



Diversidad de bacterias endófitas en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) en Sinaloa

Rosa M. Longoria-Espinoza^{1*}, Rubén Félix-Gastélum², Dulce R. Hernández-Luna³, ¹Universidad Autónoma de Occidente (UAO), Unidad Regional Guasave, Departamento de Ciencias Biológicas, ³UAO Avenida Universidad s/n, CP 81120. Guasave, Sinaloa, México; ²UAO, Unidad Regional Los Mochis, Boulevard Macario Gaxiola y Carretera Internacional s/n, CP 81223. Los Mochis, Sinaloa. México.

***Autor de Correspondencia:**

Rosa M. Longoria-Espinoza
rosa.longoria@uadeo.mx;
rosamarialongoria@hotmail.com.

Sección:

Edición periódica

Recibido:

09 Agosto, 2024

Aceptado:

28 Agosto, 2025

Publicado:

30 Agosto, 2025

Cita:

Longoria-Espinoza RM, Félix-Gastélum R y Hernández-Luna DR. 2025. Diversidad de bacterias endófitas en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) en Sinaloa, México. Revista Mexicana de Fitopatología 43(3): 86.
<https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2408-2>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. Actualmente, los sistemas agrícolas requieren estrategias de manejo basadas en la sustentabilidad del cultivo. Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal son una opción ecológica para disminuir la aplicación de productos químicos en la agricultura y favorecer prácticas agrícolas sostenibles. El objetivo de esta investigación fue aislar e identificar bacterias endófitas en plantas de fresa cultivadas (*Fragaria x ananassa*) en condiciones orgánicas y evaluar *in vitro* su capacidad para producir metabolitos relacionados con promoción de crecimiento vegetal.

Materiales y Métodos. Se colectaron 25 plantas de fresa, con aspecto sano, de la variedad Chanler en el ciclo otoño-invierno 2023-2024. A partir de muestras compuestas de tejido de raíz, tallo y hoja, se aisló el ADN genómico y amplificó el gen 16S ADNr.

Resultados. El análisis de secuencias genómicas permitió identificar géneros bacterianos asociados al phylum Firmicutes predominando el género *Bacillus* con las especies *B. cereus*; *B. subtilis*, *B. thuringiensis*, *B. xiamenensis*, y *B. zanthoxyli*. En menor proporción se detectó a *Shimwellia blattae* y *Burkholderia tropica*. De estos aislados, *B. cereus*, *B. subtilis*, y *B. thuringiensis*, en ese orden, mostraron capacidad de producir sideróforos, quitinasa y solubilizar fósforo *in vitro*.

Conclusión. *B. cereus*, *B. subtilis*, y *B. thuringiensis* exhibieron *in vitro* características metabólicas relacionadas con promoción de crecimiento vegetal. Estos resultados muestran que existe una diversidad de bacterias endófitas en fresa comercial. Se aporta información para el entendimiento de la interacción bacteria endófito-planta en el entorno específico del cultivo de fresa en el norte del estado de Sinaloa.

Palabras clave: Sideróforos, Fosfatos, Quitinasa, *B. cereus*



INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) ocupa un lugar importante por su excelente rentabilidad y características nutricionales (Thakur *et al.*, 2015; Yadav *et al.*, 2017). Sin embargo, su producción presenta limitantes ya que es susceptible a gran número de fitopatógenos. Esto promueve el uso extensivo de pesticidas, provocando daños a salud humana y medio ambiente (Moura *et al.*, 2021).

Por lo anterior, actualmente los sistemas agrícolas requieren estrategias sostenibles de manejo sanitario y productivo (Kumar *et al.*, 2016). Una estrategia agroecológica para disminuir la aplicación de productos químicos en la agricultura y favorecer prácticas agrícolas sostenibles es el uso de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPB, por sus siglas en inglés) e inductoras de resistencia a patógenos (Bhattacharyya *et al.*, 2016; Trabelsi y Mhamdi, 2013). La interacción planta - PGPB - ambiente, favorece de manera directa la absorción de nutrientes promueve el vigor de planta y reduce la predisposición a fitopatógenos.

