







Azospirillum brasilense, *Bacillus subtilis* y *Serendipita indica* como complemento en la nutrición del Chile

Azospirillum brasilense, *Bacillus subtilis* and *Serendipita indica* as a complement in the nutrition of Chile

Miguel Ángel Martínez-Lara¹ , Antonio Juárez-Maldonado^{1,2} , Rodolfo de la Rosa-Rodríguez³ , Julio Lozano-Gutiérrez⁴ , Martha Patricia España-Luna⁴ , Alfredo Lara Herrera^{4*} 

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, CP. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

²Laboratorio Nacional Conahcyt de Ecofisiología Vegetal y Seguridad Alimentaria (LANCEVSA), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, CP. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

³Unidad Académica de Ingeniería eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Av. López Velarde 801, Zacatecas Centro, CP. 98000. Zacatecas, Zacatecas, México.

⁴Unidad Académica de Agronomía, UAZ, Carretera Zacatecas-Guadalajara, km 15.5, CP. 98170. Zacatecas, Zacatecas, México.

*Autor de correspondencia: alara204@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 15 de febrero 2026

Aceptado: 16 de abril 2026

RESUMEN. México ocupa el cuarto lugar en producción de Chile (*Capsicum annuum* L.) en el mundo, lo cual implica que este cultivo sea de suma importancia económica para la sociedad mexicana. Sin embargo, el uso excesivo y/o desbalanceado de fertilizantes químicos ha ocasionado que se degraden las propiedades de los suelos y, por ende, los rendimientos de los cultivos disminuyan. Una de las alternativas para reducir el uso de fertilizantes químicos es la aplicación de microorganismos benéficos, los cuales pueden aportar nutrientes. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* y *Serendipita indica*, aplicados como complemento a la fertilización química bajo dos sistemas de cultivo (invernadero y campo abierto) en el crecimiento, la calidad y rendimiento del cultivo de Chile. Los estudios fueron realizados bajo un arreglo factorial con dos factores el factor fertilización química con dos niveles (70 y 100%), y el factor microorganismos con ocho niveles (sin microorganismos, *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* + *Serendipita indica*, *S. indica*, *A. brasilense*, *B. subtilis*, *A. brasilense* + *S. indica*, *B. subtilis* + *S. indica* y *B. subtilis* + *A. brasilense*). Se hicieron mediciones de variables relacionadas con la etapa de crecimiento vegetativo y variables relacionadas con la calidad y rendimiento del cultivo durante la cosecha. La combinación de *A. brasilense* y *S. indica* tuvo un efecto positivo en el crecimiento, la calidad y el rendimiento del cultivo de Chile.

Palabras clave: Bacterias, hongo endófito, biofertilización, co-inoculación, *Capsicum annuum* L.

ABSTRACT. Mexico ranks fourth in the world in chili pepper (*Capsicum annuum* L.) production, which means that this crop is of great economic importance to Mexican society. However, the excessive and/or unbalanced use of chemical fertilizers has caused the degradation of soil properties and, consequently, a decrease in crop yields. One alternative to reducing the use of chemical fertilizers is the use of beneficial microorganisms, which can provide nutrients. Therefore, the objective of the study was to evaluate the effect of *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* and *Serendipita indica*, applied as a complement to chemical fertilization under two cultivation systems (greenhouse and open field) on the growth, quality and yield of the chili crop. The studies were carried out under a factorial arrangement with two factors: the chemical fertilization factor with two levels (70 and 100%), and the microorganisms factor with eight levels (no microorganisms, *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* + *Serendipita indica*, *S. indica*, *A. brasilense*, *B. subtilis*, *A. brasilense* + *S. indica*, *B. subtilis* + *S. indica* and *B. subtilis* + *A. brasilense*). Measurements were made of variables related to the vegetative growth stage and variables related to the quality and yield of the crop during harvest. The combination of *A. brasilense* and *S. indica* had a positive effect on the growth, quality, and yield of the chili pepper crop.

Keywords: bacteria, endophyte fungus, biofertilizer, co-inoculation, *Capsicum annuum* L.

Como citar: Martínez-Lara MA, Juárez-Maldonado A, de la Rosa-Rodríguez R, Lozano-Gutiérrez J, España-Luna MP, Lara Herrera A (2026) *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* y *Serendipita indica* como complemento en la nutrición del Chile. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(2): e5092. DOI: 10.19136/era.a13n2.5092.

INTRODUCCIÓN

En el año 2024, México ocupó el cuarto lugar a nivel mundial en producción de chile con 3 220 428.46 t (FAOSTAT 2026). Los estados con la mayor producción de esta hortaliza fueron Sinaloa, Chihuahua y Zacatecas con una producción de 753 783.89, 677 358.7 y 441 261.04 t, respectivamente (SIAP 2026). Durante décadas el aporte de nutrimentos a este cultivo se ha realizado mediante el uso de fertilizantes químicos, lo que ha creado serios problemas en el suelo, tales como la acidificación, la salinización, y la pérdida de microbioma (Krasilnikov *et al.* 2022), debido a su uso excesivo y/o desbalanceado. Por lo anterior es necesario buscar e implementar otras alternativas en los sistemas de producción agrícola con la finalidad de contrarrestar las alteraciones de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo por el uso irresponsable de los fertilizantes químicos.

Una de las alternativas que puede ayudar a mejorar la calidad del suelo sin disminuir el rendimiento de los cultivos es el uso de microorganismos benéficos como biofertilizantes (Chaudhary *et al.* 2022). Esto es posible ya que existen microorganismos que tienen la capacidad de promover el crecimiento y desarrollo de los cultivos por medio de distintos mecanismos (González y Fuentes 2017). La fijación de nitrógeno atmosférico es uno de los mecanismos clave que promueve el crecimiento y desarrollo de las plantas, y se da por bacterias del género *Rhizobium* asociadas con plantas de la familia de las Leguminosas (Duchen y Torres 2021), bacterias del género *Bacillus* (Rodríguez-Hernández *et al.* 2020), y de los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Clostridium*, *Gluconacetobacter*, entre otros (Timofeeva *et al.* 2023). Adicionalmente, existen otros microorganismos que tienen la capacidad de solubilizar fosfatos, entre estos se encuentran los géneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Nitrosomas*, *Pseudomonas*, *Serratia* y *Xanthomonas* (Chamorro-Anaya y Pérez-Cordero 2020, Pan y Cai 2023, Silva *et al.* 2023). Por otro lado, existen microorganismos que tienen la capacidad de solubilizar potasio de tal manera que este nutriente se encuentre más disponible para las plantas, tal es el caso de bacterias de los géneros *Agrobacterium*, *Flavobacterium* y *Bacillus* (Pérez-Pérez *et al.* 2021, El-Egami *et al.* 2024), y hongos del género *Aspergillus* (Youssef *et al.* 2023).

Se ha reportado que al inocular plantas de chile jalapeño con *Azospirillum brasilense* se incrementó el crecimiento y el número de hojas de esta hortaliza y, al co-inocular *A. brasilense* y *Rhizophagus intraradices* se incrementó el número de frutos por planta (Aguirre y Espinosa 2016). Mientras que Mejía-Bautista *et al.* (2022), mencionaron que al tratar plantas de chile habanero con *B. subtilis* se incrementó entre el 30 y 37% el número de hojas, área foliar y biomasa de las plantas tratadas con dicha bacteria, así mismo se incrementó un 57% el número de frutos con respecto a las plantas no tratadas. Con respecto a *Serendipita indica*, diversos estudios han demostrado que este microorganismo puede brindar una diversidad de beneficios para las plantas, debido a que puede incrementar la germinación de las semillas, mejorar la calidad de las plántulas, estimular el crecimiento, desarrollo y la calidad de los cultivos, además de incrementar la tolerancia a los diferentes tipos de estrés existentes (Ji-Hao *et al.* 2024, Saleem *et al.* 2022). Mientras que Rokni *et al.* (2021), encontraron que al inocular plantas de pimiento morrón (*C. annuum* L.) con una combinación de *S. indica* y *T. simmonsii* se logró incrementar el rendimiento hasta en un 67%. Considerando lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de inocular *A.*

brasiliense, *B. subtilis* y *S. indica*, así como las diversas co-inoculaciones de estos tres microorganismos, en combinación con dos niveles de fertilización, en la producción de chile guajillo y chile puya.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para lograr el objetivo se llevaron a cabo dos experimentos, uno en invernadero en el que se desarrolló un cultivo de chile guajillo híbrido con numeración PEP0002532 de la empresa AHERN® en macetas con suelo y otro en campo con chile puya nativo.

Experimento en invernadero

El experimento en invernadero fue con control activo del clima, la temperatura y la humedad relativa se mantuvieron entre 16 - 32 °C y 100 - 50% (nocturna - diurna), respectivamente; el ensayo estuvo ubicado en Cieneguillas, Zacatecas, México, en las coordenadas 22° 72' 79" LN, -102° 68' 21" LO y a 2 234 m de altitud. El experimento se estableció en macetas de 20 L con un suelo de textura franco-arcillosa (29% arcilla, 37% arena, 34% limo), 1.94% de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico de 19.07 cmol_c kg⁻¹, pH de 7.85, conductividad eléctrica de 0.52 dS m⁻¹, contenido en mg kg⁻¹ de: 16.8 de N, 6.0 de P, 640 mg kg⁻¹ de K, 2790 de Ca, 290 de Mg, 33.3 de S, 4.10 de Fe, 4.00 de Mn, 1.60 de Cu, 0.80 de Zn y 0.34 de B.

