



Fosfobacterias promueven la emergencia y el crecimiento de agaves silvestres

Phosphobacteria promote the emergency and growth of wild agaves

Saúl Sánchez Mendoza^{a*}, Angélica Bautista-Cruz^{b**}, Verónica Martínez-Gallegos^{c**}

RESUMEN

Las fosfobacterias (BSF) solubilizan fosfatos inorgánicos para favorecer el desarrollo vegetal. Los agaves silvestres son sobreexplotados debido a la producción intensiva de mezcal, lo que disminuye sus poblaciones naturales. Bajo un diseño completamente al azar se evaluó el efecto de cuatro bioinoculantes: BSF1 (*Enterobacter* sp. + *Pseudomonas* sp.); BSF2 (*Bacillus* sp. + *Pseudomonas* sp.); BSF3 (*Acinetobacter* sp. + *Pseudomonas* sp.); BSF4 (*Pseudomonas putida*) y un control (agua destilada) sobre la emergencia y crecimiento inicial de cuatro especies de agave silvestre: tobalá (*Agave potatorum* Zucc.), cuishe (*Agave* spp.), sierrudo (*Agave* spp.) y coyote (*Agave* spp.). Se contabilizó el número de plantas emergidas, índice de velocidad de emergencia, longitud de hoja, longitud de raíz, diámetro de tallo y peso seco de hoja, tallo y raíz. BSF2 incrementó el porcentaje y la velocidad de emergencia en sierrudo y tobalá. Los coinóculos promovieron el crecimiento en todas las especies evaluadas, pero BSF1 fue el que mostró los mejores resultados.

ABSTRACT

Phosphate-solubilizing bacteria (PSB) are capable of solubilizing inorganic phosphates and may also promote the plant growth. Wild agave populations are overexploited due to the intensive production of mezcal, which decreases their natural populations. In a completely randomized design, the effect of four bio-inoculants, PSB1 (*Enterobacter* sp. + *Pseudomonas* sp.); PSB2 (*Bacillus* sp. + *Pseudomonas* sp.); PSB3 (*Acinetobacter* sp. + *Pseudomonas* sp.); PSB4 (*Pseudomonas putida*) and a control (distilled water) were evaluated in the emergence and initial growth of four wild agave species: tobalá (*Agave potatorum* Zucc.), cuishe (*Agave* spp.), sierrudo (*Agave* spp.) and coyote (*Agave* spp.). The number of emergent plants, emergence rate index, leaf length, root length, stem diameter, and leaf, stem and root dry weight were counted. PSB2 increased the percentage of emergence and speed of emergence in sierrudo and tobalá. The co-inoculum promoted the plant growth in all the evaluated species, but PSB1 showed the best results.

*Nova Universitat, ** Instituto Politécnico Nacional



Recibido: 14 de febrero de 2018;
aceptado: 7 de mayo de 2018



Palabras clave:
agave, bioinoculantes, germinación, promoción del crecimiento vegetal.



Keywords:
Agave, bio-inoculants, germination, plant growth promotion.



Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación. CC-BY-NC-ND

INTRODUCCIÓN

Las bacterias de vida libre o asociadas a la rizósfera pueden estimular el crecimiento vegetal mediante la solubilización de nutrientes, síntesis de reguladores de crecimiento, fijación de nitrógeno, producción de sideróforos y control de fitopatógenos (Loredo-Osti, López-Reyes y Espinosa-Victoria, 2004), estos microorganismos se conocen como promotores del crecimiento vegetal (Jong-Soo *et al.*, 2003) y pueden ser utilizados como biofertilizantes en la producción de cultivos (Vessey, 2003). Los biofertilizantes son una alternativa emergente a los fertilizantes minerales inorgánicos para incrementar la fertilidad y la producción de los cultivos en agroecosistemas sustentables (Echeverri y Castilla, 2008). Diversos estudios han demostrado la eficacia de las bacterias solubilizadoras de fosfato en la germinación de semillas de especies como *Arachis hypogaea* L. (Kishore, Pande y Podile, 2005), *Zea mays* L. (Hameeda *et al.*, 2006), *Cicer arietinum* (Sharma *et al.*, 2007), *Vicia faba* (Demissie, Muleta y Berecha, 2013) y *Triticum aestivum* (Minaxi *et al.*, 2013). Estos resultados positivos se han atribuido a la capacidad que tienen los microorganismos para sintetizar hormonas promotoras de la germinación, principalmente del grupo de las giberelinas, las cuales tienen la capacidad de incrementar la actividad de enzimas específicas, como la α -amilasa que mejora la asimilación de carbohidratos. Muchas especies silvestres del género *Agave* son económicamente importantes para el estado de Oaxaca (México) porque son la materia prima para la producción de mezcal, una bebida alcohólica tradicional oaxaqueña (Chagoya-Méndez, 2004). Los agaves son plantas que se reproducen sexual y asexualmente, pero comúnmente se propagan asexualmente a través de rizomas y bulbillos en condiciones silvestres (Valenzuela-Zapata y Nabhan, 2003). La reproducción por semillas incrementa la variabilidad genética en plantaciones cultivadas, disminuyendo la probabilidad de daños por plagas y enfermedades (Valenzuela-Zapata *et al.*, 2003). Debido a la producción intensiva de mezcal, los agaves silvestres tienen alta demanda, lo que genera una sobreexplotación que trae como consecuencia que sus poblaciones naturales se vean seriamente amenazadas (García-Mendoza, 2007), por lo que es necesario realizar investigaciones enfocadas a la propagación sexual y promoción del crecimiento de estos agaves. El objetivo de

este estudio fue evaluar el efecto de diferentes coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato en la emergencia y crecimiento inicial de cuatro agaves silvestres: tobalá (*Agave potatorum* Zucc.), sierrudo (*Agave* spp.), cuishe (*Agave* spp.) y coyote (*Agave* spp.) en condiciones semi-controladas dentro de un macro túnel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato

Los coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato usados en este estudio se seleccionaron por su alta capacidad *in vitro* para solubilizar fosfato tricálcico y por su efecto positivo en el desarrollo y crecimiento de maguey espadín (*Agave angustifolia* Haw.) en condiciones semi-controladas (Fernández-Téllez, 2016). Las bacterias solubilizadoras de fosfato (BSF) empleadas pertenecen a los géneros *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter* y *Bacillus* y se aislaron de suelos semiáridos cultivados con maguey espadín en el distrito de Tlacolula, Oaxaca (México). Cada cepa se reactivó mediante la inoculación en medio selectivo agar Sundara Rao y Sinha (SRS) (Sundara y Sinha, 1963). Posteriormente, se prepararon suspensiones bacterianas individuales en solución salina estéril al 0.85% a una concentración celular de 1.5×10^8 células ml^{-1} . Para preparar los pre-coinóculos bacterianos se tomó 0.1 ml de la suspensión bacteriana de cada cepa no antagónica, se inocularon conjuntamente en caldo nutritivo y se incubaron a 30 °C durante 48 h. Una vez transcurrido el tiempo de incubación, se tomaron 5 ml del pre-coinóculo bacteriano y se reinocularon en 45 ml de caldo nutritivo previamente esterilizado para posteriormente incubarse a 30 °C durante 48 h en agitación constante a 150 rpm en una incubadora-agitadora. Para la obtención del coinóculo, el pre-coinóculo se centrifugó a 10 mil rpm durante 10 min. El pellet celular obtenido por centrifugación se diluyó a una concentración celular de 15×10^8 células ml^{-1} de acuerdo con la escala de Mc Farland. Bajo un diseño completamente al azar, se evaluaron cinco tratamientos: (T1) *Enterobacter* sp. + *Pseudomonas* sp.; (T2) *Bacillus* sp. + *Pseudomonas* sp.; (T3) *Acinetobacter*

sp.+ *Pseudomonas* sp.; (T₄) *Pseudomonas putida* (cepa comercial) y un control (sin coinóculo).

