

Evaluación En El Crecimiento Y Nutrición De Las Plantas De Chícharo (*Pisumsativum*), Calabaza (*Cucurbita Pepo*) Y Girasol (*Helianthus Annuus*) Inoculadas Con BPCV

José Carlos Mendoza-Hernández¹, Maribel Castillo-Morales² Blanca Lizbeth García-Grijalva³
Isabel Muñoz-González⁴, Janette Arriola-Morales⁵ Miriam Vega-Hernández⁶,
Gabriela Pérez-Osorio⁷

Abstract

Today, one of the alternatives that exist in the agricultural sector to face the great challenges on the demands of the production of foods is the use of Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) like a sustainable biological solution and friendly with the environment. For this reason, the evaluation of the growth and nutrition of pea, squash and sunflower plants was carried out, because of the action of PGPB of the genera *Serratia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Lysinibacillus* and *Escherichia coli*, of which *Serratia*, *Enterobacter* and *Lysinibacillus*, it were shown that have the higher positive effects in elongation of stem and roots for the different tested plants, there is higher concentration of micronutrients (Mn, Fe, Zn, Ni, Cu) and macronutrients (Na, K, P). From the results obtained, it is possible to conclude that the PGPBs used in this project can be used in biotechnological processes as a feasible option for the improvement of the nutritional quality of plants with food interest production.

Palabras Clave

Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal, producción alimentaria, elongación de tallo y raíz, micronutrientes, macronutrientes.

Introducción

A fin de reducir la pobreza y hacer posible que todos tengan acceso a los alimentos, es esencial que haya un entorno propicio para que el crecimiento económico se reparta equitativamente. El sector agrícola representa uno de los mayores retos para la investigación, el mejoramiento y aumento de la producción, es una acción importante para reducir la pobreza, la desnutrición y proporcionar la economía necesaria. Uno de los mecanismos inmediatos para contrarrestar la baja fertilidad es el uso de fertilizantes químicos; sin embargo, la aplicación de dosis altas de fertilizante es poco recomendable, debido a las condiciones de escasa precipitación y a las restricciones de capital que enfrentan los productores (Sergio et al., 1998).

Para asegurar el crecimiento sano de las plantas y un rendimiento rentable, es necesario aumentar de manera sostenible la productividad agrícola, por lo que se propone el uso de soluciones biológicas sostenibles y amigables con el medio ambiente como lo son las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal también conocidas como PGPR (por sus siglas en inglés Plant Growth Promoting Rhizobacteria). Las bacterias que se colonizan en las raíces de las plantas después de la inoculación a la semilla y que mejoran el crecimiento de la planta, se llaman promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) (Ahemad & Kibret, 2014).

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, 18 Sur y Av. San Claudio

²Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, 18 Sur y Av. San Claudio

³Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, 18 Sur y Av. San Claudio

⁴Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, 18 Sur y Av. San Claudio

⁵Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, 18 Sur y Av. San Claudio

⁶Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, 18 Sur y Av. San Claudio

⁷Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, 18 Sur y Av. San Claudio

Las BPCV pueden ser de vida libre o asociativa, aerobia, anaerobia o anaerobia facultativas. Éstas se han aislado en suelos donde predomina la vegetación (Loredo-Osti, López-Reyes, & Espinosa-Victoria, 2004). Los mecanismos de efecto de las bacterias promotoras del crecimiento no son bien comprendidos, sin embargo, se ha sugerido un amplio rango de posibilidades que incluye efectos directos o indirectos.

El efecto directo consiste en un aumento en la movilización de nutrientes solubles, seguido por el mejoramiento de absorción de las plantas, la producción de antibióticos para hongos, bacterias y virus, y de fitohormonas como las auxinas, giberelinas, citocininas y etileno (Díaz V. et al., 2001). Mientras que, para efectos indirectos se incluyen el aumento de fijación de N₂ al mejorar el número de nódulos de la raíz y el aumento de la actividad nitrogenasa, los cuales inducen resistencia sistémica a la planta. La estimulación indirecta del crecimiento de las plantas también está conectada con la protección contra los efectos de los fitopatógenos. En este caso, las bacterias compiten por el espacio en la raíz contra patógenos (Loredo-Osti, López-Reyes, & Espinosa-Victoria, 2004).

En las últimas décadas, las investigaciones se han enfocado en conocer la función de las bacterias de la rizósfera o rizobacterias de diversas gramíneas como caña de azúcar, maíz, trigo, sorgo, cebada y pastos tropicales, los microorganismos más estudiados pertenecen a los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Beijerinckia*, *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Enterobacter*, las cuales han demostrado ejercer una simbiosis asociativa con la capacidad de emplear mecanismos como: la fijación biológica de nitrógeno, producción de sustancias reguladoras de crecimiento, solubilización de algunos minerales, entre otros; mecanismos llevados a cabo según la funcionalidad biológica de cada bacteria (Loredo et al., 2004).

Metodología

Cepas bacterianas

Las cepas *Serratia* K120, *Serratia* MC119, *Serratia* MC107, *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125, *Klebsiella* MC173, *Lysinibacillus* MC188 y *Escherichiacoli* N16, se aislaron de la rizósfera de jales de minas de Zimapán, Hidalgo México y fueron caracterizadas como promotoras de crecimiento vegetal (Mendoza et al., 2016).

Ensayo en macetas

Inóculo bacteriano

Las cepas bacterianas fueron crecidas en caldo Luria Bertani (LB) a 30°C, durante 48 h a 80 rpm, posteriormente se centrifugaron a 8000 rpm y se suspendieron en buffer de fosfatos 0.1M pH 7.4 para obtener una absorbancia de 0.5, que corresponde aproximadamente a 1x10⁹ UFC/mL.

Preparación de las macetas

Las semillas de plantas de chícharo (*Pisum sativum*), calabaza (*Cucurbitapepo*) y girasol (*Helianthus annuus*) fueron sembradas en macetas conteniendo 250 g de sustrato Miracle Gro® sin esterilizar. Fue usado un diseño experimental al azar, esto para evaluar el efecto del crecimiento de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV), donde el factor de tratamiento fue la inoculación bacteriana (10 tratamientos correspondientes al número de cepas utilizadas). Un tratamiento adicional correspondiente al testigo, el cual consistió en agregar sustrato sin inocular a cada unidad experimental. Cada tratamiento se realizó por triplicado. Se sembraron 3 semillas, las cuales fueron inoculadas con 25 mL de la suspensión bacteriana. Al tratamiento testigo se le agregó 25 mL de buffer de fosfatos 0.1M pH 7.4. Posteriormente se mantuvieron en invernadero durante 21 días, regándolas diariamente con 30 mL de agua destilada. Durante el experimento se midió la altura de las plantas.