Experimento en campo

El experimento de campo se llevó a cabo en el Saladillo, Gral. Pánfilo Natera, Zacatecas, México, en las coordenadas 22° 41' 20" LN, -102° 04' 14" LO y altitud de 2 065 m. Este experimento se estableció en un suelo con textura franco-arenosa (7% de arcilla, 77% de arena, 16% limo), conductividad eléctrica de 0.37 dS m⁻¹, pH de 7.16, materia orgánica de 1.21%, capacidad de intercambio catiónico de 5.39 cmol_c kg⁻¹, contenido en mg kg⁻¹ de: 9.6 de N, 12 de P, 370 de K, 630 de Ca, 70 de Mg, 36.67 de S, 4.7 de Fe, 1.3 de Mn, 0.6 de Zn, 0.00 de Cu y 0.28 de B.

Tratamientos y diseño experimental

Ambos experimentos se establecieron bajo un arreglo factorial, con dos factores; el factor fertilización química con dos niveles (70 y 100%), y el factor microorganismos con ocho niveles (sin microorganismos, *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* + *Serendipita indica*, *S. indica*, *A. brasilense*, *B. subtilis*, *A. brasilense* + *S. indica*, *B. subtilis* + *S. indica* y *B. subtilis* + *A. brasilense*).

El experimento bajo condiciones de invernadero se condujo bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial. La unidad experimental consistió en una maceta de 20 L, en la que se desarrollaron tres plantas hasta las ocho semanas después del trasplante (SDT) y dos de ellas hasta el fin del ciclo. Dicho experimento se constituyó de 80 unidades experimentales, resultantes de los 16 tratamientos probados (Tabla 1), con 5 repeticiones por tratamiento.

El experimento realizado en campo abierto se estableció bajo un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial. La unidad experimental consistió en tres camas con plantas a doble hilera, la longitud de cada unidad experimental fue de 14 m, como parcela útil se tomó la cama

central y los 10 m centrales, haciendo mediciones en las 57 plantas ubicadas en dicha área. El experimento estuvo formado por 80 unidades experimentales, resultantes de los 16 tratamientos probados (Tabla 1), con 5 repeticiones por tratamiento.

Tabla 1. Tratamientos ensayados en los experimentos bajo condiciones de invernadero y a campo abierto.

Factor/nivel Tratamiento	Microorganismos	Fertilización (%)
1	Testigo	70
2	Ab+Bs+Si	70
3	Si	70
4	Ab	70
5	Bs	70
6	Si+Ab	70
7	Bs+Si	70
8	Bs+Ab	70
9	Testigo	100
10	Ab+Bs+Si	100
11	Si	100
12	Ab	100
13	Bs	100
14	Si+Ab	100
15	Bs+Si	100
16	Bs+Ab	100

Ab = *A. brasilense*, Bs = *B. subtilis*, Si = *S. indica*.

Desarrollo del cultivo

La plántula para ambos experimentos se desarrolló en invernadero durante 49 y 56 días después de la siembra para el experimento en invernadero y campo, respectivamente, en charolas de poliestireno con 338 cavidades de 15 mL por cavidad, con sustrato peat moss. En el experimento realizado bajo condiciones de invernadero se colocaron tres plántulas por maceta al momento del trasplante. El trasplante del experimento establecido a campo abierto se realizó considerando una distancia entre hileras y entre plantas de 0.35 m dispuestas en tresbolillo, y la distancia de centro a centro entre camas fue de 1.60 m, para obtener una densidad de 35 000 plantas ha⁻¹.

Inoculación de microorganismos

Las cepas de *A. brasilense*, *B. subtilis* y *S. indica* fueron aislamientos pertenecientes a la empresa Biogea. La concentración usada fue de 1x10⁸ UFC mL⁻¹ de *A. brasilense*, 1x10⁷ UFC mL⁻¹ de *B. subtilis*, y 10 000 esporas mL⁻¹ de *S. indica*. La concentración de cada microorganismo se diluyó 1:33. Para el experimento bajo condiciones de invernadero se aplicaron 20 mL por planta en dos ocasiones. Una inoculación se realizó al momento del trasplante y la segunda se llevó a cabo a los 15 días después del trasplante (DDT). Las aplicaciones se hicieron dirigidas a la base del tallo de las plantas con una jeringa.

En el experimento de campo, de cada suspensión original, se realizó una dilución 1:500, de la cual se aplicaron 83 mL por planta; la aplicación de la dilución se llevó a cabo a la base del tallo, en el

orificio del acolchado plástico mediante mochila aspersora, se llevaron a cabo dos aplicaciones, la primera al momento del trasplante y la segunda a los 15 DDT.

Riego y fertilización

En ambos experimentos se utilizó un sistema de fertirriego. Los riegos fueron aplicados con base en la humedad del suelo que indicaron los sensores de bloques de yeso de la marca Watermark® que fueron establecidos en el suelo de ambos experimentos. Los riegos se aplicaron cuando la tensión llegó a -30 kPa, con el objetivo de mantener la humedad entre -15 y -30 kPa. Las dosis de fertilización, en kg ha⁻¹, en base a los análisis de suelo y de agua, además del requerimiento del cultivo, para ambos experimentos, consistieron en: 180-100-150-60-30-40, de N-P₂O₅-K₂O-CaO-MgO-S, respectivamente, esto para la fertilización al 100% y, para la fertilización al 70% 126-70-105-42-21-28, de N-P₂O₅-K₂O-CaO-MgO-S. El aporte de los micronutrientes, en ambas formulaciones, se hizo mediante el uso de una mezcla de micronutrientes quelatados con ácido etilendiaminotetracético (EDTA) que contenía: Fe-EDTA 7.5%, Mn-EDTA 3.5%, Zn-EDTA 0.7%, B 0.65%, Cu-EDTA 0.28% y Mo 0.26%, de la marca Tradecorp®. Los fertilizantes fueron solubles, se aplicaron durante el ciclo de desarrollo del cultivo en el sistema de riego por goteo.

VARIABLES DE ESTUDIO

A las ocho semanas después del trasplante (SDT), las variables que se midieron fueron: altura de planta (AP), área foliar (AF) mediante un integrador digital del área foliar con el programa Matlab y mediante el contraste de la imagen, número de frutos (NF) y peso de frutos (PF), peso seco de hojas (PSH), peso seco de tallo (PST) y, en la cosecha se obtuvo el número y peso seco (12% de humedad) de frutos cosechados (PSF), separados por calidad; para el pesaje de los frutos se utilizó una báscula marca AND®, modelo EK-200i, la clasificación de los frutos se hizo de acuerdo con la norma NMX-FF-107/1-SCEI-2014. Las categorías en las que se dividieron los frutos fueron extra, primera y segunda (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de frutos de Chile de los tipos "Guajillo" y "Puya" de acuerdo con la norma NMX-FF-107/1-SCEI-2014

Tipo de Chile	Categoría	Longitud (cm)	Color
Guajillo	Extra	> 14	Uniforme; rojo intenso u oscuro sin decoloraciones.
	Primera	> 10	Ligera variación en la intensidad del color, sin decoloraciones.
	Segunda	< 10	Variación en la intensidad del color incluyendo decoloraciones dentro de los límites de los requisitos mínimos.
Puya	Extra	> 10	Uniforme; rojo intenso u oscuro sin decoloraciones.
	Primera	> 8	Ligera variación en la intensidad del color, sin decoloraciones.
	Segunda	< 8	Variación en la intensidad del color incluyendo decoloraciones dentro de los límites de los requisitos mínimos.

Análisis estadísticos

A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza y una prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($p < 0.05$) del comportamiento de cada variable en cada uno de los factores ensayados, así como la interacción entre los factores. Los análisis se llevaron a cabo con el programa estadístico INFOSTAT versión 2020 (Di-Rienzo *et al.* 2020).

RESULTADOS

Variables medidas a las 8 SDT en el experimento de invernadero

En el experimento realizado bajo condiciones de invernadero, la AP, AF, PSH y PSP, no presentaron diferencias entre los niveles del factor microorganismo, tampoco entre los niveles de fertilización (70 y 100%), a excepción de AF (Tabla 3).

Tabla 3. Variables agronómicas evaluadas en las plantas de Chile (*Capsicum annum* L.) en el experimento bajo condiciones de invernadero a las 8 SDT.

Factor/Nivel Fertilización	AF (cm ² planta ⁻¹)	AP (cm)	PSH (g planta ⁻¹)	PSP (g planta ⁻¹)
Microorganismos				
Testigo	806.67 ^{at} ± 63.46	44.10 ^a ± 2.03	5.01 ^a ± 0.30	3.48 ^a ± 0.26
Ab+Bs+Si	924.79 ^a ± 70.19	41.60 ^a ± 2.18	5.13 ^a ± 0.48	3.43 ^a ± 0.53
Si	716.06 ^a ± 71.78	40.80 ^a ± 1.72	4.54 ^a ± 0.35	3.03 ^a ± 0.30
Ab	802.26 ^a ± 99.84	42.90 ^a ± 3.88	5.26 ^a ± 0.44	3.84 ^a ± 0.39
Bs	836.24 ^a ± 56.63	45.60 ^a ± 2.77	5.94 ^a ± 0.41	4.10 ^a ± 0.37
Si+Ab	791.85 ^a ± 68.88	43.10 ^a ± 3.45	5.20 ^a ± 0.49	3.66 ^a ± 0.28
Si+Bs	713.92 ^a ± 95.08	40.40 ^a ± 2.74	4.52 ^a ± 0.63	3.08 ^a ± 0.52
Bs+Ab	753.79 ^a ± 73.62	42.80 ^a ± 1.54	5.12 ^a ± 0.52	3.44 ^a ± 0.37
DMS	213.64	5.11	1.38	1.15
Fertilización				
70%	731.18 ^b ± 32.60	42.30 ^a ± 1.03	4.98 ^a ± 0.20	3.40 ^a ± 0.17
100%	855.22 ^a ± 40.44	43.03 ^a ± 1.60	5.19 ^a ± 0.26	3.62 ^a ± 0.21
DMS	106.82	2.55	0.69	0.57
CV	30.11	13.39	30.31	36.75

Ab = *A. brasilense*, Bs = *B. subtilis*, Si = *S. indica*. AF = área foliar, NF = número de frutos, PF = peso de frutos, PSH = peso seco de hojas y PSP = peso seco de planta. N = 5 ± EE., DMS = diferencia mínima significativa. CV = coeficiente de variación. [†] Cifras seguidas con la misma letra en cada columna son iguales (Fisher LSD, p < 0.05).