Material vegetal

Se utilizaron semillas de cuatro especies de agaves silvestres: tobalá (*Agave potatorum* Zucc.), sierrudo (*Agave* spp.), cuishe (*Agave* spp.) y coyote (*Agave* spp.) colectadas en el municipio de Santa Catarina Minas (96° 38' N, 16°47' O) a 1560 m., perteneciente al distrito de Ocotlán de Morelos, Oaxaca (México). Antes de iniciar el trabajo experimental se eliminaron las semillas rotas o con daños por insectos o patógenos, después se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1.5% durante 10 min., luego se lavaron repetidamente con agua destilada estéril. Previo a la siembra, las semillas de las cuatro especies de agave evaluadas se imbibieron en cada uno de los coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato durante 60 min., se incluyó también un control donde la imbibición de las semillas se hizo en agua destilada estéril. La siembra se llevó a cabo en charolas de unicel de 200 cavidades con suelo de la zona de colecta de las semillas, se depositó una semilla por cavidad y se realizaron riegos cada tercer día. El experimento se estableció en condiciones semi-controladas dentro de un macro túnel.

Variables evaluadas

Se realizaron observaciones diarias del número de plantas emergidas por tratamiento (E), con esta información se determinó el índice de velocidad de emergencia (IVE), para ello se utilizó la fórmula propuesta por Maguirre (1962). Dos meses después de la siembra se determinó la longitud de la hoja (LH), el diámetro de tallo (DT) y la longitud de la raíz más larga (LR) con un vernier digital marca Mitutoyo, se determinó también el peso seco de hoja (PSH), peso seco de tallo (PST) y peso seco de raíz (PSR), para ello se utilizó una balanza analítica digital marca Ohaus. Para las variables E e IVE cada tratamiento consistió de cinco repeticiones con 20 semillas cada una, para las variables de crecimiento y biomasa se consideraron 10 plantas por tratamiento.

Análisis estadístico

Los datos se sometieron a análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias (Tukey 0.05), con el paquete estadístico SAS®, versión 9.1 (Statistical Analysis System [SAS], 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato en la emergencia de especies silvestres del género *Agave*

En comparación con el control T₂ incrementó el E y el IVE en las especies sierrudo y tobalá. El E incrementó 94.5% en sierrudo y 81.5% en tobalá. El IVE aumentó 136.7% en sierrudo y 111.3% en tobalá. T₁, T₃ y T₄ no mostraron un incremento significativo en estas variables respecto al control (Cuadro 1). Resultados similares a los reportados en este estudio fueron obtenidos por Kishore *et al.* (2005) quienes encontraron incrementos respecto al control sin inocular de 95.3%, 97.9% y 96.3% en la emergencia de plántulas de *Arachis hypogea* con la inoculación de *Bacillus firmis* GRS 123, *Bacillus megaterium* GPS 55 y *Pseudomonas aeruginosa* GPS 21, respectivamente. Haamedia *et al.* (2006) reportaron incrementos en los porcentajes de germinación de semillas de maíz con *Pseudomonas* sp. CDB 35 (89%) y *Pseudomonas* sp. BWB 21 (87%) con respecto al control. Sharma *et al.* (2007) obtuvieron 100% de germinación en semillas de *Cicer arietinum* con *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus megaterium*. Demissie *et al.* (2013) evaluaron germinación en semillas de *Vicia faba*, con relación al control, obtuvieron incrementos de 21.4% con el consorcio *Pseudomonas* sp. + *Rhizobium* spp. El T₂ empleado en este estudio incluye especies de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas*, lo que confirma que las especies bacterianas de estos géneros son buenas promotoras del crecimiento vegetal. Gholami, Shamsavani y Nezarat (2009) reportaron incrementos de 18.5% en la germinación de semillas de maíz con el uso de inoculantes bacterianos. Estos autores indicaron que el efecto positivo en la germinación de las semillas se podría deber a que las BSF producen hormonas que favorecen la germinación, como las giberelinas, las

cuales promueven la actividad de enzimas específicas promotoras de la germinación tales como la α -amilasa que incrementa la asimilación de almidón, lo cual se ve reflejado en la longitud de la plúmula y la radícula.