Evaluación de crecimiento

Al final del ensayo, se evaluó el crecimiento del tallo y de la raíz de las plantas, mediante el software ImageTool 3.0.

Determinación de nutrientes en las plantas

Los nutrientes en las plantas fueron determinados mediante Absorción Atómica usando el método EPA 3052 (EPA, 1996).

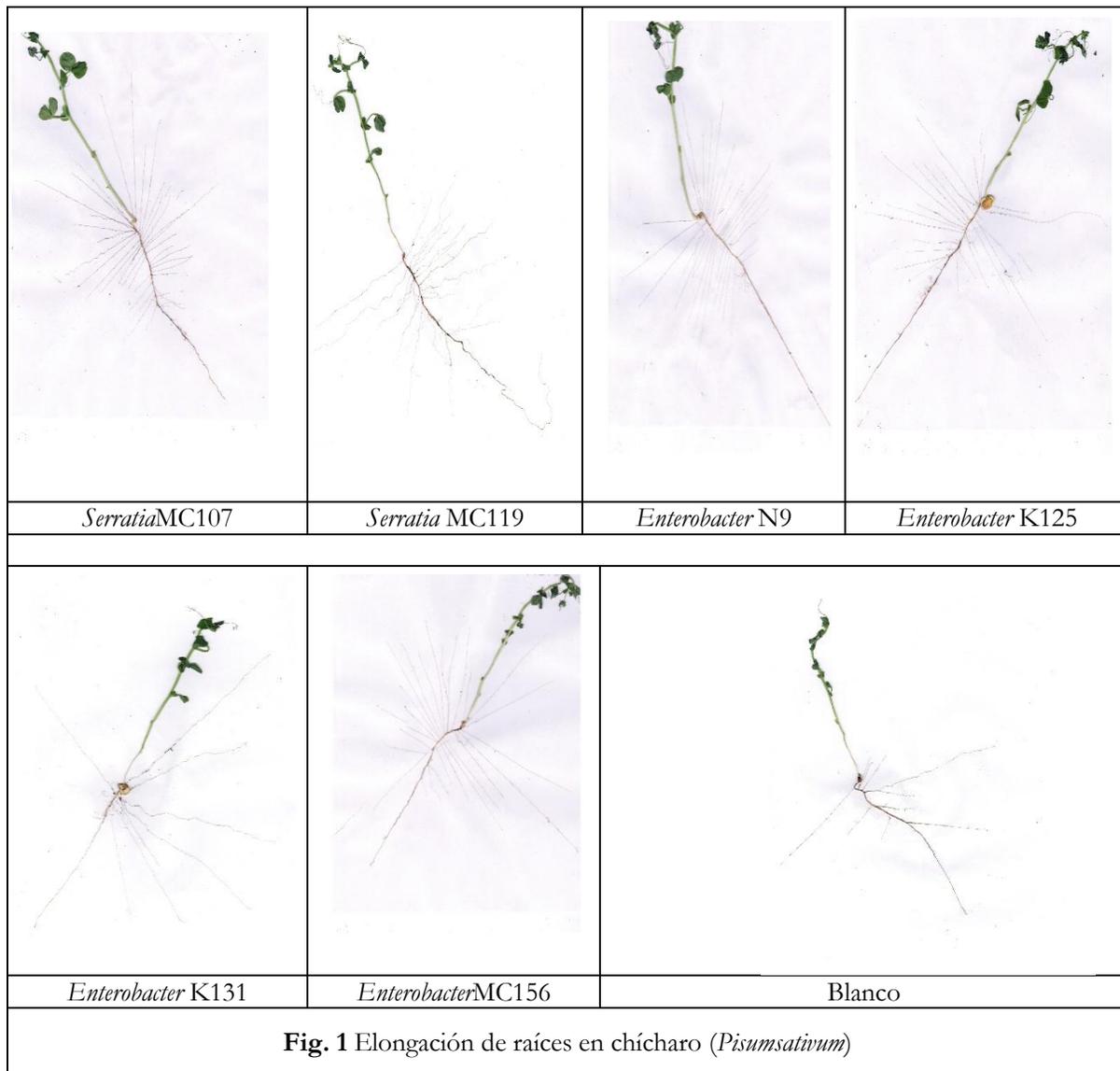
Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza a los datos obtenidos experimentalmente, para determinar las diferencias entre los tratamientos, mediante la comparación de las medias usando HSD de Tukey con un nivel de significancia del 95% ($\alpha = 0.05$). Los análisis fueron determinados mediante el software SPSS versión 15.

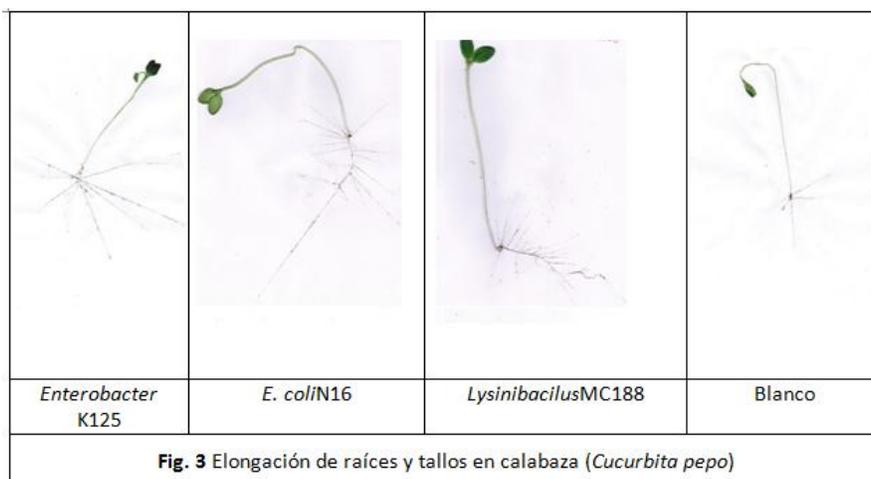
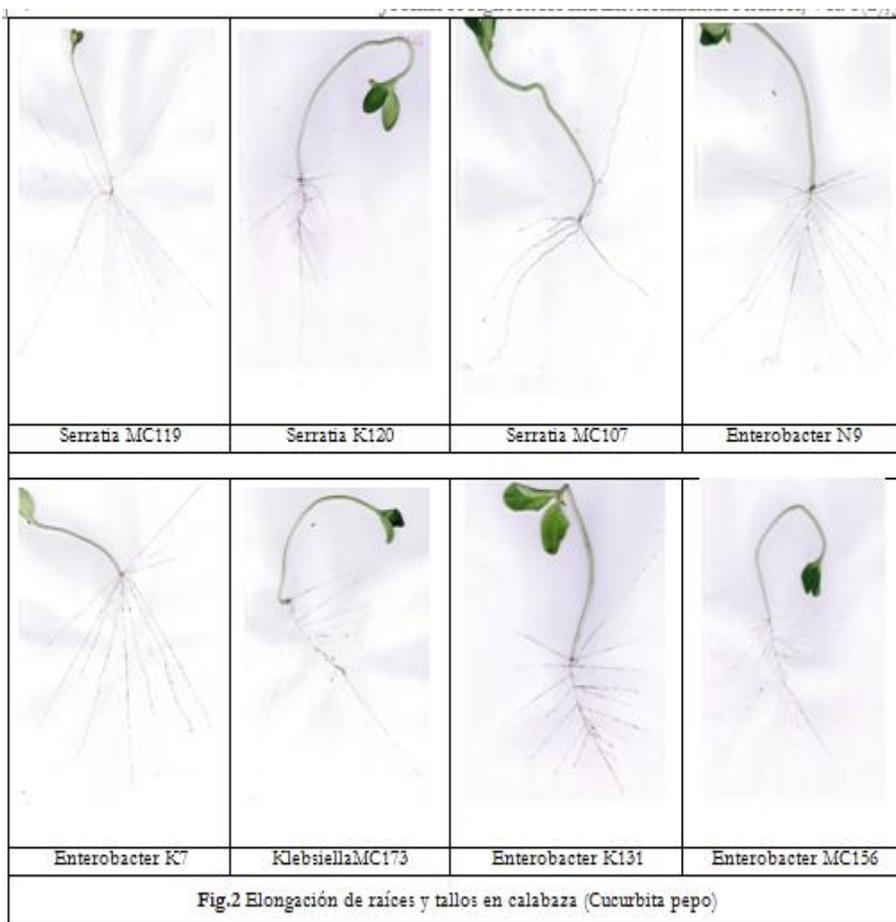
Resultados