No se presentaron diferencias estadísticas (p < 0.05) por efecto de la interacción entre los factores ensayados (microorganismo X fertilización) (Tabla 4).

Rendimiento del cultivo en el experimento bajo condiciones de invernadero

En el experimento realizado bajo condiciones de invernadero, en cuanto a las variables de calidad de fruto, en sus diferentes categorías (Extra, Primera y Segunda) y al rendimiento total del cultivo, no se presentaron diferencias estadísticas (p < 0.05) por efecto de los niveles del factor microorganismos (Tabla 5).

Con relación al factor fertilización, se presentaron diferencias (p < 0.05) en los frutos de calidad primera, así como también en el rendimiento total, siendo las plantas fertilizadas al 100% las que presentaron los mayores rendimientos (Tabla 5). En cuanto a las interacciones entre los factores ensayados, no se presentaron diferencias significativas en ninguna de las calidades de los frutos, así como tampoco en el rendimiento total (Tabla 6).

Tabla 4. Área foliar (AF), Altura de planta (AP), peso seco de hojas (PSH) y peso seco de la planta (PSP) de Chile (*Capsicum annuum* L.) por efecto de la interacción entre los factores (microorganismo y fertilización) en el experimento de campo abierto.

Microorganismos X fertilización	AF (cm ² planta ⁻¹)	AP (cm)	PSH (g planta ⁻¹)	PSP (g planta ⁻¹)
Fertilización 70%				
Testigo	706.73 ^{at} ± 51.85	42.40 ^a ± 0.75	4.92 ^a ± 0.40	3.13 ^a ± 0.28
Ab+Bs+Si	844.81 ^a ± 69.59	41.00 ^a ± 2.30	5.17 ^a ± 0.52	3.26 ^a ± 0.71
Si	615.16 ^a ± 76.63	40.80 ^a ± 1.36	4.29 ^a ± 0.29	2.86 ^a ± 0.33
Ab	633.06 ^a ± 144.98	41.40 ^a ± 2.54	4.74 ^a ± 0.32	3.52 ^a ± 0.43
Bs	769.43 ^a ± 65.06	46.80 ^a ± 3.12	6.09 ^a ± 0.73	4.13 ^a ± 0.61
Si+Ab	765.07 ^a ± 111.79	41.40 ^a ± 1.03	4.78 ^a ± 0.66	3.37 ^a ± 0.30
Si+Bs	785.75 ^a ± 83.91	42.60 ^a ± 2.73	5.05 ^a ± 0.57	3.59 ^a ± 0.61
Bs+Ab	729.42 ^a ± 118.87	42.00 ^a ± 2.86	4.82 ^a ± 0.79	3.31 ^a ± 0.64
Fertilización 100%				
Testigo	906.60 ^a ± 102.18	45.80 ^a ± 1.11	5.09 ^a ± 0.50	3.84 ^a ± 0.41
Ab+Bs+Si	1004.78 ^a ± 118.87	42.20 ^a ± 3.93	5.09 ^a ± 0.89	3.59 ^a ± 0.87
Si	816.64 ^a ± 110.57	40.80 ^a ± 2.52	4.79 ^a ± 0.67	3.19 ^a ± 0.52
Ab	971.46 ^a ± 97.60	44.40 ^a ± 2.23	5.78 ^a ± 0.79	4.15 ^a ± 0.68
Bs	903.05 ^a ± 89.25	44.40 ^a ± 2.20	5.79 ^a ± 0.45	4.07 ^a ± 0.50
Si+Ab	818.64 ^a ± 92.17	44.80 ^a ± 2.27	5.62 ^a ± 0.75	3.95 ^a ± 0.47
Si+Bs	642.10 ^a ± 176.24	38.20 ^a ± 4.14	3.98 ^a ± 1.14	2.58 ^a ± 0.84
Bs+Ab	778.16 ^a ± 99.82	43.60 ^a ± 2.52	5.41 ^a ± 0.75	3.56 ^a ± 0.45
DMS	302.13	7.22	1.95	1.63
CV	30.11	13.39	30.31	36.75

Ab = *A. brasilense*, Bs = *B. subtilis*, Si = *S. indica*. N = 5 ± EE., DMS = diferencia mínima significativa, CV = coeficiente de variación. † Cifras seguidas con la misma letra en cada columna y para cada factor son iguales (Fisher LSD, p < 0.05).

Tabla 5. Rendimiento del cultivo de Chile en las categorías Extra, Primera, Segunda, y el por efecto del factor microorganismo (Ab = *A. brasilense*, Bs = *B. subtilis* y Si = *S. indica*), en las formas individuales y combinaciones) y el factor fertilización en el experimento de invernadero.

Factor/Nivel Fertilización	Extra (g maceta ⁻¹)	Primera (g maceta ⁻¹)	Segunda (g maceta ⁻¹)	Total (g maceta ⁻¹)
Microorganismos				
Testigo	38.61 ^{at} ± 7.15	164.72 ^a ± 15.91	89.62 ^a ± 12.02	292.95 ^a ± 9.63
Ab+Bs+Si	42.71 ^a ± 5.38	173.01 ^a ± 9.69	83.67 ^a ± 10.01	299.39 ^a ± 9.16
Si	33.93 ^a ± 9.90	163.14 ^a ± 10.45	96.81 ^a ± 11.45	293.87 ^a ± 9.16
Ab	29.84 ^a ± 4.97	178.15 ^a ± 6.27	82.93 ^a ± 10.20	290.91 ^a ± 11.53
Bs	26.33 ^a ± 6.30	156.82 ^a ± 12.81	98.61 ^a ± 9.46	281.75 ^a ± 11.88
Si+Ab	31.59 ^a ± 6.54	175.38 ^a ± 6.51	87.52 ^a ± 17.14	294.49 ^a ± 12.14
Si+Bs	47.97 ^a ± 7.74	165.90 ^a ± 7.09	68.08 ^a ± 6.16	281.95 ^a ± 7.70
Bs+Ab	23.40 ^a ± 4.18	172.62 ^a ± 7.24	102.12 ^a ± 10.89	298.13 ^a ± 8.20
DMS	19.37	27.36	32.76	26.34
Fertilización				
70	32.03 ^a ± 3.39	160.96 ^b ± 4.64	90.12 ^a ± 4.81	283.11 ^b ± 5.21
100	36.56 ^a ± 3.50	176.47 ^a ± 4.91	87.21 ^a ± 6.40	300.24 ^a ± 4.21
DMS	9.68	13.68	16.38	13.17
CV	63.14	18.13	41.31	10.10

N = 5 ± EE., DMS = diferencia mínima significativa, CV = coeficiente de variación. † Cifras seguidas con la misma letra en cada columna y para cada factor son iguales (Fisher LSD, p < 0.05).

Tabla 6. Rendimiento del cultivo de Chile en las categorías Extra, Primera y Segunda por efecto de la interacción entre los factores (microorganismo y fertilización) en el experimento de invernadero.

Microorganismos X fertilización	Extra (g maceta ⁻¹)	Primera (g maceta ⁻¹)	Segunda (g maceta ⁻¹)	Total (g maceta ⁻¹)
Fertilización 70%				
Testigo	33.93 ^{a†} ± 7.94	149.31 ^a ± 31.39	101.77 ^a ± 19.42	291.01 ^a ± 16.27
Ab+Bs+Si	40.95 ^a ± 9.25	158.79 ^a ± 7.74	85.81 ^a ± 12.30	285.55 ^a ± 11.89
Si	43.29 ^a ± 16.71	163.53 ^a ± 4.25	81.00 ^a ± 11.86	287.82 ^a ± 15.32
Ab	25.74 ^a ± 5.43	168.27 ^a ± 10.57	94.90 ^a ± 16.41	288.91 ^a ± 22.79
Bs	23.40 ^a ± 10.46	137.46 ^a ± 4.57	97.40 ^a ± 8.65	258.26 ^a ± 15.40
Si+Ab	25.74 ^a ± 2.34	176.96 ^a ± 6.54	71.43 ^a ± 9.34	274.13 ^a ± 10.58
Si+Bs	38.61 ^a ± 11.93	161.16 ^a ± 9.30	73.32 ^a ± 11.67	273.09 ^a ± 10.25
Bs+Ab	24.57 ^a ± 8.15	172.22 ^a ± 8.43	109.35 ^a ± 13.85	306.14 ^a ± 11.90
Fertilización 100%				
Testigo	43.29 ^a ± 12.49	180.12 ^a ± 5.94	71.47 ^a ± 10.44	294.88 ^a ± 12.30
Ab+Bs+Si	44.46 ^a ± 6.57	187.23 ^a ± 16.17	81.53 ^a ± 17.25	313.22 ^a ± 11.84
Si	24.57 ^a ± 10.85	162.74 ^a ± 21.76	112.61 ^a ± 18.01	299.92 ^a ± 11.15
Ab	33.93 ^a ± 8.56	188.02 ^a ± 4.07	70.96 ^a ± 11.26	292.91 ^a ± 8.75
Bs	29.25 ^a ± 8.06	176.17 ^a ± 23.02	99.81 ^a ± 18.08	305.23 ^a ± 11.06
Si+Ab	37.44 ^a ± 13.03	173.80 ^a ± 12.11	103.60 ^a ± 33.24	314.84 ^a ± 18.55
Si+Bs	57.33 ^a ± 9.14	170.64 ^a ± 11.34	62.83 ^a ± 4.57	290.80 ^a ± 11.05
Bs+Ab	22.23 ^a ± 3.41	173.01 ^a ± 12.82	94.88 ^a ± 17.77	290.12 ^a ± 11.34
DMS	27.39	38.70	46.33	37.26
CV	63.14	18.13	41.31	10.10

Ab = *A. brasilense*, Bs = *B. subtilis*, Si = *S. indica*. N = 5 ± EE., DMS = diferencia mínima significativa, CV = coeficiente de variación. † Cifras seguidas con la misma letra en cada columna y para cada factor son iguales (Fisher LSD, p < 0.05).