Cuadro 1. Efecto de coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato en el porcentaje de emergencia (E) e índice de velocidad de emergencia (IVE) de cuatro especies de agave silvestre del estado de Oaxaca (México)

Tratamiento	Sierrudo		Tobalá		Coyote		Cuishe	
	E	IVE	E	IVE	E	IVE	E	IVE
T1 (<i>Enterobacter</i> sp. + <i>Pseudomonas</i> sp.)	67.0±7.8ab	10.9±1.3ab	38.0±6.0bc	5.6±0.8bc	29.0±1.0a	4.1±0.4a	42.0±10.4a	5.2±0.9a
T2 (<i>Pseudomonas</i> sp. + <i>Bacillus</i> sp.)	72.0±11.4a	11.6±2.0a	69.0±6.2a	9.3±0.7a	23.4±3.3ab	3.5±0.3ab	40.0±5.2a	5.9±0.4a
T3 (<i>Pseudomonas</i> sp. + <i>Acinetobacter</i> sp.)	50.0±8.8ab	8.7±1.5abc	56.0±4.3ab	7.8±0.8ab	20.0±1.5ab	2.9±0.3ab	49.0±5.3a	7.5±0.8a
T4 (<i>Pseudomonas putida</i>)	41.0±4.3ab	5.5±0.5bc	24.0±2.9c	2.3±0.4d	15.0±1.5b	2.0±0.2b	48.0±4.3a	7.6±0.6a
Control (sin coinóculo)	37.0±6.2b	4.9±0.8c	38.0±3.7bc	4.4±0.5cd	24.0±4.0ab	3.9±0.46a	46.0±3.6a	7.2±0.1a

Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05) (n=100).

Fuente: elaboración propia.

Efecto de coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato en el crecimiento de especies silvestres del género *Agave*

Con respecto al control, la LH en sierrudo incrementó 40.6 y 34.3% con T2 y T1, respectivamente. En tobalá aumentó 40.0% con T2 y 32.0% con T3 y en cuishe incrementó 14.6% con T3. La LR incrementó 241.67% en sierrudo y 111.1% en cuishe con T4. El DT únicamente incrementó en tobalá 50% con T1 (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 2. Efecto de coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato en la longitud de la hoja (LH), diámetro de tallo (DT) y longitud de la raíz más larga (LR) en plántulas de agave sierrudo y tobalá

Tratamiento	Sierrudo			Tobalá		
	LH	DT	LR	LH	DT	LR
T1	4.3±0.1a	0.30±0.01a	1.7±0.07c	2.6±0.05b	0.45±0.01a	1.3±0.07b
T2	4.5±0.03a	0.29±0.01a	2.9±0.24b	3.5±0.06a	0.34±0.01b	1.3±0.12b
T3	3.8±0.08b	0.26±0.01a	1.6±0.01c	3.3±0.06a	0.34±0.01b	2.3±0.20a
T4	3.5±0.07c	0.31±0.1a	4.1±0.18a	1.9±0.10c	0.25±0.01c	1.6±0.15ab
C	3.2±0.1c	0.31±0.01a	1.2±0.06c	2.5±0.11b	0.30±0.01bc	1.7±0.18ab

C, control sin coinóculo; T1, *Enterobacter* sp. + *Pseudomonas* sp.; T2, *Bacillus* sp. + *Pseudomonas* sp.; T3, *Acinetobacter* sp.+ *Pseudomonas* sp.; T4, *Pseudomonas putida*; C, control. Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05) (n=100).