Longitud de raíz y tallo

El análisis de la longitud de la raíz en las plantas de chícharo (*Pisumsativum*) indica que se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las plantas inoculadas con las cepas *Serratia* MC107, *Serratia* MC119 y *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K125, *Enterobacter* K131 y *Enterobacter* MC156 con respecto al testigo sin inocular, como se muestra en la Fig.1; mientras que en las longitudes de los tallos no se presentaron diferencias significativas.



En las plantas de calabaza (*Cucurbitapepo*) se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las raíces y los tallos de las plantas inoculadas con *Serratia* MC119, *Serratia* K120, *Serratia* MC107, *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K7 y *Klebsiella*MC173, *Enterobacter*K131, *Enterobacter*MC156, *Enterobacter*K125, *E.coli*N16 y *Lysinibacillus*MC188, como se muestra en las Fig. 2 y 3.



Por otra parte, en la longitud de la raíz en las plantas de girasol (*Helianthus annuus*) se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) cuando se inocularon con las cepas *Enterobacter* N9, *Serratia* K120 y *Serratia* MC107, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125, *E. coli* N16 y *Lysinibacillus* MC188 con respecto al testigo sin inocular (Fig. 4); sin embargo, por lo que respecta a la longitud del tallo sólo presentó diferencias estadísticamente significativas la cepa bacteriana *Enterobacter* K125, mientras que las cepas restantes mostraron valores ligeramente elevados en comparación con el testigo, pero sin diferencias significativas como se muestra en la Fig. 5.

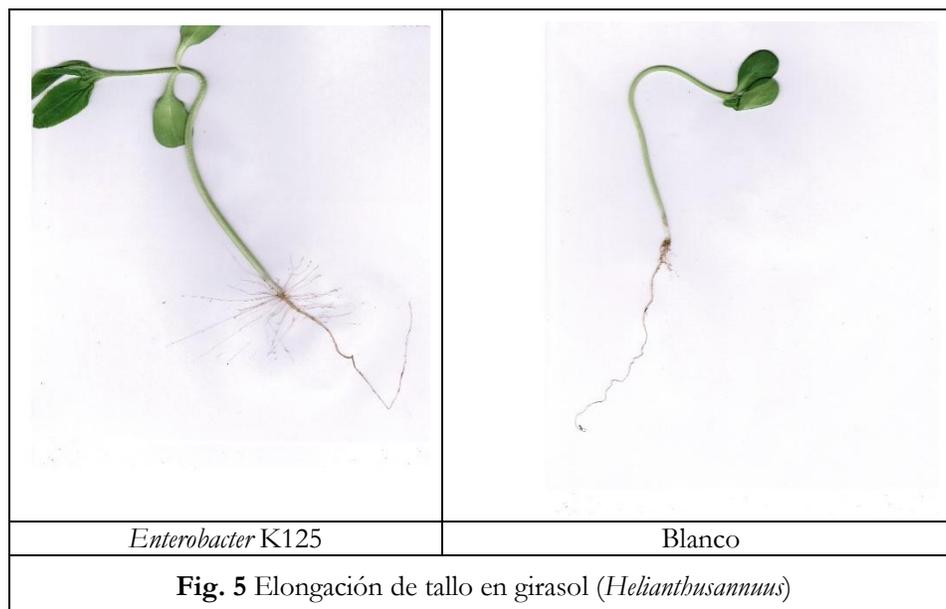
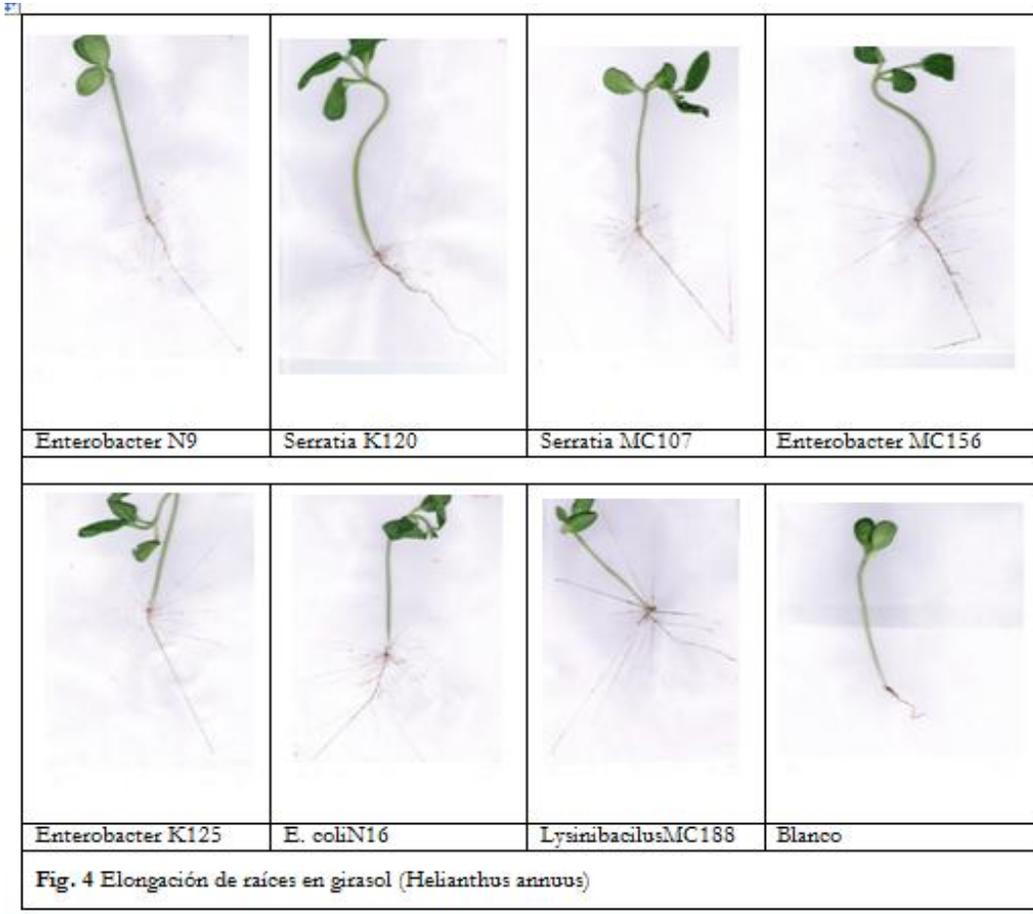