Variables medidas a las 8 SDT en el experimento a campo abierto

En el experimento realizado a campo abierto se presentaron diferencias (p < 0.05) en algunas de las variables. Con relación a los niveles del factor microorganismo en la variable de AP, no se encontraron diferencias estadísticas entre los niveles del factor microorganismo. En la variable de AF los valores más altos se obtuvieron con los niveles Si, Ab, Si+Ab y Si+Bs. Si y Si+Ab presentaron un incremento del 39 y 29%, respectivamente en comparación del testigo (Tabla 7). En NF, los mejores niveles fueron Bs, Si+Ab y Si+Bs. Si+Ab incremento en un 83% el NF en comparación del testigo. En PF los valores más altos se obtuvieron con las co-inoculaciones de Ab+Bs+Si, Bs, Si+Ab y Si+Bs. La co-inoculación de Si+Ab indujo un incremento del 135% del PF en comparación del testigo (Tabla 7). En PSH los datos más altos se presentaron con la inoculación de Si y Si+Ab. Dichos niveles indujeron incrementos del 36 y 45%, respectivamente en comparación del testigo (Tabla 7). Por otra parte, en PSP las plantas inoculadas con Si+Ab fueron las que presentaron los valores más altos, presentando un incremento del 69% con respecto al testigo (Tabla 7). En general, los valores más altos en las variables relacionadas con el crecimiento fueron con la combinación de Si+Ab (Tabla 7).

Con relación al factor fertilización se presentaron diferencias estadísticas significativas en las variables de AP, NF, AF, PSH y PSP, las plantas fertilizadas al 100% presentaron los valores más

altos (Tabla 7); los incrementos en las variables respectivas con el 100% de la fertilización fueron: 9, 38, 34, 21 y 24% en comparación de los valores correspondientes a la fertilización del 70% (Tabla 7).

Tabla 7. Variables agronómicas evaluadas en las plantas de Chile (*Capsicum annuum* L.) en el experimento de campo abierto evaluadas a las 8 SDT.

Factor/Nivel Fertilización	AF (cm ² planta ⁻¹)	NF (planta ⁻¹)	PF (g planta ⁻¹)	PSH (g planta ⁻¹)	PSP (g planta ⁻¹)
Microorganismos					
Testigo	1536.59 ^{ct} ± 122.19	10.40 ^b ± 2.03	53.31 ^{cd} ± 13.89	10.59 ^c ± 0.70	12.00 ^b ± 1.04
Ab+Bs+Si	1716.17 ^{bc} ± 183.24	11.20 ^b ± 2.18	97.02 ^{ab} ± 19.35	10.63 ^c ± 1.03	11.61 ^b ± 1.38
Si	2140.28 ^a ± 209.20	8.10 ^b ± 1.72	48.30 ^d ± 11.01	14.42 ^{ab} ± 0.84	14.58 ^b ± 1.50
Ab	1739.29 ^{abc} ± 125.94	12.20 ^b ± 3.88	69.41 ^{bcd} ± 19.56	11.74 ^{bc} ± 1.05	14.3 ^b ± 1.93
Bs	1647.49 ^{bc} ± 179.86	13.60 ^{ab} ± 2.77	86.62 ^{abcd} ± 18.99	11.93 ^{bc} ± 1.72	13.95 ^b ± 1.75
Si+Ab	1984.97 ^{ab} ± 213.03	19.10 ^a ± 3.45	125.66 ^a ± 17.76	15.34 ^a ± 1.75	20.33 ^a ± 3.18
Si+Bs	1782.95 ^{abc} ± 130.90	14.20 ^{ab} ± 2.74	93.84 ^{abc} ± 19.41	11.67 ^{bc} ± 0.65	13.28 ^b ± 1.20
Bs+Ab	1602.10 ^{bc} ± 163.09	8.20 ^b ± 1.54	51.32 ^{cd} ± 10.67	9.87 ^c ± 0.79	11.44 ^b ± 1.20
DMS	412.52	6.84	43.50	2.85	4.97
Fertilización					
70%	1509.33 ^b ± 63.41	10.18 ^b ± 1.03	70.26 ^a ± 8.00	10.87 ^b ± 0.43	12.45 ^b ± 0.95
100%	2028.13 ^a ± 87.19	14.08 ^a ± 1.60	86.11 ^a ± 9.77	13.17 ^a ± 0.72	15.43 ^a ± 0.89
DMS	206.26	3.42	21.75	1.42	2.48
CV	26.07	63.12	62.20	26.55	39.88

Ab = *A. brasilense*, Bs = *B. subtilis*, Si = *S. indica*. AF = área foliar, NF = número de frutos, PF = peso de frutos, PSH = peso seco de hojas y PSP = peso seco de planta. N = 5 ± EE., DMS = diferencia mínima significativa. CV = coeficiente de variación. † Cifras seguidas con la misma letra en cada columna son iguales (Fisher LSD, p < 0.05).

En cuanto a las interacciones entre los factores (microorganismos X fertilización) en AP los valores más alto se obtuvieron con la interacción de los niveles del factor microorganismo combinados con la fertilización del 100% a excepción de los niveles correspondientes a Ab+Bs+Si y Si+Bs, mientras que los valores más bajos se presentaron con la interacción de los niveles Ab, Bs, Si+Ab y Bs+Ab combinados con la fertilización al 70%. Las mejores interacciones indujeron, en promedio, un incremento del 20.6% de la AP en comparación de las interacciones con los valores más bajos (Tabla 8). En NF, los datos más altos se presentaron con las interacciones de Si+Bs+70% de fertilización y de las interacciones generadas por la combinación de los niveles Ab, Bs y Si+Ab con la fertilización al 100%. En comparación del testigo en ambas fertilizaciones (70 y 100%), la interacción de Si+Bs+70% de fertilización y las combinaciones de Ab, Bs y Si+Ab con la fertilización al 100%, provocaron, en promedio, un aumento del 92% en el NF (Tabla 8). En PF las interacciones que mostraron los valores más altos fueron las resultantes de la combinación de Si+Bs+70% de fertilización y de las interacciones generadas por la combinación de los niveles Ab+Bs+Si, Bs y Si+Ab con la fertilización al 100%. Dichas interacciones indujeron, en promedio, un incremento del 140% en comparación del testigo en ambas fertilizaciones (70 y 100%) (Tabla 8). En PSH, los mejores resultados se obtuvieron con la interacción resultante de la combinación de Si+Ab con la fertilización al 100%, dado que esta interacción fue estadísticamente diferente a las demás interacciones. Si+Ab con la fertilización al 100% provocó un incremento del 89 y 77% en comparación del testigo con la fertilización al 70 y 100%, respectivamente (Tabla 8).

Tabla 8. Altura de planta (AP), número de frutos (NF), peso de frutos (PF) y peso seco de hojas (PSH) de Chile (*Capsicum annuum* L.) por efecto de la interacción entre los factores (microorganismo y fertilización) en el experimento de campo abierto.

Microorganismos X fertilización	AP (cm)	NF (planta ⁻¹)	PF (g planta ⁻¹)	PSH (g planta ⁻¹)
Fertilización 70%				
Testigo	41.20 ^{abcdef} ± 1.07	8.40 ^{de} ± 1.75	44.37 ^{de} ± 8.03	10.24 ^{def} ± 0.87
Ab+B _s +S _i	41.00 ^{abcde} ± 2.49	9.20 ^{cde} ± 3.53	93.78 ^{bcd} ± 34.12	10.88 ^{cdef} ± 1.59
S _i	41.40 ^{abcde} ± 1.17	6.20 ^e ± 2.18	34.62 ^e ± 14.81	13.65 ^{bcd} ± 1.14
Ab	40.80 ^{bcde} ± 2.06	6.80 ^e ± 0.80	44.75 ^{de} ± 6.96	10.19 ^{def} ± 0.61
B _s	39.80 ^{cde} ± 0.37	8.40 ^{de} ± 1.60	52.90 ^{de} ± 15.58	9.25 ^{ef} ± 1.00
S _i +Ab	39.80 ^{cde} ± 1.39	13.80 ^{bcde} ± 0.97	94.44 ^{bcd} ± 11.2	11.32 ^{bcdef} ± 1.39
S _i +B _s	42.80 ^{abcd} ± 1.24	19.20 ^{ab} ± 4.31	134.44 ^{ab} ± 27.07	12.23 ^{bcdef} ± 1.14
B _s +Ab	37.80 ^{de} ± 1.59	9.40 ^{cde} ± 2.84	62.78 ^{cde} ± 18.41	9.19 ^f ± 1.11
Fertilización 100%				
Testigo	48.20 ^a ± 0.73	12.40 ^{bcde} ± 3.68	62.26 ^{cde} ± 27.64	10.93 ^{cdef} ± 1.17
Ab+B _s +S _i	34.40 ^e ± 7.78	13.20 ^{bcde} ± 2.63	100.26 ^{abcd} ± 22.71	10.37 ^{def} ± 1.48
S _i	47.40 ^{ab} ± 0.93	10.00 ^{bcde} ± 2.59	61.97 ^{cde} ± 15.26	15.19 ^b ± 1.27
Ab	46.00 ^{abc} ± 2.59	17.60 ^{abcd} ± 7.25	94.07 ^{bcd} ± 37.01	13.28 ^{bcde} ± 1.85
B _s	46.80 ^{abc} ± 2.42	18.80 ^{abc} ± 4.31	120.34 ^{abc} ± 28.48	14.61 ^{bc} ± 2.96
S _i +Ab	48.00 ^{ab} ± 0.84	24.40 ^a ± 6.20	156.87 ^a ± 28.4	19.36 ^a ± 1.94
S _i +B _s	40.00 ^{cde} ± 1.67	9.20 ^{cde} ± 1.66	53.23 ^{de} ± 11.8	11.10 ^{cdef} ± 0.65
B _s +Ab	43.80 ^{abcd} ± 2.58	7.00 ^e ± 1.38	39.86 ^{de} ± 10.39	10.55 ^{def} ± 1.17
DMS	7.35	9.68	61.51	4.03
CV	13.69	63.12	62.2	26.55

Ab = *A. brasilense*, B_s = *B. subtilis*, S_i = *S. indica*. N = 5 ± EE., DMS = diferencia mínima significativa, CV = coeficiente de variación. † Cifras seguidas con la misma letra en cada columna y para cada factor son iguales (Fisher LSD, p < 0.05).