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Efecto de coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato en la longitud de la hoja (LH), diámetro de tallo (DT) y longitud de la raíz más larga (LR) en plántulas de agave cuishe y coyote

Tratamiento	Cuishe			Coyote		
	LH	DT	LR	LH	DT	LR
T1	4.3±0.05bc	0.40±0.01a	2.7±0.13bc	3.5±0.08ab	0.38±0.02a	1.7±0.16b
T2	3.5±0.05d	0.29±0.02bc	2.8±0.13ab	3.2±0.09b	0.34±0.13a	1.8±0.15b
T3	4.7±0.04a	0.22±0.03c	3.2±0.13ab	3.2±0.10b	0.30±0.01a	1.2±0.12b
T4	4.4±0.07ab	0.34±0.01ab	3.8±0.42a	3.8±0.08a	0.35±0.01a	2.8±0.10a
C	4.1±0.06c	0.32±0.006ab	1.8±0.23c	3.4±0.15ab	0.35±0.02a	2.6±0.29a

C, control sin coinóculo; T1, *Enterobacter* sp. + *Pseudomonas* sp.; T2, *Bacillus* sp. + *Pseudomonas* sp.; T3, *Acinetobacter* sp.+ *Pseudomonas* sp.; T4, *Pseudomonas putida*; C, control. Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05) (n=100).

Fuente: elaboración propia.

Estos incrementos en el crecimiento de las plántulas probablemente se pueden atribuir a dos factores: 1) a un incremento en la elongación y multiplicación celular debido a una mayor absorción nutrimental, principalmente de fósforo, promovido por la inoculación con las BSF (Bhattacharyya y Jha, 2012) y; 2) a la producción de sustancias promotoras del crecimiento vegetal por las BSF (Podile y Kishore, 2006; Appanna, 2007). Bautista-Cruz *et al.* (2015a) reportaron un incremento de 30.1% en la LR y de 34.7% en la altura de plántulas de *Hylocereus undatus* inoculadas con BSF.

Ghanem y Abbas (2009) indicaron un aumento en la altura de la planta, número de ramas, número de vainas, peso del grano y rendimiento en *Vigna radiata* después de la inoculación con *B. megaterium* en suelos salinos. Otras investigaciones han reportado aumentos en la altura de plantas de arroz con la inoculación de *P. fluorescens* (Hameeda *et al.*, 2008; Gandi y Sivakumar, 2010). Bautista-Cruz *et al.* (2015b) encontraron incrementos de 13.6% en el DT y de 58.4% en la LR de plantas de *Agave angustifolia* Haw. con la inoculación de BSF. El incremento en la LR se puede atribuir al efecto positivo de los inoculantes, los cuales promueven una elevada acumulación de nutrientes en las raíces, así como también la producción de fitohormonas que estimulan un mayor desarrollo radical (Demissie *et al.*, 2013). Vassilev, Vassileva y Nikoaeva (2006) indicaron que las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, como las BSF, también pueden sintetizar compuestos bioactivos que suprimen algunos organismos fitopatógenos de la raíz. Estos procesos en conjunto pueden incrementar la absorción de agua y nutrientes lo que contribuye a un mayor crecimiento radical. En este estudio, el T4 (*Pseudomonas putida*) fue el inoculante que promovió una mayor LR, posiblemente porque muchas cepas de *Pseudomonas* producen ácido-3-indol acético, el cual promueve la elongación radical y estimula el desarrollo de pelos radicales (Dowling y O’Gara, 1994).