Tabla 1. Concentrado de elongaciones observadas en las diferentes especies vegetales estudiadas

Bacteria	Chícharo		Calabaza		Girasol	
	Raíz	Tallo	Raíz	Tallo	Raíz	Tallo
<i>Serratia</i> K120	95.19 ± 4.36	12.43 ± 1.16	64.78 ± 4.61 ^b	17.63 ± 1.19 ^c	95.68 ± 4.56 ^d	17.89 ± 1.23
<i>Serratia</i> MC119	130.43 ± 5.42 ^a	13.73 ± 1.56	34.29 ± 4.28 ^b	13.68 ± 2.85 ^c	42.31 ± 5.22	11.90 ± 1.19
<i>Serratia</i> MC107	113.68 ± 3.30 ^a	13.72 ± 0.77	32.65 ± 5.48 ^b	14.14 ± 2.28 ^c	82.12 ± 3.12 ^d	12.33 ± 2.98
<i>E. coli</i> N16	94.94 ± 4.68	13.13 ± 1.70	59.86 ± 4.54 ^b	16.60 ± 1.95 ^c	54.81 ± 4.51 ^d	13.34 ± 2.59
<i>Klebsiella</i> MC173	104.50 ± 4.45	13.58 ± 1.71	38.06 ± 3.51 ^b	14.44 ± 1.47 ^c	28.22 ± 5.66	12.70 ± 2.80
<i>Lysinibacillus</i> MC188	77.83 ± 3.51	13.13 ± 1.65	56.11 ± 4.07 ^b	15.73 ± 2.00 ^c	76.88 ± 4.49 ^d	11.89 ± 2.14
<i>Enterobacter</i> K125	123.56 ± 5.96 ^a	14.10 ± 2.18	48.49 ± 3.77 ^b	13.89 ± 1.64 ^c	65.08 ± 5.35 ^d	13.83 ± 2.65 ^c
<i>Enterobacter</i> K131	121.21 ± 3.92 ^a	13.48 ± 1.43	41.17 ± 3.64 ^b	13.87 ± 2.37 ^c	48.50 ± 4.93	12.61 ± 2.14
<i>Enterobacter</i> K7	86.92 ± 5.74	13.19 ± 1.44	70.27 ± 4.97 ^b	17.78 ± 2.06 ^c	50.34 ± 3.32	10.82 ± 1.38
<i>Enterobacter</i> N9	125.64 ± 5.94 ^a	13.21 ± 0.90	46.10 ± 4.50 ^b	16.53 ± 1.41 ^c	56.81 ± 4.14 ^d	10.97 ± 2.86
<i>Enterobacter</i> MC156	132.74 ± 5.22 ^a	14.33 ± 1.06	61.71 ± 3.27 ^b	16.53 ± 1.63 ^c	56.91 ± 3.94 ^d	12.19 ± 2.41
BLANCO	125.24 ± 4.78	13.78 ± 1.32	31.04 ± 3.90	9.02 ± 1.96	51.11 ± 3.10	10.48 ± 2.79

^a Muestras con diferencia significativa $p < 0.05$

^b Muestras con diferencia significativa $p < 0.05$

^c Muestras con diferencias significativas $p < 0.05$

^d Muestras con diferencias significativas $p < 0.05$

^e Muestras con diferencias significativas $p < 0.05$

Análisis nutrimental

El análisis nutrimental de las plantas inoculadas con las BPCV indica los siguientes resultados:

Manganeso (Mn)

El análisis de la concentración de Mn muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) de las plantas de chícharo (*Pisum sativum*) inoculadas con las cepas *Serratia* K120, *Serratia* MC107, *Enterobacter* K7, *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* K125, *E. coli* N16 y *Lysinibacillus* MC188 respecto del testigo, esto tanto en la raíz como en el tallo. Para las plantas de calabaza (*Cucurbita pepo*) la concentración de Mn muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en las raíces inoculadas con las cepas *Enterobacter* K7, *Serratia* MC107, *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, *E. coli* N16 y *Lysinibacillus* MC188 respecto del testigo; mientras que en el tallo las cepas que muestran diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al testigo son *Enterobacter* K7, *Serratia* MC119 y *Klebsiella* MC173, *E. coli* N16, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K131. En las plantas de girasol (*Helianthus annuus*), la concentración de Mn en la raíz de las plantas inoculadas con las cepas bacterianas *Serratia* MC119, *Serratia* K120, *Serratia* MC107, *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K7 y *Klebsiella* (MC173), *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125, *E. coli* N16 y *Lysinibacillus* MC188 muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto al testigo; mientras que en el tallo sólo las cepas *Enterobacter* N9, *E. coli* N16, *Lysinibacillus* MC188 y *Serratia* MC107 muestran diferencia significativa ($p < 0.05$).

Cobre (Cu)

La concentración de Cu en las plantas de chícharo (*Pisum sativum*) muestra diferencia significativa ($p < 0.05$) en todas las raíces y tallos que fueron tratadas con las cepas bacterianas respecto del testigo sin inocular. El análisis de la concentración de Cu muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de las plantas de calabaza (*Cucurbita pepo*) inoculadas con las cepas *Enterobacter* N9, *Serratia* MC119, *Serratia* K120, *Serratia* MC107, *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125, *E. coli* N16 y *Lysinibacillus* MC188 respecto del testigo; mientras que en el tallo todas las bacterias excepto *Enterobacter* K7 y *Serratia* MC107 muestran diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al testigo.