Rendimiento del cultivo en el experimento a campo abierto

En el experimento realizado a campo abierto, en la variable de calidad de fruto se presentaron diferencias estadísticas (p < 0.05); con relación a los niveles del factor microorganismo, en la calidad extra, el nivel que presentó el valor más alto fue con la combinación de *S. indica* + *A. brasilense*; fue diferente estadísticamente respecto a la mayoría de los demás niveles, el valor más bajo en el rendimiento de dicha categoría lo obtuvo el nivel donde las plantas no fueron tratadas con ningún microorganismo (Testigo), el incremento en esta categoría de frutos fue de 28% en comparación del testigo (Tabla 9). En la categoría primera, no se presentaron diferencias estadísticas por efecto de los niveles del factor microorganismo (Tabla 9). En la calidad segunda, el nivel que presentó el valor más alto fue el testigo y fue diferente estadísticamente (p < 0.05) con la mayoría de los niveles ensayados (Tabla 9). El mayor rendimiento total se obtuvo donde las plantas fueron inoculadas con la combinación de *S. indica* + *A. brasilense*, en comparación del testigo se obtuvo un incremento del 13% (Tabla 9).

En cuanto al factor fertilización, sólo se presentaron diferencias (p < 0.05) en las calidades primera y segunda, siendo las plantas fertilizadas al 70% las que presentaron los rendimientos más altos. En el rendimiento total no se presentaron diferencias estadísticas (p < 0.05) (Tabla 9).

En la interacción entre ambos factores (microorganismos X fertilización), el mayor rendimiento de frutos de calidad extra se obtuvo cuando se utilizó Si+Ab (en ambas fertilizaciones). La combinación de Si+Ab con la fertilización indujo un incremento del 49% del rendimiento de frutos de calidad extra en comparación del testigo con una fertilización al 100%. Con relación a los frutos

de calidad segunda, estos fueron mayores cuando se combinó el testigo y la fertilización de 70%, con respecto a la fertilización del 100% el incremento fue del 92% (Tabla 10). En el rendimiento total, en la fertilización al 70%, el tratamiento testigo no fue diferente al tratamiento Si+Ab, sin embargo, en la fertilización al 100%, el tratamiento Si+Ab fue diferente al testigo, presentando un incremento del 36.4% (Tabla 10).

Tabla 9. Rendimiento del cultivo de Chile en las categorías Extra, Primera, Segunda, y del total por efecto del factor microorganismo (Ab = *A. brasilense*, Bs = *B. subtilis* y Si = *S. indica*), en las formas individuales y sus combinaciones) y el factor fertilización en el experimento de campo abierto.

Factor/Nivel Fertilización	Extra (g parcela ⁻¹)	Primera (g parcela ⁻¹)	Segunda (g parcela ⁻¹)	Total (g parcela ⁻¹)
Microorganismos				
Testigo	2618.30 ^{bt} ± 150.48	505.20 ^a ± 58.59	532.40 ^a ± 73.00	3655.90 ^b ± 211.44
Ab+B _s +Si	2647.20 ^b ± 156.60	438.10 ^a ± 60.64	434.10 ^{ab} ± 81.20	3519.40 ^b ± 234.71
Si	2636.70 ^b ± 144.81	340.60 ^a ± 45.27	264.30 ^c ± 24.23	3241.60 ^b ± 167.46
Ab	2855.90 ^b ± 142.11	304.50 ^a ± 28.59	302.60 ^c ± 20.93	3463.00 ^b ± 140.62
B _s	2818.30 ^b ± 191.99	381.00 ^a ± 35.21	257.20 ^c ± 17.34	3456.50 ^b ± 225.28
Si+Ab	3352.30 ^a ± 78.32	417.80 ^a ± 42.37	366.80 ^{bc} ± 43.74	4136.90 ^a ± 114.04
Si+B _s	2971.50 ^{ab} ± 172.49	421.00 ^a ± 52.74	272.30 ^c ± 29.92	3664.80 ^b ± 185.36
B _s +Ab	2687.50 ^b ± 121.28	370.80 ^a ± 45.79	281.80 ^c ± 22.61	3340.10 ^b ± 113.41
DMS	397.70	127.10	117.30	463.14
Fertilización				
70	2830.05 ^a ± 72.33	432.28 ^a ± 24.72	368.75 ^a ± 32.52	3631.08 ^a ± 94.37
100	2816.88 ^a ± 87.46	362.48 ^b ± 22.99	309.13 ^b ± 17.08	3488.48 ^a ± 95.47
DMS	198.85	63.55	58.65	231.57
CV	15.75	35.76	38.69	14.54

N = 5 ± EE., DMS = diferencia mínima significativa, CV = coeficiente de variación. † Cifras seguidas con la misma letra en cada columna y para cada factor son iguales (Fisher LSD, p < 0.05).

Tabla 10. Rendimiento de frutos de Chile en las categorías Extra, Primera, Segunda, y del total por efecto de la interacción de ambos factores (microorganismos y fertilización) en el experimento de campo abierto.

Microorganismos x fertilización	Extra (g parcela ⁻¹)	Primera (g parcela ⁻¹)	Segunda (g parcela ⁻¹)	Total (g parcela ⁻¹)
Fertilización 70%				
Testigo	2947.20 ^{abcde†} ± 126.22	565.80 ^a ± 67.60	699.60 ^a ± 93.05	4212.60 ^a ± 113.97
Ab+B _s +Si	2871.80 ^{abcde} ± 128.14	439.80 ^a ± 106.21	496.20 ^b ± 154.51	3807.80 ^{abc} ± 313.41
Si	2727.20 ^{bcdef} ± 150.62	410.80 ^a ± 69.95	277.00 ^{cd} ± 43.74	3415.00 ^{bcd} ± 190.42
Ab	2700.20 ^{cdef} ± 205.00	350.80 ^a ± 22.00	325.00 ^{cd} ± 34.62	3376.00 ^{cd} ± 225.61
B _s	2472.20 ^{def} ± 245.31	357.40 ^a ± 32.56	220.00 ^d ± 14.36	3049.60 ^d ± 273.24
Si+Ab	3288.40 ^{ab} ± 104.58	411.20 ^a ± 57.56	347.60 ^{bcd} ± 35.42	4047.20 ^{ab} ± 179.17
Si+B _s	2979.60 ^{abcde} ± 286.36	505.40 ^a ± 78.52	315.60 ^{cd} ± 40.80	3529.00 ^{abc} ± 286.28
B _s +Ab	2653.80 ^{cdef} ± 221.85	417.00 ^a ± 82.23	269.00 ^{cd} ± 29.84	3339.80 ^{cd} ± 176.35
Fertilización 100%				
Testigo	2289.40 ^f ± 178.54	444.60 ^a ± 95.36	365.20 ^{bcd} ± 36.68	3099.20 ^d ± 182.32
Ab+B _s +Si	2422.60 ^{ef} ± 262.13	436.40 ^a ± 70.27	372.00 ^{bcd} ± 62.18	3231.00 ^{cd} ± 328.75
Si	2546.20 ^{def} ± 259.96	270.40 ^a ± 43.20	251.60 ^{cd} ± 25.44	3068.00 ^d ± 273.67
Ab	3011.60 ^{abcd} ± 191.66	258.20 ^a ± 46.07	280.20 ^{cd} ± 22.85	3550.00 ^{bcd} ± 185.19
B _s	3164.40 ^{abc} ± 211.99	404.60 ^a ± 65.12	294.40 ^{cd} ± 21.35	3863.40 ^{abc} ± 266.33
Si+Ab	3416.20 ^a ± 120.94	424.40 ^a ± 68.87	386.00 ^{bc} ± 84.67	4226.60 ^a ± 149.66
Si+B _s	2963.40 ^{abcde} ± 227.72	336.60 ^a ± 52.83	229.00 ^{cd} ± 37.76	3529.00 ^{bcd} ± 251.88
B _s +A0b	2721.20 ^{cdef} ± 128.08	324.60 ^a ± 40.08	294.60 ^{cd} ± 36.45	3340.40 ^{cd} ± 163.64
DMS	562.45	179.75	165.88	654.98
CV	15.75	35.76	38.69	14.54

Ab = *A. brasilense*, Bs = *B. subtilis*, Si = *S. indica*. N = 5 ± EE., DMS = diferencia mínima significativa, coeficiente de variación. † Cifras seguidas con la misma letra en cada columna y para cada factor son iguales (Fisher LSD, p < 0.05).