En comparación con el control, el PSH incrementó en sierrudo (331.2%), tobalá (700%) y coyote (400%) con T1. El PSH también incrementó en sierrudo (325.0%) y en cuishe (112.5%) con T3. El PST aumentó 107.4% en sierrudo con T1 y 64.2% en coyote con T4. El PSR incrementó 171.4% en cuishe con T1, 133.3% en sierrudo con T2 y T4 (Cuadros 4 y 5). Bautista-Cruz *et al.* (2015b) reportaron incrementos de 12.1 y 17.8% en el peso seco aéreo y de raíces en plantas de *Agave angustifolia* Haw. inoculadas con BSF. Bautista-Cruz *et al.* (2015a) obtuvieron un incremento de 23.3% en el peso seco de plantas de *Hylocereus undatus* inoculadas con BSF. Demissie *et al.* (2013) encontraron incrementos en el peso fresco total y peso de raíces de *Vicia faba* con *Pseudomonas sp.* + *Rhizobium sp.* El incremento observado en las variables morfológicas de las plántulas de los agaves silvestres se puede atribuir posiblemente a la acumulación de nutrientes en los tejidos vegetales, provenientes de fuentes orgánicas e inorgánicas de fosfato presentes en el suelo, minerali-

zadas y/o solubilizadas gracias a la actividad de las BSF.

Cuadro 4. Efecto de coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato en el peso seco de hoja (PSH), peso seco de tallo (PST) y peso seco de raíz (PSR) en plántulas de agave sierrudo y tobalá

Tratamiento	Sierrudo			Tobalá		
	PSH	PST	PSR	PSH	PST	PSR
T1	0.069±0.005a	0.0056±0.0008a	0.009±0.001ab	0.032±0.009a	0.0029±0.0004ab	0.004±0.0007bc
T2	0.027±0.005b	0.0036±0.0004ab	0.014±0.002a	0.013±0.003ab	0.0042±0.0006a	0.005±0.001abc
T3	0.068±0.004a	0.002±0.0002b	0.005±0.0008b	0.012±0.003b	0.0042±0.0005a	0.009±0.001a
T4	0.033±0.008b	0.0021±0.0003b	0.014±0.002a	0.001±0.0002b	0.002±0.0006b	0.002±0.0004c
C	0.016±0.004b	0.0027±0.0005b	0.006±0.001b	0.004±0.0004b	0.0025±0.0003ab	0.008±0.001ab

T1, *Enterobacter sp.* + *Pseudomonas sp.*; T2, *Bacillus sp.* + *Pseudomonas sp.*; T3, *Acinetobacter sp.* + *Pseudomonas sp.*; T4, *Pseudomonas putida*; C, control (sin coinóculo). Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05) (n=10).

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 5. Efecto de coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato en el peso seco de hoja (PSH), peso seco de tallo (PST) y peso seco de raíz (PSR) en plántulas de agave cuishe y coyote

Tratamiento	Cuishe			Coyote		
	PSH	PST	PSR	PSH	PST	PSR
T1	0.015±0.002b	0.0046±0.0007ab	0.019±0.003a	0.1±0.01a	0.0027±0.0003b	0.003±0.0006a
T2	0.012±0.001b	0.003±0.0006b	0.015±0.003ab	0.05±0.008bc	0.0028±0.0003b	0.0035±0.0006a
T3	0.034±0.007a	0.0067±0.0007a	0.017±0.003ab	0.07±0.006ab	0.0032±0.0004ab	0.0033±0.0005a
T4	0.019±0.001b	0.004±0.0004ab	0.017±0.002ab	0.04±0.008bc	0.0046±0.0004a	0.0045±0.0004a
C	0.016±0.001b	0.0044±0.0006ab	0.007±0.001b	0.02±0.006c	0.0028±0.0003b	0.0048±0.0007a

T1, *Enterobacter sp.* + *Pseudomonas sp.*; T2, *Bacillus sp.* + *Pseudomonas sp.*; T3, *Acinetobacter sp.* + *Pseudomonas sp.*; T4, *Pseudomonas putida*; C, control (sin coinóculo). Medias con letras iguales por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, <0.05) (n=10).