En las plantas de girasol (*Helianthus annuus*) la concentración de Cu muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de las inoculadas con *Enterobacter* K7, *Klebsiella* MC173, *Serratia* MC119, *Enterobacter* K131 y *Serratia* MC107 con respecto al testigo; mientras que en el tallo sólo la cepa *Enterobacter* K7 muestra diferencia significativa ($p < 0.05$).

Níquel (Ni)

La concentración de Ni en las plantas de chícharo (*Pisum sativum*) inoculadas con las bacterias *Serratia* K120, *Klebsiella* MC173 y *Enterobacter* K7, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, *E. coli* N16 y

Lysinibacillus MC188 presentan diferencias significativas en la raíz, mientras que en el tallo se presenta con todas las bacterias respecto del testigo, esto con una significancia de ($p < 0.05$). En las plantas de calabaza (*Cucurbitapepo*) la concentración de Ni muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de inoculadas con las cepas *Enterobacter* N9, *Serratia* MC119 y *Serratia* K120, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125 y *Lysinibacillus* MC188 con respecto al testigo. En el tallo, las cepas *Serratia* MC119, *Serratia* K120, *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125, *E. coli* N16 y *Lysinibacillus* MC188 muestran diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al testigo. Considerando las plantas de girasol (*Helianthus annuus*) la concentración de Ni en la raíz muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en las cepas *Serratia* MC119, *Serratia* K120, *Serratia* MC107, *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K7 y *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125, *E. coli* N16 y *Lysinibacillus* MC188 utilizadas como tratamiento, con respecto al testigo sin inocular. Por lo que respecta al tallo, sólo las cepas *Enterobacter* K7, *Klebsiella* MC173, *E. coli* N16, *Enterobacter* MC156 y *Serratia* MC119 muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

Zinc (Zn)

El análisis de la concentración de Zn muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de las plantas de chícharo (*Pisum sativum*) inoculadas con las cepas *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* K7, *Enterobacter* K131 y *Enterobacter* MC156 respecto del testigo, mientras que en el tallo todas las cepas bacterianas muestran diferencias significativas ($p < 0.05$). La concentración de Zn muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de las plantas de calabaza (*Cucurbitapepo*) inoculadas con las cepas *Enterobacter* K7, *Serratia* MC107, *Klebsiella* MC173, *E. coli* N16 y *Enterobacter* K131 con respecto al testigo; mientras que en el tallo todas muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) excepto la cepa bacteriana *Serratia* MC107. En las plantas de girasol (*Helianthus annuus*) la concentración de Zn muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de las inoculadas con las cepas *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* K131, en comparación al testigo. En el tallo, se puede observar que las bacterias *Serratia* K120, *Serratia* MC107, *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K7, *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125 y *Lysinibacillus* MC188 muestran diferencia significativa ($p < 0.05$).

Hierro (Fe)

La concentración de Fe muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en las raíces de las plantas de chícharo (*Pisum sativum*) inoculadas con las cepas *Serratia* K120, *Serratia* MC119, *Enterobacter* K7, *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125, *E. coli* N16 y *Lysinibacillus* MC188 con respecto al testigo; mientras que en el tallo todas las cepas bacterianas muestran diferencia significativa ($p < 0.05$). Para las plantas de calabaza (*Cucurbitapepo*) la concentración de Fe muestra que las cepas bacterianas *Serratia* MC107 y *E. coli* N16 no tuvieron diferencia significativa ($p < 0.05$) en la raíz en comparación con el resto de las cepas y el testigo. Mientras que en el tallo todas las cepas bacterianas muestran diferencias significativas ($p < 0.05$). En el caso de las plantas de girasol (*Helianthus annuus*) la concentración de Fe muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de las plantas inoculadas con las cepas *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K7, *Klebsiella* MC173, *Serratia* MC119, *Serratia* MC107, *E. coli* N16, *Lysinibacillus* MC188 y *Enterobacter* K125 en comparación con el testigo. Para el tallo se puede observar que las cepas *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K7, *Serratia* MC107, *Serratia* K120, *Enterobacter* MC156 y *Enterobacter* K131 muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

Sodio (Na)

En el análisis de la concentración de Na se muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de las plantas de chícharo (*Pisum sativum*) inoculadas con las cepas *Serratia* K120, *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* K7, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125, *E. coli* N16 y *Lysinibacillus* MC188 respecto del testigo; mientras que en el tallo todas las cepas bacterianas muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

La concentración de Na en la raíz de las plantas de calabaza (*Cucurbitapepo*) muestra que *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K7, *Serratia* MC119, *Serratia* K120, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125 y *Lysinibacillus* MC188 presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al testigo; mientras que en el tallo las cepas bacterianas *Enterobacter* N9, *Serratia* MC119, *Lysinibacillus* MC188, *Enterobacter* K125, *Enterobacter* K131 y *Serratia* K120 son las que presentan diferencias significativas ($p < 0.05$). En las plantas de girasol (*Helianthus annuus*), la concentración de Na en la raíz de las plantas inoculadas con las cepas bacterianas muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al testigo excepto *Enterobacter* K131. Mientras que, en el tallo, las cepas *Serratia* MC119, *Serratia* K120, *Serratia* MC107, *Enterobacter* K7, *Klebsiella* MC173, *E. coli* N16, *Enterobacter* MC156 y *Enterobacter* K125 muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

Potasio (K)

En las plantas de chícharo (*Pisumsativum*) inoculadas con las cepas *Serratia* K120, *Serratia* MC107, *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* K7, *E. coli* N16, *Lysinibacillus* MC188 y *Enterobacter* MC156, la concentración de K muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz respecto del testigo; mientras que en el tallo las plantas inoculadas con las cepas *Serratia* MC119, *Serratia* K120, *Serratia* MC107, *Enterobacter* K7, *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, y *Lysinibacillus* MC188 muestran diferencias significativas ($p < 0.05$). Considerando las plantas de calabaza (*Cucurbitapepo*), la concentración de K muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de las plantas inoculadas con las cepas *Enterobacter* N9, *Lysinibacillus* MC188 y *Serratia* MC107, respecto del testigo; mientras que en el tallo las cepas *Enterobacter* N9, *Serratia* MC 119, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125 y *Enterobacter* K131 y *Serratia* K120 muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al testigo. La concentración de K presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de las plantas de girasol (*Helianthusannuus*) inoculadas con las cepas *Enterobacter* K7, *Serratia* MC119, *Serratia* MC107 y *Klebsiella* MC173, en comparación con el testigo. Respecto del tallo, se puede observar que todas las cepas muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) excepto *Lysinibacillus* MC188.