Diversos estudios han demostrado los beneficios de PGPB en diferentes especies frutales como cerezas, cítricos, arándanos manzanas frambuesas y moras (Ortiz-Galeana *et al.*, 2018). Esitken *et al.* (2010), estudiaron el efecto de tres cepas de bacterias (PGPB), *Pseudomonas BA-8*, *Bacillus OSU-142* y *Bacillus M-3*; de manera individual y en consorcios, en cultivo de frambuesa. Se detectó un buen rendimiento y desarrollo de fruto, aumento de macronutrientes, principalmente P y Zn en tejido foliar. Asimismo, De Melo *et al.* (2012), caracterizaron comunidades bacterianas endófitas en frutos de fresa (*Fragaria x ananassa*). Se identificó a *Curtobacterium citreum*, *Enterobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus subtilis*, *Bacillus* sp., *Enterobacter ludwigii*, *Lactobacillus plantarum*, y *Pantoea punctata*, con capacidad de producir sideróforos y equivalentes de IAA (ácido 3 indol-acético); sin embargo, la capacidad de fijar nitrógeno solo la presentaron especies de los géneros *Pseudomonas* y *Enterobacter*. Moura y colaboradores (2021), identificaron cinco cepas del género *Bacillus* sp. y una de *Pantoea*, endófitas en plantas de fresa, productoras de compuestos antifúngicos contra *Botrytis cinerea*, causante de la enfermedad pudrición gris. Recientemente se estudió la composición taxonómica y funcional del microbioma de tres genotipos comerciales de fresa en condiciones de campo (Sangiorgio *et al.*, 2022). Se comprobó la capacidad promotora del crecimiento vegetal de las bacterias nativas, *in silico* e *in vitro*. Las bacterias identificadas correspondieron a las clases *Actinobacteria*, *Alphaproteobacteria*, *Gammaproteobacteria*, *Deltaproteobacteria* y *Bacteroidia*. La tendencia actual por comprender los mecanismos funcionales de bacterias PGPB en cultivos comerciales tiene como premisa que estas bacterias pueden contribuir a disminuir el uso de fertilizantes e ingredientes activos químicos (p.e. fungicidas). Esta visión se adhiere a objetivos globales de promover prácticas agroecológicas sostenibles (Sangiorgio *et al.*, 2022).

En México, el cultivo de fresa se produce principalmente en Michoacán, Guanajuato y Baja California (SADER, 2023). Recientemente, con el fin de mitigar los fuertes impactos de plagas y fitopatógenos en estas entidades, el estado de Sinaloa ha incrementado significativamente la producción, principalmente en el municipio de Ahome, a pesar de su limitante climatológica para el cultivo (i.e., clima extremo) (SADER, 2023). No obstante, la experiencia adquirida por productores locales ha logrado que la producción de fresa sea reconocida en el mercado local y nacional por su alta calidad; convirtiéndose además en una alternativa generadora de empleos, principalmente para el sector femenino.

Actualmente no se conocen estudios relacionados con PGPB en el cultivo de fresas orgánicas en la región. En consecuencia, el objetivo de esta investigación fue aislar e identificar bacterias endófitas en plantas de fresa cultivadas (*Fragaria x ananassa*) en condiciones orgánicas y evaluar *in vitro* la capacidad de las bacterias de producir metabolitos relacionados con promoción de crecimiento vegetal. Lo anterior aportaría un recurso biotecnológico de bacterias PGPB como potencial alternativa sostenible en Sinaloa, México.