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

El coinóculo BSF2 (*Bacillus sp.* + *Pseudomonas sp.*) fue el que incrementó el porcentaje y la velocidad de emergencia en los agaves sierrudo y tobalá. En general, los coinóculos BSF promovieron el crecimiento vegetal en todas las especies de agave evaluadas, pero fue BSF1 (*Enterobacter sp.* + *Pseudomonas sp.*) el que mostró los mejores resultados. El presente estudio indica el potencial de las BSF en la emergencia y crecimiento inicial de agaves silvestres bajo condiciones semi-controladas, no obstante, se necesitan más investigaciones para verificar

su eficacia en condiciones de campo.

REFERENCIAS

- Appanna, V. (2007). Efficacy of phosphate solubilizing bacteria isolated from vertisols on growth and yield parameters of sorghum. *Research Journal of Microbiology*, 2, 550-559. DOI: 10.3923/jm.2007.550.559
- Bautista-Cruz, A., Ortiz-Hernández, Y. D., Martínez-Gallegos, V., y Martínez-Gutiérrez, G. (2015a). Effect of phosphate-solubilizing bacteria isolated from semiarid soils on pitahaya seedlings (*Hylocereus undatus*). *IDESIA*, 33 (2), 65-68
- Bautista-Cruz, A., Martínez-Gallegos, V., Martínez M. L., y Martínez-Gutiérrez, G. (2015b). Effect of phosphate solubilizing bacteria on the growth of *Agave angustifolia* Haw. (maguey espadín). *Pakistan Journal of Botany*, 47(3), 1033-1038.
- Bhattacharyya, P. N., y Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1327-1350. DOI: 10.1007/s11274-011-0979-9
- Chagoya-Méndez, V. M. (2004). *Diagnóstico de la cadena productiva del sistema producto maguey-mezcal*. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (Sagarpa), México.
- Demissie, S., Muleta, D., y Berecha, G. (2013). Effect of phosphate solubilizing bacteria on seed germination and seedling growth of faba bean (*Vicia faba* L.). *International Journal of Agricultural Research*, 8, 123-136. DOI: 10.3923/ijar.2013.123.136
- Dowling, D. N., y O'Gara, F. (1994). Metabolites of *Pseudomonas* involved in the biocontrol of plant disease. *Trends in Biotechnology*, 12, 133-141. DOI: 10.1016/0167-7799(94)90091-4
- Echeverri, R., y Castilla, A. (2008). Biofertilizantes como mejoradores del proceso de nutrición del arroz. *Revista Arroz*, 56(474), 12-27.
- Fernández-Téllez, N. (2016). Coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato y su efecto en el desarrollo de maguey espadín (*Agave angustifolia* Haw.) (Tesis de Maestría en Ciencias). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Gandi, A., y Sivakumar, K. (2010). Impact of vermicompost carrier based bioinoculants on growth, yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.) c.v. nlr 145. *The Ecoscan*, 4, 83-88. Recuperado de <http://theecoscan.in/journalpdf/4117-%20a.gandhi.pdf>
- García-Mendoza, A. J. (2007). Los Agaves en México. *Ciencias*, 87,14-23. Recuperado de <http://www.revista-ciencias.unam.mx/images/stories/Articles/87/02/Los%20agaves%20de%20Mexico.pdf>
- Ghanem, K. H. M., y Abbas E. E. (2009). Improvement of mung bean growth and productivity in salinity-affected soil after seed inoculation with phosphate dissolving bacteria. *African Crop Science Conference Proceeding*, 9, 385-389.
- Gholami, A, Shahsavani, S., y Nezarat, S. (2009). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *WASET*, 49, 19-24. Recuperado de <http://waset.org/publications/14657/the-effect-of-plant-growth-promoting-rhizobacteria-pgpr-on-germination-seedling-growth-and-yield-of-maize>
- Hameeda, B., Rupela O. P., Reddy G., y Satyavani, K. (2006). Application of plant growth-promoting bacteria associated with composts and macrofauna for growth promotion of Pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 43, 221-227. DOI: 10.1007/s00374-006-0098-1
- Hameeda, B., Harinib, G. O., Rupelab, P., Wanib, S. P., y Reddy, G. (2008). Growth promotion of maize by phosphate solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. *Microbiological Research*, 163, 234-242. DOI: 10.1016/j.micres.2006.05.009
- Jong-Soo, J., Sang-Soo, L., Hyoun-Young, K., Tae-Seok, A., y Hong-Gyu, S. (2003). Plant growth promotion in soil by some inoculated microorganism. *Journal of Microbiology*, 41, 271-276. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/TaeSeok_Ahn/publication/228494206_Plant_Growth_Promotion_in_Soil_by_Some_Inoculated_Microorganisms/links/02e7e51d3686657ae7000000/Plant-Growth-Promotion-in-Soil-by-Some-Inoculated-Microorganisms.pdf
- Kishore, G.K., Pande, S., y Podile, A.R. (2005). Phylloplane bacteria increase seedling emergence, growth and yield of field-grown groundnut (*Arachis hypogaea*