Fósforo (P)

El análisis de la concentración de P muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de las plantas de chícharo (*Pisumsativum*) inoculadas con las cepas *Serratia* K120, *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* K7, *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, *E. coli* N16 y *Lysinibacillus* MC188 respecto del testigo; mientras que en el tallo todas las cepas bacterianas muestran diferencias significativas ($p < 0.05$). En el caso de las plantas de calabaza (*Cucurbitapepo*) inoculadas con las cepas *Enterobacter* N9, *Enterobacter* K7, *Serratia* MC119, *Serratia* K120, *Enterobacter* K131, *Enterobacter* MC156, *Enterobacter* K125, *E. coli* N16, *Lysinibacillus* MC188 y *Klebsiella* MC173, la concentración de P muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz de las plantas respecto del testigo; mientras que en el tallo todas las cepas bacterianas muestran diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al testigo. Para el análisis de la concentración de P en las plantas de girasol (*Helianthusannuus*) inoculadas con las cepas bacterianas se muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) en la raíz y el tallo en comparación con el testigo.

CHICHARO								
Bacteria	Mn	Cu	Ni	Zn	Fe	Na	K	P
<i>Serratia</i> K120	87.70 ± 3.11 ^a	44.94 ± 4.76 ^b	38.70 ± 4.89 ^c	53.37 ± 3.70	590.82 ± 4.35 ^e	2,180.09 ± 5.07 ^f	419.40 ± 3.02 ^g	98,561.01 ± 262.00 ^h
<i>Serratia</i> MC119	43.35 ± 3.61	28.76 ± 4.06 ^b	22.69 ± 3.56	50.00 ± 3.50	365.17 ± 5.52 ^e	1,026.16 ± 3.35	280.69 ± 4.83	30,422.88 ± 111.00
<i>Serratia</i> MC107	56.66 ± 2.97 ^a	30.21 ± 3.05 ^b	18.94 ± 4.03	67.44 ± 4.36	268.78 ± 3.41	1,199.38 ± 3.80	460.79 ± 5.60 ^g	42,971.57 ± 175.00
<i>E. coli</i> N16	56.57 ± 4.56 ^a	34.76 ± 3.97 ^b	28.62 ± 4.83 ^c	58.61 ± 3.82	374.38 ± 3.86 ^e	1,570.42 ± 3.55 ^f	419.04 ± 4.75 ^g	15,5431.74 ± 261.00 ^h
<i>Klebsiella</i> MC173	62.15 ± 4.15 ^a	55.26 ± 5.12 ^b	24.70 ± 4.04 ^c	98.18 ± 4.50 ^d	379.55 ± 5.10 ^e	1,497.98 ± 3.83 ^f	556.40 ± 5.23 ^g	138,504.16 ± 197.00 ^h
<i>Lysinubasilus</i> MC188	94.31 ± 3.67 ^a	42.06 ± 5.24 ^b	29.78 ± 3.89 ^c	61.39 ± 4.15	411.18 ± 5.31 ^e	1,999.22 ± 3.04 ^f	414.86 ± 3.83 ^g	164,989.28 ± 138.00 ^h
<i>Enterobacter</i> K125	75.37 ± 4.63 ^a	28.94 ± 3.38 ^b	21.37 ± 4.27	43.91 ± 4.79	502.52 ± 4.39 ^e	1,211.14 ± 4.52 ^f	341.16 ± 4.18	17,709.15 ± 112.00
<i>Enterobacter</i> K131	72.99 ± 2.95 ^a	53.97 ± 4.49 ^b	28.33 ± 3.16 ^c	71.96 ± 4.65 ^d	453.47 ± 3.28 ^e	1,424.73 ± 5.48 ^f	346.07 ± 3.80	65,299.73 ± 188.00 ^h
<i>Enterobacter</i> K7	58.91 ± 3.86 ^a	57.43 ± 4.27 ^b	33.66 ± 3.92 ^c	74.50 ± 5.26 ^d	422.03 ± 3.58 ^e	1,734.16 ± 3.56 ^f	380.99 ± 5.61 ^g	130,276.19 ± 158.00 ^h
<i>Enterobacter</i> N9	41.49 ± 4.69	33.25 ± 3.74 ^b	20.04 ± 4.51	56.40 ± 2.97	304.69 ± 4.54	1,150.40 ± 4.84	351.14 ± 4.56	81,776.85 ± 143.00 ^h
<i>Enterobacter</i> MC156	44.43 ± 3.00	36.67 ± 3.70 ^b	30.07 ± 5.19 ^c	67.91 ± 3.66 ^d	374.27 ± 3.67 ^e	1,472.64 ± 5.16 ^f	417.15 ± 5.50 ^g	71,482.55 ± 175.00 ^h
BLANCO	68.01 ± 3.73	8.90 ± 4.82	25.31 ± 4.07	121.19 ± 4.02	818.11 ± 3.20	1,498.42 ± 4.11	647.27 ± 4.03	83,244.89 ± 109.00