El material experimental consistió en plantas de fresa variedad Chanler, establecidas como cultivo orgánico, al final del ciclo de producción otoño-invierno 2023-2024 en terrenos del ejido Nueve de Diciembre, localizado en el municipio de Ahome, Sinaloa; México (25°49'50"N 109°46'00"O; HR promedio mensual 70 %; meses más cálidos 36.1 °C y 41.1 °C). El muestreo se realizó en zig zag al azar, utilizando material estéril (guantes, tijeras pinzas). Se colectaron 25 plantas asintomáticas, las cuales se trasladaron al laboratorio de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Occidente, unidad regional Guasave, Sinaloa; para su procesamiento. Se integraron muestras compuestas de tejido foliar, raíz, tallo y fruto. Se realizó lavado y desinfestación con etanol al 70 % y solución de hipoclorito de sodio al 1 % durante 10 min y Tween-80 al 10 % (v/v), finalizando con lavados de agua destilada estéril. El aislamiento de bacterias se realizó por la técnica de contacto directo, realizando cortes transversales y longitudinales al tejido en condiciones asépticas, estableciendo el corte de cara al medio de cultivo Agar nutritivo/caja Petri. Se Las siembras se incubaron a 27 °C durante ocho días (Yang *et al.*, 2011). El bioensayo se realizó por triplicado para cada tipo de tejido. Para confirmar la eficiencia del proceso de esterilización del tejido analizado se tomaron alícuotas de agua destilada estéril utilizadas en el enjuague final del tejido, las cuales se sembraron en cajas Petri con Agar nutritivo e incubadas bajo las mismas condiciones previamente descritas. Se confirmó la ausencia de crecimiento microbiano. La morfología bacteriana colonial se analizó en estereoscopio digital marca Leica. A partir de colonias madre se realizó purificación a las 48 h, hasta obtener colonias con características morfológicas similares. Posterior a cuatro rondas de purificación, se obtuvieron 25 aislados en total, de los cuales 10 aislados fueron incultivables. La densidad poblacional se calculó por conteo directo en placa (UFC g⁻¹), seleccionando aquellas cepas que se distinguían por prevalencia, tamaño, forma y color.

Para la caracterización molecular se aisló el ADN genómico de las cepas bacterianas, amplificando el gen 16S ADNr con los oligonucleótidos específicos F2C (5'-AGAGTTTGATCATGGCTC-3') y C (5'-ACGGGCGGTGTGTAC-3') (Shi *et al.*, 1997). Los productos de PCR se purificaron y secuenciaron en el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (LANGEBIO) en CINVESTAV-IPN; las secuencias obtenidas fueron sometidas a búsquedas GenBank del Centro Nacional de Biotecnología de los Estados Unidos (NCBI) con el programa BLASTn (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>). Las inferencias filogenéticas se obtuvieron con el método Neighbor Joining basado en el modelo kimura-2-parámetros con prueba bootstrap 1.000 réplicas con el programa MEGA X.

Se realizaron evaluaciones *in vitro* por triplicado para la identificación de potenciales bacterias PGPB, utilizando como control positivo la cepa *Bacillus cereus* (B25) (Figuerola-López *et al.*, 2016). La producción de sideróforos se evaluó en medio Agar de Cromo Azurol S (CAS) (Schwyn y Neilands, 1987); considerando positiva aquellas colonias con la formación de un halo amarillo/naranja alrededor de la colonia; la evaluación de quitinasas se realizó de acuerdo con Shanmugaiah *et al.* (2008); se consideró positiva la

formación de una zona clara alrededor de la colonia bacteriana; pasado cinco días de crecimiento; en placas de agar-Pikosvkaya, se evaluó la capacidad de solubilización de fosfato (Pikosvkaya, 1948); considerándose colonias positivas aquellas con zona clara alrededor de la colonia.

Resultados de esta investigación se basaron en 15 cepas endófitas aisladas de tejido foliar, raíz, tallo y fruto de plantas de fresa. Estas cepas, presentaron diferente morfología en cuanto a borde, forma, color y superficie (Figura 1). La densidad poblacional de bacterias mostró variaciones significativas entre los tejidos, con valores elevados en raíz ($3.0 \times 10^{10} \text{ g}^{-1}$ raíz), seguido de tallo ($1.0 \times 10^{10} \text{ g}^{-1}$ tallo), fruto ($1.0 \times 10^{10} \text{ g}^{-1}$ fruto) y foliar ($1.3 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$ hoja).