DISCUSIÓN

Experimento bajo invernadero

Debido al control de los factores que determinan el desarrollo del cultivo, en este experimento no se presentaron diferencias estadísticas por efecto de los niveles del factor microorganismos ni por la interacción entre los factores ensayados (microorganismos y fertilización) en ninguna de las variables medidas (Tablas 3, 4, 5 y 6). Dichos resultados están influenciados por la poca o nula interacción que hubo entre los microorganismos y las plantas de Chile guajillo. La interacción de los microorganismos con las plantas suele ser afectada por factores como la especie vegetal (Zeng *et al.* 2025), el pH del suelo, la disponibilidad de recursos como nutrientes, oxígeno, y agua (Santoyo 2022), etapa fenológica en la que se encuentre la planta (Adigoun *et al.* 2026) y el tipo e intensidad del estrés que este afectando a la especie vegetal (Muhammad *et al.* 2024). En el experimento bajo condiciones de invernadero se trabajó con un suelo que en general presentaba buenas condiciones para su uso, ya que presentaba un buen porcentaje de materia orgánica, una adecuada capacidad de intercambio catiónico, además de un buen contenido de la mayoría de los nutrientes esenciales para las plantas. Por otro lado, las plantas de dicho experimento no estuvieron bajo ninguna condición estresante, debido a que el aporte de nutrientes y agua fue realizado de manera muy controlada, favoreciendo su disponibilidad, además de que el manejo del pH de la solución nutritiva fue muy riguroso, mejorando aún más la disponibilidad de los nutrientes; factor muy importante en la disponibilidad de macro y micronutrientes, ya que un desbalance en el pH puede afectar sustancialmente la disponibilidad de los elementos esenciales para las plantas (Kudirka *et al.* 2023). Para que exista una interacción entre plantas y microorganismos es necesario que se presenten las condiciones adecuadas, ya que es la planta quien determina si se lleva a cabo o no dicha interacción (Pantigoso *et al.* 2022). Las plantas a través de la exudación de diversos compuestos por parte de la raíz modulan las interacciones entre las plantas y los microorganismos, debido a que los exudados radiculares actúan como señales químicas que reclutan y estructuran a las comunidades microbianas (Martins *et al.* 2026). Las plantas responden ante los factores estresantes de diferentes maneras y una de ellas es mediante la exudación de compuestos, sin embargo, cuando una planta está siendo cultivada bajo las condiciones más adecuadas tiende a reasignar el carbono hacia la producción de biomasa, en lugar de gastar su energía en la generación de interacciones con microorganismos (Balyan y Pandey 2024). Los resultados de este experimento tienen relación con lo reportado por del Barrio-Duque *et al.* (2019), debido a que encontraron que al realizar aislamientos de cepas de bacterias en raíces de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y papa (*Solanum tuberosum* L.), algunas especies de bacterias únicamente se encontraban en alguna de esas especies vegetales, atribuyeron que la efectividad por parte de los microorganismos, como biofertilizantes, en las plantas, depende del tipo de planta a la cual se le inocule el microorganismo específico. Los resultados de este ensayo son consistentes con lo reportado por Bernados *et al.* (2024), ya que dichos autores inocularon a plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con diferentes tipos de hongos micorrízicos arbusculares pertenecientes a los géneros *Glomus*, *Gigaspora*, *Entrophospora* y *Acualospora* y bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (*Azospirillum* spp.) y tampoco encontraron diferencias ($p < 0.05$) en las variables relacionadas con el crecimiento del cultivo.

Por otro lado, los resultados de este estudio son similares a los reportados por Gamboa-Angulo *et al.* (2020), ya que tampoco encontraron diferencias en el rendimiento y la calidad comercial en Chile Xcat'ik al co-inocular con la combinación de *B. subtilis* y *Trichoderma harzianum*. Por otra parte, con relación al efecto por el factor fertilización, las plantas fertilizadas con un aporte del 100% de las necesidades nutrimentales presentaron un rendimiento mayor (Tabla 5), lo cual se debe a que hubo una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas que se encontraban bajo dicha condición.

Experimento a campo abierto

La explicación de los resultados obtenidos en las variables relacionadas en el crecimiento, la calidad y el rendimiento (Tablas 7, 8, 9 y 10) se atribuyen a los diferentes beneficios que brindan *S. indica* y *A. brasilense* a las plantas. Por un lado, *S. indica* puede mejorar la disponibilidad de zinc en plantas con baja capacidad de adquirir el zinc (Jahandideh-Mahjen *et al.* 2021); micronutriente que participa activamente en la fotosíntesis, el metabolismo secundario, la homeostasis de las especies reactivas de oxígeno (ROS), la activación enzimática, la expresión génica y la síntesis de auxinas (Hamzah *et al.* 2022, Kolesnikov *et al.* 2025) incluso, este hongo tiene la capacidad de mejorar la disponibilidad de nitrógeno (Li *et al.* 2022); principal componente de proteínas, ácidos nucleicos, fosfolípidos, clorofilas, fitohormonas y vitaminas, lo cual implica que este macronutriente este implicado en todas las etapas fenológicas de los cultivos (Wang *et al.* 2024) y fósforo (Li *et al.* 2023); componente de azúcares, ácidos nucleicos y lípidos, además este macronutriente participa en la síntesis de carbohidratos, la activación enzimática, incluso está implicado en la transferencia de energía debido a que es componente fundamental del adenosin trifosfato (ATP) (Silva *et al.* 2023). Además, *S. indica* induce una mayor tolerancia a los factores estresantes como la sequía, la salinidad, los cambios bruscos de temperatura y los metales pesados (Saleem *et al.* 2022). *S. indica* mejora la tolerancia al estrés abiótico a través del aumento de la actividad de enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) (Xu *et al.* 2017), peroxidasas (PODs) (Abdelaziz *et al.* 2019) y a través del aumento de la producción de metabolitos secundarios como fenoles y flavonoides (Ghorbani *et al.* 2018), incluso, *S. indica* incrementa los contenidos de clorofilas (Li *et al.* 2020) y aminoácidos relacionados con la tolerancia al estrés como la prolina (Liang *et al.* 2024). Con respecto a *A. brasilense* produce ácido indol-3-acético (IAA), el cual es un tipo de auxina que participa en una diversidad de procesos en las plantas, tales como el desarrollo radicular (Ritter *et al.* 2025), la elongación y diferenciación celular, lo cual repercute en el crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas (Musazade *et al.* 2025) además de su capacidad para la fijación del nitrógeno atmosférico (Sun *et al.* 2025). *A. brasilense* promueve una mayor acumulación de hierro (Fe) en las plantas (Pelagio-Flores *et al.* 2025), debido a que *A. brasilense* induce genes (Cs FRO) que codifican enzimas como la oxidasa ferrico-quelato reductasa (FRO), mejorando la absorción de Fe (Marastoni *et al.* 2019). El Fe es un micronutriente de vital importancia en las plantas ya que participa en la respiración celular, fotosíntesis, asimilación de S y N, biosíntesis de aminoácidos y funge como cofactor enzimático (Li *et al.* 2023), por lo tanto, una mejora en su asimilación repercute positivamente en la productividad del cultivo.

Se esperaba que con la combinación de Ab+Bs+Si se obtuvieran los mejores resultados, sin embargo, no ocurrió. Este comportamiento está relacionado con el antagonismo entre diferentes especies de microorganismos. Del-Barrio-Duque *et al.* (2019) reportaron un efecto inhibitorio en el crecimiento de *S. indica in vitro* por parte de bacterias del género *Bacillus*, entre las cuales se encontraba *B.*

subtilis. Dichos autores atribuyeron este comportamiento a las propiedades antifúngicas que tiene *B. subtilis* sobre otras especies de microorganismos. *B. subtilis* tiene la capacidad de sintetizar enzimas que pueden degradar la pared celular de los hongos, como es el caso de las quitinasas y glucanasas, además este tipo de bacterias pueden producir compuestos volátiles inorgánicos; compuestos que contienen azufre o nitrógeno como el óxido nítrico (NO), el sulfuro de hidrógeno (H₂S) o el amoníaco (NH₃), y compuestos volátiles orgánicos como alcanos, alquenos, alquinos, alcoholes, aldehídos, ésteres, furanos, cetonas, lactonas y benzenoides, compuestos que tienen actividad antimicrobiana (Caulier *et al.* 2019).

Los resultados de este estudio son similares a los reportados por Angulo-Castro *et al.* (2021), por ejemplo, en las variables del PSH y del PSP obtuvieron resultados similares, debido a que, en su trabajo, dichos autores inocularon plantas de pimiento morrón (*C. annuum* L.) con hongos micorrízicos arbusculares (*Funneliformis* aff. *geosporum* y *Claroideoglossum* sp.) y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*Pseudomonas tolaasi* y *Bacillus pumilus*) y encontraron que al igual que en nuestros resultados, se incrementó el peso seco de las plantas. Con relación a las variables de rendimiento, el mayor peso de frutos de calidad extra obtenido con la co-inoculación de *A. brasilense* + *S. indica*, coincide con lo reportado por Aguirre y Espinosa (2016) quienes mencionan que al inocular *Rhizophagus intraradices* + *A. brasilense* a plantas de Chile jalapeño se incrementó el número de frutos por planta, así mismo, al inocular únicamente con *A. brasilense* al cultivo, se obtuvieron frutos de mayor calibre. Otro estudio que reportó resultados similares a los de este experimento es el realizado por Rokni *et al.* (2021), ya que mencionaron que al co-inocular *Trichoderma simmonsii* y *S. indica* a plantas de pimiento morrón se incrementó hasta en un 67% el rendimiento de esta hortaliza. Del mismo modo, Abdelaziz *et al.* (2019) reportaron incrementos en el rendimiento del 22% cuando se inoculó a plantas de tomate con *S. indica*.