CALABAZA								
Bacteria	Mn	Cu	Ni	Zn	Fe	Na	K	P
<i>Serratia</i> K120	11.36 ± 3.17	124.13 ± 4.32 ^b	162.59 ± 4.27 ^c	34.09 ± 3.25	1,208.04 ± 4.48 ^c	5,791.08 ± 5.43 ^f	469.23 ± 4.29	598,086.12 ± 163.00 ^b
<i>Serratia</i> MC119	16.88 ± 2.91	126.21 ± 3.73 ^b	158.36 ± 3.64 ^c	23.31 ± 4.66	1,210.61 ± 4.22 ^c	5,380.23 ± 4.92 ^f	283.33 ± 4.57	761,550.18 ± 177.00 ^b
<i>Serratia</i> MC107	117.57 ± 2.94 ^a	47.84 ± 4.19 ^b	49.15 ± 3.14	242.33 ± 3.07 ^d	403.66 ± 4.48	1,123.12 ± 4.70	174.86 ± 5.37 ^g	60,160.20 ± 252.00
<i>E. coli</i> N16	87.23 ± 5.67 ^a	86.19 ± 2.88 ^b	116.30 ± 4.42	119.94 ± 5.36 ^d	682.76 ± 3.66	3,696.26 ± 3.63	40.48 ± 5.09	409,903.26 ± 266.00 ^b
<i>Klebsiella</i> MC173	95.30 ± 3.77 ^a	116.96 ± 3.22 ^b	120.05 ± 3.54	55.69 ± 3.25 ^d	1,333.54 ± 3.46 ^c	4,417.70 ± 5.50	37.01 ± 5.12	325,690.46 ± 249.00 ^b
<i>Lysinubasillus</i> MC188	143.07 ± 3.68 ^a	179.94 ± 4.86 ^b	311.21 ± 5.39 ^c	19.17 ± 5.20	1,842.18 ± 4.02 ^c	8,057.52 ± 4.79 ^f	64.43 ± 4.29 ^g	1,009,160.07 ± 128.00 ^b
<i>Enterobacter</i> K125	2.76 ± 5.43	115.10 ± 3.07 ^b	176.80 ± 4.92 ^c	11.97 ± 4.24	1,512.89 ± 5.19 ^c	5,836.10 ± 3.42 ^f	1,983.33 ± 5.28	630,028.11 ± 103.00 ^b
<i>Enterobacter</i> K131	63.85 ± 3.33 ^a	103.65 ± 3.27	259.54 ± 4.74 ^c	111.94 ± 4.49 ^d	1,630.18 ± 4.12 ^c	5,879.77 ± 3.83 ^f	98.05 ± 5.31	523,697.30 ± 220.00 ^b
<i>Enterobacter</i> K7	122.76 ± 3.47 ^a	104.14 ± 5.23	157.24 ± 5.09	73.10 ± 5.60 ^d	1,393.79 ± 4.29 ^c	5,099.31 ± 3.14 ^f	34.55 ± 3.71	471,869.33 ± 179.00 ^b
<i>Enterobacter</i> N9	37.33 ± 4.18	168.00 ± 3.40 ^b	249.33 ± 5.02 ^c	33.33 ± 5.30	1,466.67 ± 3.80 ^c	9,313.33 ± 5.18 ^f	2,901.79 ± 5.01 ^g	1,333,333.33 ± 268.00 ^b
<i>Enterobacter</i> MC156	69.52 ± 4.75 ^a	173.33 ± 5.48 ^b	204.76 ± 3.55 ^c	33.33 ± 4.47	1,487.62 ± 4.91 ^c	5,613.33 ± 5.60 ^f	100.00 ± 4.11	852,130.33 ± 272.00 ^b
BLANCO	199.00 ± 4.11	148.01 ± 3.42	254.98 ± 3.40	52.24 ± 4.02	1,662.94 ± 3.36	7,605.72 ± 3.30	64.69 ± 5.06	196,386.49 ± 283.00

Tabla 2 Concentraciones de metales encontrados en raíz de las especies vegetales estudiadas

GIRASOL								
Bacteria	Mn	Cu	Ni	Zn	Fe	Na	K	P
<i>Serratia</i> K120	243.48 ± 4.37 ^a	99.45 ± 3.36	203.70 ± 4.03 ^c	3.43 ± 4.57	1028.12 ± 3.44	4905.35 ± 5.31 ^f	103.57 ± 3.06	2,779,582.70 ± 282.00 ^b
<i>Serratia</i> MC119	213.60 ± 4.35 ^a	113.32 ± 4.11 ^b	195.05 ± 4.32 ^c	9.62 ± 3.01	912.09 ± 3.31 ^c	4728.02 ± 3.26 ^f	124.31 ± 4.19 ^g	397,628.69 ± 255.00 ^b
<i>Serratia</i> MC107	179.03 ± 4.18 ^a	74.20 ± 3.65 ^b	161.37 ± 3.72 ^c	6.48 ± 5.15	803.89 ± 3.85 ^c	4018.85 ± 4.05 ^f	94.82 ± 3.40 ^g	185,977.31 ± 190.00 ^b
<i>Klebsiella</i> MC173	354.04 ± 5.00 ^a	198.76 ± 3.45 ^b	254.66 ± 4.30 ^c	648.03 ± 3.39 ^d	1066.25 ± 3.80 ^c	6889.23 ± 4.51 ^f	165.63 ± 5.66 ^g	980,712.65 ± 229.00 ^b
<i>Lysinubasillus</i> MC188	162.12 ± 4.87 ^a	87.88 ± 5.35	127.99 ± 3.12 ^c	80.20 ± 4.82	487.63 ± 3.24 ^c	3070.39 ± 3.80 ^f	72.53 ± 5.65	313,906.04 ± 289.00 ^b
<i>Enterobacter</i> K125	200.61 ± 5.45 ^a	68.90 ± 2.90	176.22 ± 5.63 ^c	20.12 ± 4.84	620.12 ± 4.56 ^c	4457.93 ± 3.39 ^f	92.07 ± 4.19	673,940.95 ± 238.00 ^b
<i>Enterobacter</i> K131	145.05 ± 5.22	86.18 ± 3.12 ^b	113.91 ± 4.15	87.03 ± 5.53 ^d	540.10 ± 3.51	3124.57 ± 4.58	72.53 ± 4.52	359,259.92 ± 212.00 ^b
<i>Enterobacter</i> K7	225.58 ± 4.45 ^a	92.54 ± 3.39 ^b	193.44 ± 3.47 ^c	21.21 ± 5.14	870.18 ± 4.99 ^c	4925.45 ± 3.02 ^f	1,143.96 ± 5.63 ^g	270,599.38 ± 140.00 ^b
<i>Enterobacter</i> N9	194.20 ± 3.26 ^a	66.41 ± 4.54	163.50 ± 5.00 ^c	3.91 ± 3.73	604.35 ± 4.65 ^c	4195.87 ± 3.48 ^f	95.98 ± 3.49	234,962.41 ± 176.00 ^b
<i>Enterobacter</i> MC156	149.05 ± 3.45 ^a	62.90 ± 5.28	166.49 ± 4.65 ^c	1.06 ± 4.69	445.03 ± 3.93	3716.17 ± 3.23 ^f	77.17 ± 3.24	194,725.71 ± 296.00 ^b
BLANCO	173.72 ± 5.16	75.97 ± 3.99	167.50 ± 5.32	49.81 ± 5.00	1042.34 ± 4.82	4563.51 ± 3.38	108.34 ± 4.99	131,087.37 ± 149.00