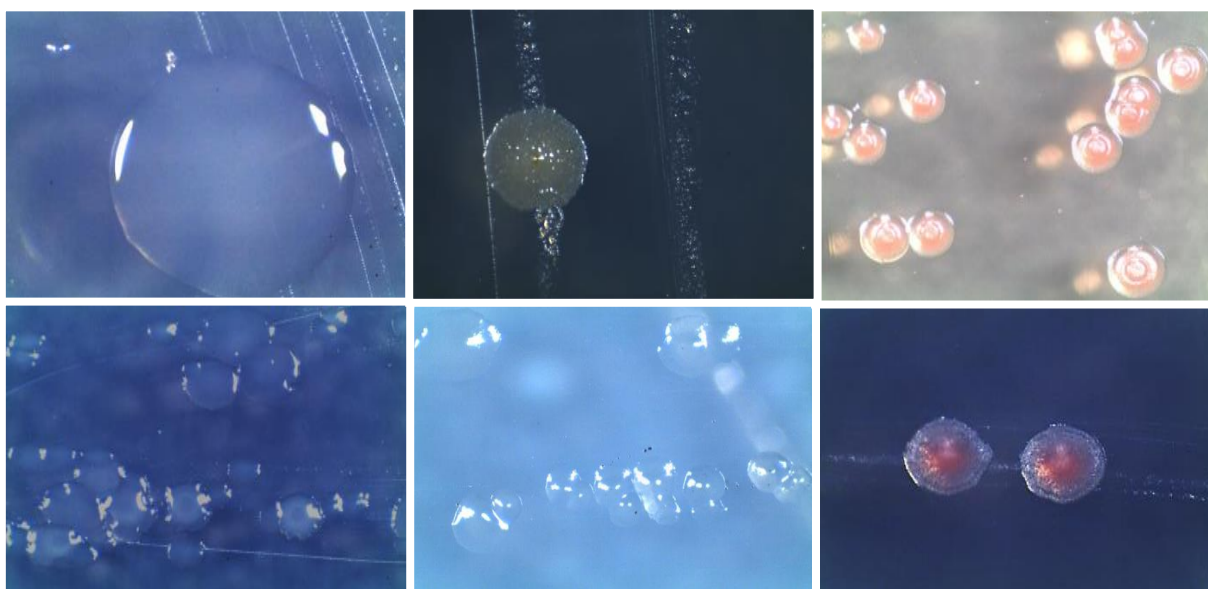


Figura 1. Morfología colonial *in vitro* de bacterias endófitas aisladas de raíz, tallo, hojas y fruto de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) cv Chanler, visualizadas en estereoscopio digital a 48 h de crecimiento en Agar nutritivo. Notar diferente morfología: bordes lisos, translúcidos, forma circular, superficie brillante, coloración.

Estos resultados confirman la presencia de endófitos en diferentes tejidos de la planta, coincidiendo con lo reportado por Porras-Alfaro y Bayman, (2011) y Sahoo *et al.* (2017), los cuales atribuyen la mayor densidad de bacterias en raíz debido a que está en contacto directo con el suelo, lo que favorece la colonización. Los aislados fueron identificados por tejido origen (R: raíz, T: tallo; H: hoja y F: fruto), con numeración consecutiva. El análisis de las secuencias permitió identificar géneros bacterianos con un 98 % de similitud con secuencias de referencia en la base de datos. La mayoría se asociaron al phylum Firmicutes predominando aislados del género *Bacillus* (Figura 2). Aislados obtenidos de raíz, tallo, hoja y fruto fueron identificados como *B. cereus* R5 (PV583387), T6 (PV583388), T7 (PV583389), H8 (PV583390), T9 (PV583391) y F10 (PV583392); tres aislados de raíz se identificaron como *B. subtilis* R1 (PV583383), R2 (PV583384), R3 (PV583385); y uno como *B. xiamenensis* R4 (PV583386); *Bacillus thuringiensis* T11 (PV583393), R14 (PV583396); *B. zanthoxyli* R12 (PV583394); *Shimwellia blattae* H13 (PV583395), y *Burkholderia tropica* F15 (PV583397). Los bioensayos de actividad promotora de crecimiento vegetal *in vitro* mostraron que *B. cereus*, *B. subtilis*, y *B. thuringiensis*, presentaron capacidad de producir sideróforos, solubilizar fosforo y actividad de quitinasa (Cuadro 1).