Con relación al factor fertilización se presentaron diferencias estadísticas en las variables de AF, NF, PSH y PSP siendo las plantas fertilizadas con una fertilización completa (100%) las que presentaron los valores más altos (Tabla 7). Por otro lado, con la fertilización del 70% se obtuvieron los rendimientos más altos en la categoría segunda (menor calidad) de los frutos de Chile (Tabla 9). La razón de dicho comportamiento se debe a la menor disponibilidad de nutrientes en el suelo, por una parte, por la disminución del 30% de la fertilización química y por el bajo contenido de nutrientes en el suelo, particularmente en N, P, K, Ca, Mg, Mn y Cu; elementos clave en la productividad de las plantas (Guan *et al.* 2024). Además, factores como las propiedades del suelo, tales como la textura, el contenido de materia orgánica y el pH (Li *et al.* 2018) tuvieron efecto en los resultados obtenidos. Por lo tanto, con la fertilización al 100% se compensó en mayor medida esa deficiencia, obteniendo un mayor crecimiento de las plantas expresado en NF, AF, PSH y PSP y una mayor calidad de los frutos de Chile.

Con respecto a los resultados obtenidos de las interacciones entre los factores (microorganismos X fertilización), la interacción correspondiente a *S. indica* + *A. brasilense* en combinación con la fertilización al 100% obtuvo los valores más altos en la mayoría de las variables medidas a las 8 SDT, sin embargo, dichos microorganismos combinados con la fertilización al 70% no presentaron valores estadísticamente iguales a los obtenidos por la combinación de *S. indica* + *A. brasilense* y la fertilización al 100% (Tabla 8). Lo anterior se debe a distintos factores, por una parte, está involucrada la fertilidad del suelo, ya que los microorganismos hasta cierto nivel de limitación de

nutrientes pueden manifestar un efecto positivo en las plantas (Chauhan *et al.* 2023, Lopes *et al.* 2021).

Así mismo, la interacción de *S. indica* + *A. brasilense* + 100% de fertilización presentó los valores más altos en la calidad extra y rendimiento total. Caso contrario ocurrió con la interacción del testigo con la fertilización al 70%, ya que obtuvo los valores más altos en la calidad segunda y rendimiento total; este último junto con la interacción de *S. indica* + *A. brasilense* + 100% (Tabla 10). Sin embargo, aunque las interacciones anteriormente mencionadas hayan obtenido los valores más altos en el rendimiento total, la interacción del testigo presentó los valores más altos en la calidad segunda, pero los valores más bajos en la calidad extra (Tabla 10), lo cual, repercute negativamente en la calidad final del cultivo. En el rendimiento total, en la fertilización al 70%, el tratamiento testigo no fue diferente al tratamiento Si+Ab, pero en la fertilización al 100%, el tratamiento Si+Ab presentó un incremento del 36.4%, con respecto al testigo (Tabla 10). Estos resultados están influenciados por la condición nutrimental del suelo, ya que, en diversos estudios se ha descrito que los microorganismos presentan efectos positivos; hasta cierto nivel, en las plantas cuando existe una baja disponibilidad de nutrientes (Jacoby *et al.* 2017). Diversos estudios han reportado que el contenido de nutrientes afecta positiva o negativamente la actividad microbiológica del suelo (Chen *et al.* 2024), ya que un factor que interviene en las interacciones entre las plantas y los microorganismos es la disponibilidad de nutrientes en el medio de crecimiento del cultivo, influyendo en la actividad biológica de los microorganismos (Guan *et al.* 2022).

CONCLUSIONES

En el experimento realizado bajo condiciones de invernadero, con las plantas de Chile guajillo, no se tuvo efecto por los factores ensayados en ninguna de las variables medidas. Por otro lado, en el ensayo realizado en campo abierto, con la co-inoculación de los tres microorganismos no se tuvieron los valores más altos en las variables relacionadas con el crecimiento, la calidad y el rendimiento del cultivo. Sin embargo, con la co-inoculación de *S. indica* + *A. brasilense* se incrementó el AF, PSH, el PSP y la calidad de los frutos; el rendimiento de frutos de calidad extra fue mayor. El rendimiento de frutos de calidad extra y el total de frutos no fueron diferentes por efecto de la fertilización, pero los rendimientos de frutos de primera y segunda fueron mayores con la fertilización al 70%. Con la co-inoculación de *S. indica* + *A. brasilense* y la fertilización al 100%, se obtuvo el mayor rendimiento de frutos de calidad extra, el incremento respecto al testigo fue de 49%. Por lo anterior, en el presente trabajo se demostró que la combinación de *S. indica* + *A. brasilense* y la fertilización del 100% contribuyó positivamente en el crecimiento, la calidad y el rendimiento del cultivo de Chile puya en condiciones de campo abierto.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Abdelaziz ME, Abdelsattar M, Abdeldaym EA, Atia MA, Mahmoud AWM, Saad MM, Hirt H (2019) *Piriformospora indica* alters Na⁺/K⁺ homeostasis, antioxidant enzymes and LeNHX1 expression of greenhouse tomato grown under salt stress. *Scientia horticulturae* 256: e108532. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.059>
- Adigoun RF, Aholoukpè HN, Durand A, Tchokponhoué DA, Hotègni NVF, Achigan DEG, Benizri E (2026) Leveraging plant-bacteria interactions for sustainable production of perennial fruit crops. *Current Plant Biology* 46: e100600.
- Aguirre-Medina JF, Espinosa-Moreno JA (2016) Crecimiento y rendimiento de *Capsicum annuum* L. inoculado con endomicorriza y rizobacterias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(7): 1539-1550. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.148>
- Angulo-Castro A, Ferrera-Cerrato R, Alarcón A, Almaraz-Suárez JJ, Delgadillo-Martínez J, Jiménez-Fernández M, García-Barradas O (2021) Improved growth of bell pepper (*Capsicum annuum*) plants by inoculating arbuscular mycorrhizal fungi and beneficial rhizobacteria. *Scientia Fungorum* 51: e1299. <https://doi.org/10.33885/SF.2021.51.1299>
- Balyan G, Pandey AK (2024) Root exudates, the warrior of plant life: revolution below the ground. *South African Journal of Botany* 164: 280-287.
- Bernados LC, Espineli JP, Anarna JA, Aggangan NS (2024) Increasing Tomato Productivity through Integrated Nutrient Sources and Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and *Azospirillum* spp. *Horticulturae* 10(10): e1056. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE10101056>
- Caulier S, Nannan C, Gillis A, Licciardi F, Bragard C, Mahillon J (2019) Overview of the Antimicrobial Compounds Produced by Members of the *Bacillus subtilis* Group. *Frontiers in Microbiology* 10: e00302. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00302>
- Chamorro-Anaya LM, Pérez-Cordero A (2020) *Bacillus cereus* bacteria endófitas promotoras de crecimiento vegetal. *Revista Colombiana de Biotecnología* 22(2): 18–23. <https://doi.org/10.15446/REV.COLOMB.BIOTE.V22N2.81723>
- Chauhan P, Sharma N, Tapwal A, Kumar A, Verma GS, Meena M, Seth CS, Swapnil P (2023) Soil microbiome: Diversity, benefits and interactions with plants. *Sustainability* 15(19): e14643. <https://doi.org/10.3390/su151914643>
- Chaudhary P, Singh S, Chaudhary A, Sharma A, Kumar G (2022) Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. *Frontiers in plant science* 13: e930340. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.930340>
- Chen Q, Song Y, An Y, Lu Y, Zhong G (2024) Soil Microorganisms: Their role in enhancing crop nutrition and health. *Diversity* 16(12): e734. <https://doi.org/10.3390/D16120734>
- del Barrio-Duque A, Ley J, Samad A, Antonielli L, Sessitsch A, Compant S (2019) Beneficial endophytic bacteria-*Serendipita indica* Interaction for crop enhancement and resistance to phytopathogens. *Frontiers in Microbiology* 10: e02888. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02888>
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW InfoStat versión 2020 Centro de transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>. Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2025.
- Duchen DG, Torres JM (2021) Interacción de bacterias y plantas en la fijación del nitrógeno. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 8(2): 87–101. <https://doi.org/10.53287/UYXF4027GF99E>
- El-Egami HM, Hegab RH, Montaser H, El-Hawary MM, Hasanuzzaman M (2024) Impact of potassium-solubilizing microorganisms with potassium sources on the growth, physiology, and productivity of