- L.). *Letters in Applied Microbiology*, 40, 260-268. doi: 10.1111/j.1472-765X.2005.01664.x
- Loredo-Osti, C., López-Reyes, L., y Espinosa-Victoria, D. (2004). Plant growth-promoting bacteria in association with graminaceous species: A review. *Terra Latinoamericana*, 22, 225-239. Recuperado de <https://www.chapingo.mx/terra/contenido/22/2/225.pdf>
- Maguirre, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177.
- Minaxi, J., Saxena, S., Chandra, S., y Nain, L. (2013). Synergistic effect of phosphate solubilizing rhizobacteria and arbuscular mycorrhiza on growth and yield of wheat plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13, 511-525. DOI: 10.4067/S0718-95162013005000040
- Podile, A. R., y Kishore, G. K. (2006). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). En: Gnanamanickam, S.S., *Plant-associated bacteria* (pp. 195-230) Springer, Dordrecht: The Netherlands.
- Sharma, K., Dak, G., Agrawal, A., Bhatnagar, M., y Sharma, R. (2007). Effect of phosphate solubilizing bacteria on the germination of *Cicer arietinum* seeds and seedling growth. *Journal of Herbal Medicine and Toxicology*, 1, 61-63. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/265989170_Effect_of_phosphate_solubilizing_bacteria_on_the_germination_of_Cicer_arietinum_seeds_and_seedling_growth_J_Herb_Med_Toxicol_161-63
- Sundara, R. W., y Sinha, M. (1963). Phosphate dissolving microorganisms in the soil and rhizosphere. *Indian Journal of Agricultural Science*, 33, 272-278.
- Statistical Analysis System [SAS Institute]. (2004). SAS® 9.1 SQL Procedure User's Guide. Cary, Carolina del Norte: EU.
- Valenzuela-Zapata, A. G., y Nabhan, G. P. (2003). *Tequila: A Natural and Cultural History*. Tucson, Arizona: The University of Arizona Press.
- Vassilev, N., Vassileva, M., y Nikolaeva, I. (2006). Simultaneous P-solubilizing and biocontrol activity of microorganisms: potentials and future trends. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71, 137-144. DOI: 10.1007/s00253-006-0380-z
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571-586. DOI: 10.1023/A:1026037216893

NOTAS DE AUTOR

- a Maestro en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales por el Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca. Profesor- Investigador del área de Ingeniería en Agronomía de Nova Universitas, Sistema de Universidades del Estado de Oaxaca. Correo electrónico: saul_sm@live.com.mx
- b Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad Autónoma Metropolitana. Profesora - Investigadora Titular del área de Microbiología y Bioquímica de Suelos del Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Correo electrónico: mbautistac@ipn.mx. ***Autora de correspondencia**
- c Maestra en Ciencias Médicas y Biológicas, estudiante del Doctorado en Ciencias Médicas y Biológicas en la Facultad de Medicina y Cirugía de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca y Profesora - Investigadora del área de Microbiología y Bioquímica de Suelos del CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca. Correo electrónico: vmartinezg@ipn.mx