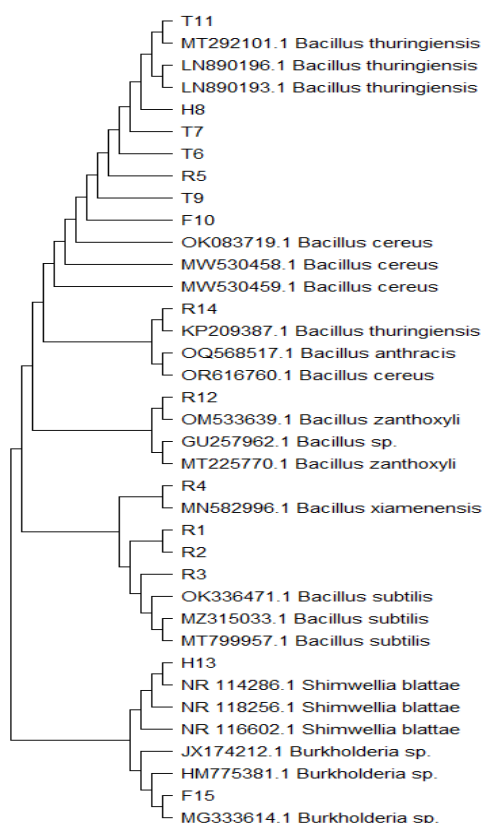


Figura 2. Dendrograma obtenido con el algoritmo *Neighbor-Joining* a partir de secuencias del gen que codifica la subunidad 16S del ADNr obtenidas de bacterias endófitas aisladas de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*), variedad Chanler, de cultivos comerciales orgánicos. Municipio de Ahome, Sinaloa, México. Los aislados obtenidos en esta investigación se identifican con siglas y numeral: R-n: raíz, T-n: tallo; H-n: hoja y F-n: fruto.

Los resultados obtenidos contrastan con estudios realizados en arándano donde se reporta a *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* y *Bacillus* como los géneros más abundantes. Análogo a este trabajo, se demostró que algunas cepas de *Bacillus* tuvieron mayor producción de fitohormonas y sideróforos que su control positivo, la rizobacteria *Pseudomonas fluorescens* UM270 (Ortiz-Galeana *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Actividad cualitativa de producción de sideróforos, quitinasas y fosfatos de *in vitro* de seis especies de bacterias endófitas aisladas de plantas de fresa variedad Chanler establecidas bajo producción orgánica. Municipio de Ahome, Sinaloa, México.

Aislado	Sideróforos	Quitinasas	Fosfatos
<i>Bacillus subtilis</i> (R1, R2, R3)	+++	++	++
<i>B. xiamenensis</i> (R4)	-	-	-
<i>B. cereus</i> (R5, T6, T7, H8, T9, F10)	+++	++	++
<i>B. thuringiensis</i> (T11, R14)	++	+	++
<i>B. zanthoxyli</i> (R12)	++	-	+
<i>Shmwellia blattae</i> (H13)	-	-	-
<i>Burkholderia tropica</i> (F15)	+	+	-
* <i>B. cereus</i> (25)	+	+	+

Control positivo (*); Ausencia actividad (-); + < 3mm; ++ > 3 < 4 mm; +++ > 4 mm. La letra **R** significa raíz, **T** tallo, **H** hoja, **F** fruto. El numeral corresponde al aislado.

El género *Bacillus* presenta una gran adaptación a diferentes condiciones ambientales por su amplia diversidad genética, por lo que se utiliza como referente en la comprensión de procesos metabólicos. Los resultados muestran que las cepas (R1, R2, R3) de *B. subtilis* tuvieron alta capacidad de solubilización de fosfatos, producción de sideróforos y quitinasa (Cuadro 1), coincidiendo con otros estudios donde se considera endófito de gran interés, ya que la colonización de raíces favorece el desarrollo de mecanismos de biocontrol importantes en enfermedades bióticas y abióticas (Corrales-Ramírez *et al.*, 2017; Gond *et al.*, 2015). Sin embargo, en este trabajo, *B. cereus* fue aislada de los diversos órganos analizados (raíz, tallo, hoja y fruto), lo cual sugiere mayor adaptabilidad, mostrando características metabólicas análogas a *B. subtilis* (Cuadro 1). Esto coincide con reportes en arroz donde fue aislada como endófito, mostrando alta capacidad de promover crecimiento vegetal, así como la movilización de fosfato lo que permite captarlo de manera insoluble y liberarlo, estimulando la fertilidad de los suelos (Chamorro-Anaya *et al.*, 2020). No obstante, algunas cepas de *B. subtilis* y *B. cereus* se han asociado con riesgos a la salud humana, y el primero se ha relacionado con la pudrición blanda en ajo (*Allium* sp.) por lo que es un factor que debe considerarse en futuros desarrollos biotecnológicos (<https://microbenotes.com/bacillus-subtilis/>).

