winter wheat, now reclassified as *Bacillus velezensis* strain BZR 517. *Microbiology Resource Announcements*, 9(40), e00853-20. <https://doi.org/10.1128/mra.00853-20>
- Ramírez-Espinoza, L. J., Méndez Quiroz, A., & Ceballos López, Mario Samuel. (2020). *Perfil agroalimentario en Oaxaca: economía agropecuaria, seguridad alimentaria y alternativa ecológica*. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública; LXV Legislatura del H. Congreso del Estado de Oaxaca
- Ramírez Martínez, J. (2023). *Caracterización y evaluación de lipopéptidos y compuestos volátiles producidos por Bacillus spp. con actividad de biocontrol de hongos que afectan la calidad de frutos en poscosecha* [Tesis de maestría en ciencias]. Universidad de Autónoma Querétaro.
- Rivas-Castillo, A. M., Valdez-Calderón, A., Angeles-Padilla, A. F., Figueroa-Ocampo, C. B., Carrillo-Ibarra, S., Quezada-Cruz, M., Espinosa-Roa, A., Pérez-García, B. D., & Rojas-Avelizapa, N. G. (2024). PHB production by *Bacillus megaterium* strain MNSH1-9K-1 using low-cost media. *Brazilian Journal of Microbiology*, 55, 245-254. <https://doi.org/10.1007/s42770-023-01232-7>
- SÁFER Agrobiológicos S.A.S. (2022, 7 de marzo). *Sáferbacter WP®* [Ficha técnica]. <https://safer.com.co/wp-content/uploads/2022/09/F.T-Sa%CC%81ferbacter-W.P.pdf>
- Salazar Rodríguez, Y., Alonso Martínez, J., & Gallardo Cruz, A. (2021). Los bioestimulantes. Una alternativa para el desarrollo agroecológico cubano. *Ecovida*, 11(3), 225-249.
- Shen, Y., Shi, Z., Zhao, J., Li, M., Tang, J., Wang, N., Mo, Y., Yang, T., Zhou, X., Chen, Q., & Yang, P. (2023). Whole genome sequencing provides evidence for *Bacillus velezensis* SH-1471 as a beneficial rhizosphere bacterium in plants. *Scientific Reports*, 13, 20929. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48171-9>
- Sorokan, A., Gabdrakhmanova, V., Kuramshina, Z., Khairullin, R., & Maksimov, I. (2023). Plant-associated *Bacillus thuringiensis* and *Bacillus cereus*: Inside agents for biocontrol and genetic recombination in phytomicrobiome. *Plants*, 12(23), 4037. <https://doi.org/10.3390/plants12234037>
- Sun, B., Gu, L., Bao, L., Zhang, S., Wei, Y., Bai, Z., Zhuang, G., & Zhuang, X. (2020). Application of biofertilizer containing *Bacillus subtilis* reduced the nitrogen loss in agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 148, 107911. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107911>
- Syngenta. (2022, 16 de mayo). *Badixi®. Fungicida microbiano/ Polvo humectable* [Ficha técnica]. https://www.syngenta.com.mx/sites/g/files/kgtney1381/files/media/document/2024/01/18/badixir_ficha_tecnica.pdf
- Timofeeva, A. M., Galyamova, M. R., & Sedykh, S. E. (2024). How do plant growth-promoting bacteria use plant hormones to regulate stress reactions? *Plants*, 13(17), 2371. <https://doi.org/10.3390/plants13172371>
- Toral, L., Rodríguez, M., Béjar, V., & Sampedro, I. (2020). Crop protection against *Botrytis cinerea* by rhizosphere biological control agent *Bacillus velezensis* XT1. *Microorganisms*, 8(7), 992. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8070992>
- Torres, M., Llamas, I., Torres, B., Toral, L., Sampedro, I., & Béjar, V. (2020). Growth promotion on horticultural crops and antifungal activity of *Bacillus velezensis* XT1. *Applied Soil Ecology*, 150, 10353. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103453>
- Tran, D. M., Nguyen, T. H., & Nguten, A. D. (2023). Complete genome sequence data of chitin-degrading *Bacillus velezensis* RB.IBE29. *Data in Brief*, 51, 109815. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109815>
- Tsotetsi, T., Nephali, L., Malebe, M., & Tugizimana, F. (2022). *Bacillus* for plant growth promotion and stress resilience: what have we learned? *Plants*, 11(19), 2482. <https://doi.org/10.3390/plants11192482>
- Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- United Nations Environment Programme. (2023). *Synthesis Report on the Environmental and Health Impacts of Pesticides and Fertilizers and Ways to Minimize. Envisioning a Chemical-Safe World*. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils/publications/pesticides.pdf
- Valencia-Marín, M., Chávez-Avila, S., Guzmán-Guzmán, P., Del Carmen Orozco-Mosqueda, M., De Los Santos-Villalobos, S., Glick, B., & Santoyo, G. (2023). Survival strategies of *Bacillus* spp. in saline soils: Key factors to promote plant growth and health. *Biotechnology advances*, 108303. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2023.108303>

- Valenzuela-Ruiz, V., Parra-Cota, F. I., Santoyo, G., & De los Santos-Villalobos, S. (2022). Potential biocontrol mechanisms of *Bacillus* sp. TSO2 against *Bipolaris sorokiniana*, spot blotch in wheat. *Mexican Journal of Phytopathology*, 40(2), 230-239. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2201-1>
- Wang, A., Hua, J., Wang, Y., Zhang, G., & Luo, S. (2020). Stereoisomers of nonvolatile acetylbutanediol metabolites produced by *Bacillus velezensis* WRN031 improved root elongation of maize and rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(23), 6308-6315. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01352>
- Xiong, Q., Liu, D., Zhang, H., Dong, X., Zhang, G., Liu, Y., & Zhang, R. (2020). Quorum sensing signal autoinducer-2 promotes root colonization of *Bacillus velezensis* SQR9 by affecting biofilm formation and motility. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 7177-7185. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10713-w>
- Xue, L., Sun, B., Yang, Y., Jin, B., Zhuang, G., Bai, Z., & Zhuang, X. (2021). Efficiency and mechanism of reducing ammonia volatilization in alkaline farmland soil using *Bacillus amyloliquefaciens* biofertilizer. *Environmental Research*, 202, 111672. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111672>
- Yang, B., Sun, Y., Fu, S., Xia, M., Su, Y., Liu, C., Zhang, C., & Zhang, D. (2021). Improving the production of riboflavin by introducing a mutant ribulose 5-phosphate 3-epimerase gene in *Bacillus subtilis*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 704650. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.704650>
- Yuan, H., Shi, B., Wang, L., Huang, T., Zhou, Z., Hou, H., & Tu, H. (2022). Isolation and characterization of *Bacillus velezensis* strain P2-1 for biocontrol of apple postharvest decay caused by *Botryosphaeria dothidea*. *Frontiers in Microbiology*, 12, 808938. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.808938>
- Zaid, D. S., Li, W., Yang, S., & Li, Y. (2023). Identification of bioactive compounds of *Bacillus velezensis* HNA3 that contribute to its dual effects as plant growth promoter and biocontrol against post-harvested fungi. *Microbiology Spectrum*, 11(6), e00519-23. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00519-23>
- Zhao, J., Zhou, Z., Bai, X., Zhang, D., Zhang, L., Wang, J., Wu, B., Zhu, J., & Yang, Z. (2022). A novel of new class II bacteriocin from *Bacillus velezensis* HN-Q-8 and its antibacterial activity on *Streptomyces scabies*. *Frontiers in Microbiology*, 13, 943232. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.943232>
- Zhong, X., Jin, Y., Ren, H., Hong, T., Zheng, J., Fan, W., Hong, J., Chen, Z., Wang, A., Lu, H., Zhong, K., & Huang, G. (2024). Research progress of *Bacillus velezensis* in plant disease resistance and growth promotion. *Frontiers in Industrial Microbiology*, 2, 1442980. <https://doi.org/10.3389/finmi.2024.1442980>