- wheat crop under salt-affected soil conditions. *Agronomy* 14(3): e0423. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY14030423>
- FAOSTAT (2026) Base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y la alimentación (FAO). <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>. Fecha de consulta: 20 de enero del 2026
- Gamboa-Angulo J, Ruíz-Sánchez E, Alvarado-López C, Gutiérrez-Miceli F, Ruíz-Valdiviezo VM, Medina-Dzul K (2020) Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del Chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamericana* 38(4): 817-826. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V38I4.716>
- Ghorbani A, Razavi SM, Omran VG, Pirdashti H (2018) *Piriformospora indica* alleviates salinity by boosting redox poise and antioxidative potential of tomato. *Russian Journal of Plant Physiology* 65(6): 898-907. <https://doi.org/10.1134/S1021443718060079>
- González FH, Fuentes-Molina N (2017) Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Revista de Ciencias Agrícolas* 34(1): 17-31. <https://doi.org/10.22267/rcia.173401.60>
- Guan DX, Menezes BD, Li G (2024). The importance of mineral elements for sustainable crop production. *Agronomy* 14(1): e0209. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010209>
- Guan Z, Lin D, Chen D, Guo Y, Lu Y, Han Q, Li N, Su Y, Li J, Wang J, Ma W, Qiu Q, He Q (2022) Soil microbial communities response to different fertilization regimes in young *Catalpa bungei* plantation. *Frontiers in Microbiology* 13: e948875. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2022.948875>
- Hamzah M, Usman K, Rizwan M, Al Jabri H, Alsafran M (2022) Functions and strategies for enhancing zinc availability in plants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science* 13: e1033092. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1033092>
- Jacoby R, Peukert M, Succurro A, Koprivova A, Kopriva S (2017) The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition-Current Knowledge and Future Directions. *Frontiers in Plant Science* 8: e01617. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.01617>
- Jahandideh-Mahjen AVA, Sepehri M, Khatabi B, Rezaei M (2021) Alleviation of zinc deficiency in wheat inoculated with root endophytic fungus *Piriformospora indica* and rhizobacterium *Pseudomonas putida*. *Rhizosphere* 17: e100311. <https://doi.org/10.1016/J.RHISPH.2021.100311>
- Ji-Hao ZM, Huang C, Lin W, Lu Y, Wang P, Dong B, He B, Wu B, Guo L (2024) The impact of *Piriformospora indica* on plant heat and drought tolerance. *Frontiers in Plant Science* 15: e1479561. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2024.1479561>
- Kolesnikov Y, Kretyni S, Markhaichuk V, Filepov R, Dobrev PI, Martinec J, Kravets V (2025) The role of zinc in regulation of plant metabolism: What is known to date?. *Journal of Plant Growth Regulation* 45: 1639-1660. <https://doi.org/10.1007/s00344-025-11975-2>
- Krasilnikov P, Taboada MA, Amanullah (2022) Fertilizer use, soil health and agricultural sustainability. *Agriculture* 12(4): e0462. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040462>
- Kudirka G, Viršilė A, Sutulienė R, Laužikė K, Samuolienė G (2023) Precise management of hydroponic nutrient solution pH: The effects of minor pH changes and MES buffer molarity on lettuce physiological properties. *Horticulturae* 9(7): e0837. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE9070837>
- Liang S, Yingning ZOU, Bo SHU, Qiangsheng WU (2024) Arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic fungi differentially modulate polyamines or proline of peach in response to soil flooding. *Pedosphere* 34(2): 460-472. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2023.05.002>
- Li H, Fu S, Zhu J, Gao W, Chen L, Li X, Zhang S, Zheng S, Zhang H, Liu Y (2022) Nitric oxide generated by *Piriformospora indica*-induced nitrate reductase promotes tobacco growth by regulating root

- architecture and ammonium and nitrate transporter gene expression. *Journal of Plant Interactions* 17(1): 861-872. <https://doi.org/10.1080/17429145.2022.2108926>
- Li L, Feng Y, Qi F, Hao R (2023) Research Progress of *Piriformospora indica* in Improving Plant Growth and Stress Resistance to Plant. *Journal of Fungi* 9(10): e0965. <https://doi.org/10.3390/JOF9100965>
- Li L, Guo N, Feng Y, Duan M, Li C (2022) Effect of *Piriformospora indica*-induced systemic resistance and basal immunity against *Rhizoctonia cerealis* and *Fusarium graminearum* in wheat. *Frontiers in Plant Science* 13: e836940. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.836940>
- Li L, Xu M, Ali ME, Zhang W, Duan Y, Li D (2018) Factors affecting soil microbial biomass and functional diversity with the application of organic amendments in three contrasting cropland soils during a field experiment. *PLoS ONE* 13: e0203812. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0203812>
- Li L, Zhu P, Wang X, Zhang Z (2020) Phytoremediation effect of *Medicago sativa* colonized by *Piriformospora indica* in the phenanthrene and cadmium co-contaminated soil. *BMC biotechnology* 20(1): e0020. <https://doi.org/10.1186/s12896-020-00613-2>
- Li M, Watanabe S, Gao F, Dubos C (2023) Iron nutrition in plants: Towards a new paradigm? *Plants* 12(2): e0384. <https://doi.org/10.3390/plants12020384>
- Lopes MJ dos S, Dias-Filho MB, Gurgel ESC (2021) Successful plant growth-promoting microbes: Inoculation methods and abiotic factors. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5: e606454. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2021.606454>
- Marastoni L, Pii Y, Maver M, Valentinuzzi F, Cesco S, Mimmo T (2019) Role of *Azospirillum brasilense* in triggering different Fe chelate reductase enzymes in cucumber plants subjected to both nutrient deficiency and toxicity. *Plant Physiology and Biochemistry* 136: 118-126. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.01.013>
- Martins S, Brito C, Baltazar M, Dinis LT, Pereira S (2026). Exploring the role of root exudates in shaping plant–soil–microbe interactions to support agroecosystem resilience. *Horticulturae* 12(1): e0090. <https://doi.org/10.3390/horticulturae12010090>
- Mejía-Bautista MÁ, Cristóbal-Alejo J, Pacheco-Aguilar JR, Reyes-Ramírez A (2022) *Bacillus* spp. en el crecimiento y rendimiento de *Capsicum chinense* Jacq. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(1): 115-126. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V13I1.2664>
- Muhammad A, Kong X, Zheng S, Bai N, Li L, Khan MHU, Fiaz S and Zhang Z (2024) Exploring plant-microbe interactions in adapting to abiotic stress under climate change: a review. *Frontiers in Plant Science* 15: e1482739. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1482739>
- Musazade E, Mrisho II, Feng X (2025) Auxin metabolism and signaling: Integrating independent mechanisms and crosstalk in plant abiotic stress responses. *Plant Stress* 18: e101034. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.101034>
- Pantigoso HA, Newberger D, Vivanco JM (2022) The rhizosphere microbiome: Plant-microbial interactions for resource acquisition. *Journal of Applied Microbiology* 133: 2864-2876. <https://doi.org/10.1111/jam.15686>
- Pan L, Cai B (2023) Phosphate-solubilizing bacteria: Advances in their physiology, molecular mechanisms and microbial community effects. *Microorganisms* 11(12): e2904. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
- Pelagio-Flores R, Ravelo-Ortega G, García-Pineda E, López-Bucio J (2025). A century of *Azospirillum*: plant growth promotion and agricultural promise. *Plant Signaling & Behavior* 20(1): e2551609. <https://doi.org/10.1080/15592324.2025.2551609>
- Pérez-Pérez R, Hernández-Forte I, Sanabria-Álvarez YO, Salcedo-Benítez, JC, Sosa-del Castillo D, Pérez-Martínez S (2021) Characterization of potassium solubilizing bacteria isolated from corn rhizoplane. *Agronomía Colombiana* 39(3): 415–425. <https://doi.org/10.15446/AGRON.COLOMB.V39N3.98522>

- Ritter G, de Vargas RJ, Farinelli D, Cinosi N, Traini C, Facchin SL, Hiromi Kiahara L, da Silva DF, Portarena S, Villa F (2025) Application of *Azospirillum brasilense* and humic substances improves the nursery quality of olive seedlings in pots. *Horticulturae* 11(1): 48. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE11010048>
- Rodríguez-Hernández MG, Gallegos-Robles MÁ, Rodríguez-Sifuentes L, Fortis-Hernández M, Luna-Ortega GJ, González-Salas U (2020) Native *Bacillus* spp. Strains as sustainable alternative in the yield of corn forage. *Terra Latinoamericana* 38(2): 323-331. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V38I2.690>
- Rokni N, Shams-Alizadeh H, Bazgir E, Darvishnia M, Mirzaei-Najaofghli H (2021) The tripartite consortium of *Serendipita indica*, *Trichoderma simmonsii*, and bell pepper (*Capsicum annuum*). *Biological Control* 158: e104608. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2021.104608>
- Saleem S, Sekara A, Pokluda R (2022) *Serendipita indica* - A review from agricultural point of view. *Plants* 11(24): e3417. <https://doi.org/10.3390/PLANTS11243417>
- Santoyo G (2022) How plants recruit their microbiome? New insights into beneficial interactions. *Journal of advanced research* 40: 45-58.
- SIAP (2026) Anuario estadístico de la producción agrícola en México 2024. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 20 de enero del 2026.
- Silva LI da, Pereira MC, Carvalho AMX de, Buttrós VH, Pasqual M, Dória J (2023) Phosphorus-solubilizing microorganisms: A key to sustainable agriculture. *Agriculture* 13(2): e0462. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE13020462>
- Sun W, Shahrajabian MH, Wang N (2025) A study of the different strains of the genus *Azospirillum* spp. on increasing productivity and stress resilience in plants. *Plants* 14(2): e0267. <https://doi.org/10.3390/PLANTS14020267>
- Timofeeva AM, Galyamova MR, Sedykh SE (2023) Plant growth-promoting soil bacteria: Nitrogen fixation, phosphate solubilization, siderophore production, and other biological activities. *Plants* 12(24): e4074. <https://doi.org/10.3390/PLANTS12244074>
- Wang Q, Li S, Li J, Huang D (2024) The utilization and roles of nitrogen in plants. *Forests* 15(7): e1191. <https://doi.org/10.3390/f15071191>
- Xu L, Wang A, Wang J, Wei Q, Zhang W (2017) *Piriformospora indica* confers drought tolerance on *Zea mays* L. through enhancement of antioxidant activity and expression of drought-related genes. *The Crop Journal* 5(3): 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.10.002>
- Youssef SM, Shaaban A, Abdelkhalik A, Abd El Tawwab AR, Abd Al Halim LR, Rabee LA, Alwutayd KM, Ahmed RMM, Alwutayd R, Hemida KA (2023) Compost and phosphorus/potassium-solubilizing fungus effectively boosted quinoa's physio-biochemical traits, nutrient acquisition, soil microbial community, and yield and quality in normal and calcareous soils. *Plants* 12(17): e3071. <https://doi.org/10.3390/PLANTS12173071>
- Zeng Q, Hu HW, Ge AH, Xiong C, Zhai CC, Duan GL, Zhang LM (2025) Plant-microbiome interactions and their impacts on plant adaptation to climate change. *Journal of Integrative Plant Biology* 67(3): 826-844. <https://doi.org/10.1111/jipb.13863>