La cepa *B. zanthoxyli* aislada de raíz, presentó capacidad de solubilización de fosfato y producción de sideróforos, coincidiendo con trabajos realizados en cultivos de tomate y pimiento, donde confiere resistencia a la infección causada por *Ralstonia solanacearum* y *Phytophthora capsici*, además de favorecer el desarrollo en plantas de pepino, tomate y repollo, al incrementar brotes y crecimiento de raíces (Usmonov *et al.*, 2021). *Burkholderia tropica* en este trabajo se aisló únicamente de fruto con capacidad de producción baja de sideróforos y quitinasas. Bolívar-Anillo *et al.* (2016), que mencionan que *B. tropica* producir compuestos volátiles y sideróforos permitiendo efectos supresivos de fitopatógenos, además de promover el desarrollo en plantas de tomate, caña de azúcar y maíz por su capacidad de fijar nitrógeno y solubilizar fosfatos.

Se concluye que la fresa (*F. x ananassa*) variedad Chanler, cultivada en condiciones comerciales orgánicas, poseen una comunidad de bacterias endofíticas constituida de tres géneros. Las especies más prevalente fue *B. subtilis*. Sin embargo, *B. cereus*, seguido de *B. thuringiensis*, tuvieron una mayor distribución en los órganos de la planta, lo cual sugiera una mayor adaptación evolutiva endófito. Estas especies también sobresalieron por sus propiedades promotoras de crecimiento en las tres propiedades metabólicas analizadas. Se aporta a la comprensión sobre la interacción bacteria endófito-planta en el entorno específico del cultivo de fresa en Sinaloa, lo que puede coadyuvar para mejorar estrategias de manejo fitosanitario y productivo sostenibles.

Limitaciones: El tamaño de muestra (i.e. número de plantas y variedades, producción convencional) pudo influenciar el número de géneros y especies encontradas en este trabajo.

Conflicto de interés. No aplica

Financiamiento. Recurso asignado a proyectos de investigación internos de la Universidad Autónoma de Occidente.

Agradecimientos. Productores de fresa del municipio de Ahome, Los Mochis, Sinaloa, México, por su disposición para la realización de este trabajo.

Contribución de los autores

Conceptualización y diseño del estudio, análisis de datos, contextualización de resultados y revisión de manuscrito: RM Longoria-Espinoza, R Félix-Gastélum. Ejecución experimental y revisión de la literatura: DR. Hernández-Luna.

REFERENCIAS

- Bhattacharyya PN, Goswami MP and Bhattacharyya LH. 2016. Perspective of beneficial microbes in agriculture under changing climatic scenario: A review. *Journal of Phytology* 8: 26-41. <http://dx.doi.org/10.19071/jp.2016.v8.3022>
- Bolívar-Anillo HJ, Contreras-Zentella ML y Teherán-Sierra LG. 2016. *Burkholderia tropica* una bacteria con gran potencial para su uso en la agricultura. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 19(2):102-108. DOI: 10.1016/j.recqb.2016.06.003
- Chamorro-Anaya LM y Pérez-Cordero A. 2020. *Bacillus cereus* bacteria endófitas promotora de crecimiento vegetal. *Revista Colombiana de Biotecnología* Vol. XXII:18-23. DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v22n2.81723.
- Corrales-Ramírez LC, Caycedo-Lozano L, Gómez-Méndez MA, Ramos-Rojas SJ and Rodríguez Torres JN. 2017. *Bacillus* spp: Una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *NOVA* 15: 45-65. doi: <https://doi.org/10.22490/24629448.1958>.
- De Melo Pereira G, Magalhães K, Lorenzetti E, Souza T y Schwan R. 2012. Un enfoque multifásico para la identificación de bacterias endófitas en frutos de fresa y su potencial para la promoción del crecimiento vegetal. *Microbial Ecology* 63(2): 405-417. <https://doi.org/10.1007/s00248-011-9919-3>
- Moura DG, Barros A, Machado F, Martins A, Silva C, *et al.* 2021. Endophytic bacteria from strawberry plants control gray mold in fruits via production of antifungal compounds against *Botrytis cinerea* L. *Microbiological Research* 251. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126793>
- Esitken A, Yildiz HE, Ercisli S, Donmez MF, Turan M, *et al.* 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae* 124: 62-66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.012>
- Figueroa-López AM, Cordero-Ramírez JD, Martínez-Álvarez JC, López-Meyer M, Lizárraga-Sánchez GJ, *et al.* 2016. Rhizospheric bacteria of maize with potential for biocontrol of *Fusarium verticillioides*. *Springer Plus* 5: 330. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1780-x>
- Gond SK, Bergen MS, Torres MS, White JF and Kharwar RF. 2015. Effect of bacterial endophyte on expression of defense in Indian popcorn against *Fusarium moniliforme*. *Symbiosis* 66:133-140. <https://doi.org/10.1007/s13199-015-0348-9>
- Kumar G and Sarma BK. 2016. Eco-friendly Management of Soil-borne Plant Pathogens through Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *SATSA Mukhapatra - Annual Technical Issue* 20: 167-171.
- Ortiz-Galeana MA, Hernández-Salmerón JE, Valenzuela-Aragón B, De los Santos-Villalobos S, Rocha-Granados M, *et al.* 2018. Diversidad de bacterias endófitas cultivables asociadas a plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi con actividades promotoras del crecimiento vegetal. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, ex Agro-Ciencia* 34 (2): 140-151. ISSN 0719-3882 print. ISSN 0719-3890 online.
- Pikosvkaya R and Pikosvkaya RI. 1948. Mobilization of phosphorus in soil connection with the vital activity of some microbial species. *Microbiology* 17: 362-370.
- Porras-Alfaro A and Bayman P. 2011. Hidden Fungi, Emergent Properties: Endophytes and Microbiomes. *Annual Review of Phytopathology* 49: 291-315. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081831>
- SADER. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2023. <https://www.gob.mx/agricultura/sinaloa>. Consulta: Enero, 2024.
- Sahoo S, Sarangi S and Kerry G. 2017. Bioprospecting of endophytes for agricultural and environmental sustainability. *Microbial Biotechnology: Applications in Agriculture and Environment* 1(1): 429-458. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8_19
- Sangiorgio D, Cellini A, Donati I, Ferrari E, Tanunchai B, *et al.* 2022. Taxonomical and functional composition of strawberry microbiome in genotype dependent. *Journal of Advanced Research* 42: 189-204. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2022.02.009>
- Schwyn B and Neilands JB. 1987. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Analytical Biochemistry* 160:47-56. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(87\)90612-9](https://doi.org/10.1016/0003-2697(87)90612-9)

- Shanmugaiah V, Mathivanan N, Balasubramanian N and Manoharan PT. 2008. Optimization of cultural conditions for production of chitinase by *Bacillus laterosporus* MML2270 isolated from rice rhizosphere soil. African Journal of Biotechnology 7(15): 2562-2568. <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Shi T, Reeves RH, Gilichinsky DA and Friedmann EI. 1997. Characterization of viable bacteria from Siberian permafrost by 16S rDNA sequencing. Microbial Ecology 33:169-179. <https://doi.org/10.1007/s002489900019>
- Thakur S, Mehta K and Sekhar RS. 2015. Effect of GA3 and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on growth, yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria x ananassa*) Duch cv Chandler. International Journal of Advanced Research 3(11): 312-317. <http://dx.doi.org/10.20546/ijemas.2018.704.310>
- Trabelsi D and Mhamdi R. 2013. Microbial Inoculants and Their Impact on Soil Microbial Communities: A Review. BioMed Research International Article ID 863240: 1-11. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/863240>
- Usmonov A, Yoo SJ, Kim ST, Yang JS, Sang MK, *et al.* 2021. The *Bacillus zanthoxyli* HS1 strain renders vegetable plants resistant and tolerant against pathogen infection and high salinity stress. Plant Pathology Journal. 37(1):72-78. doi: 10.5423/PPJ.NT.12.2020.0219. PMID: 33551698; PMCID: PMC7847759.
- Yadav I, Singh J, Meena B, Singh P, Meena S, *et al.* 2017. Strawberry yield and yield attributes after application of plant growth regulators and micronutrients on cv. winter dawn. Chemical Science Review and Letters 6(21): 589-594. <http://dx.doi.org/10.51470/plantarchives.2024.v24.no.1.144>
- Yang CJ, Zhang XG, Shi GY, Zhao HY, Chen L, *et al.* 2011. Isolation and identification of endophytic bacterium W4 against tomato *Botrytis cinerea* and antagonistic activity stability. African Journal of Microbiology 5(2):131-136. <http://dx.doi.org/10.5897/AJMR10.815>