^a Muestras con diferencia significativa

^b Muestras con diferencia significativa

^c Muestras con diferencias significativa

^d Muestras con diferencias significativa

^e Muestras con diferencias significativa

^f Muestras con diferencias significativa

^g Muestras con diferencias significativa

^h Muestras con diferencias significativa

CHICHARO								
Bacteria	Mn	Cu	Ni	Zn	Fe	Na	K	P
<i>Serratia</i> K120	49.57 ± 5.63 ^a	31.65 ± 3.37 ^b	23.39 ± 5.04 ^c	96.59 ± 5.45 ^d	222.93 ± 4.81 ^e	976.11 ± 4.94 ^f	2,536.97 ± 3.27 ^g	60,203.89 ± 220.00 ^h
<i>Serratia</i> MC119	27.82 ± 4.57	25.38 ± 4.53 ^b	21.10 ± 5.30 ^c	76.25 ± 3.86 ^d	136.45 ± 4.42 ^e	704.92 ± 3.11 ^f	2,485.49 ± 3.10 ^g	40,950.46 ± 277.00 ^h
<i>Serratia</i> MC107	46.78 ± 3.58 ^a	30.97 ± 3.76 ^b	20.22 ± 3.71 ^c	97.76 ± 4.59 ^d	213.70 ± 4.18 ^e	783.61 ± 3.72 ^f	2,138.91 ± 4.13 ^g	22,642.11 ± 122.00 ^h
<i>E. coli</i> N16	40.24 ± 4.46 ^a	29.16 ± 3.95 ^b	21.84 ± 3.36 ^c	88.58 ± 2.91 ^d	219.07 ± 4.34 ^e	788.25 ± 3.54 ^f	295.24 ± 3.50	23,339.95 ± 214.00 ^h
<i>Klebsiella</i> MC173	42.28 ± 5.15 ^a	33.46 ± 5.56 ^b	21.19 ± 4.52 ^c	96.03 ± 4.26 ^d	215.78 ± 3.77 ^e	767.49 ± 2.97 ^f	2,379.53 ± 3.38 ^g	21,347.22 ± 172.00 ^h
<i>Lysinubasillus</i> MC188	45.23 ± 5.08 ^a	27.49 ± 5.11 ^b	20.02 ± 3.39 ^c	83.71 ± 5.32 ^d	183.09 ± 4.74 ^e	750.10 ± 4.06 ^f	2,059.23 ± 4.83 ^g	54,597.07 ± 114.00 ^h
<i>Enterobacter</i> K125	59.55 ± 4.86 ^a	33.22 ± 4.52 ^b	24.98 ± 4.92 ^c	87.90 ± 4.95 ^d	240.48 ± 5.30 ^e	1,007.70 ± 3.91 ^f	366.18 ± 4.96	63,959.52 ± 175.00 ^h
<i>Enterobacter</i> K131	51.17 ± 3.93 ^a	33.12 ± 5.05 ^b	23.07 ± 5.17 ^c	104.39 ± 4.37 ^d	233.80 ± 4.59 ^e	751.33 ± 4.84 ^f	2,061.88 ± 4.35 ^g	107,940.07 ± 202.00 ^h
<i>Enterobacter</i> K7	43.31 ± 4.59 ^a	32.25 ± 5.18 ^b	22.53 ± 4.56 ^c	101.37 ± 4.19 ^d	224.86 ± 2.94 ^e	774.93 ± 4.62 ^f	2,402.92 ± 3.23 ^g	21,557.07 ± 175.00 ^h
<i>Enterobacter</i> N9	36.65 ± 5.61	29.30 ± 3.62 ^b	19.84 ± 3.38 ^c	99.19 ± 3.03 ^d	206.01 ± 3.31 ^e	672.94 ± 4.58 ^f	369.13 ± 4.19	58,006.88 ± 258.00 ^h
<i>Enterobacter</i> MC156	34.59 ± 3.33	34.21 ± 4.75 ^b	30.09 ± 5.66 ^c	99.15 ± 5.42 ^d	241.90 ± 3.21 ^e	953.58 ± 4.90 ^f	2,555.99 ± 4.88 ^g	74,453.11 ± 160.00 ^h
BLANCO	32.73 ± 4.99	10.03 ± 2.23	9.12 ± 1.68	66.24 ± 4.94	131.11 ± 4.76	478.07 ± 5.65	1,830.03 ± 2.92	10,213.11 ± 288.00

CALABAZA								
Bacteria	Mn	Cu	Ni	Zn	Fe	Na	K	P
<i>Serratia</i> K120	26.55 ± 4.77	27.69 ± 5.37 ^b	29.47 ± 4.00 ^c	133.51 ± 5.38 ^d	205.41 ± 3.95 ^e	963.67 ± 5.64 ^f	501.44 ± 5.12 ^g	66,859.22 ± 164.00 ^h
<i>Serratia</i> MC119	44.19 ± 5.30 ^a	29.07 ± 3.04 ^b	33.87 ± 5.28 ^c	144.33 ± 4.27 ^d	175.87 ± 4.27 ^e	1049.56 ± 3.05 ^f	344.57 ± 3.65 ^g	122,399.02 ± 197.00 ^h
<i>Serratia</i> MC107	1.08 ± 5.57	13.66 ± 4.03	17.96 ± 4.82	13.12 ± 3.32	129.92 ± 3.73 ^e	668.32 ± 3.99	610.00 ± 5.22	39,623.69 ± 282.00 ^h
<i>E. coli</i> N16	60.25 ± 3.71 ^a	27.70 ± 3.72 ^b	27.48 ± 5.15 ^c	141.65 ± 3.35 ^d	200.63 ± 2.89 ^e	685.62 ± 3.20	203.25 ± 3.95	33,381.55 ± 100.00 ^h
<i>Klebsiella</i> MC173	52.90 ± 3.55 ^a	25.56 ± 2.92 ^b	21.25 ± 3.20	132.05 ± 4.25 ^d	187.24 ± 5.49 ^e	558.15 ± 4.97	225.44 ± 3.18	98,010.39 ± 125.00 ^h
<i>Lysinubasillus</i> MC188	17.86 ± 3.06	40.09 ± 4.16 ^b	54.90 ± 2.93 ^c	137.04 ± 3.57 ^d	828.54 ± 4.61 ^e	1512.42 ± 2.88 ^f	225.00 ± 4.72	171,998.62 ± 142.00 ^h
<i>Enterobacter</i> K125	22.91 ± 5.57	29.33 ± 5.42 ^b	34.22 ± 4.08 ^c	120.07 ± 5.64 ^d	214.94 ± 5.26 ^e	1086.16 ± 5.55 ^f	698.00 ± 4.89 ^g	88,442.92 ± 186.00 ^h
<i>Enterobacter</i> K131	38.79 ± 4.50 ^a	33.78 ± 4.65 ^b	43.01 ± 3.99 ^c	150.14 ± 4.87 ^d	273.38 ± 4.39 ^e	1114.48 ± 3.51 ^f	389.31 ± 4.42 ^g	181,090.83 ± 251.00 ^h
<i>Enterobacter</i> K7	45.30 ± 3.36 ^a	23.93 ± 4.51	25.36 ± 5.45	112.99 ± 2.91 ^d	178.83 ± 4.38 ^e	767.48 ± 4.89	290.07 ± 3.46	96,867.94 ± 134.00 ^h
<i>Enterobacter</i> N9	30.00 ± 4.25	29.58 ± 3.80 ^b	29.58 ± 4.87 ^c	113.93 ± 5.48 ^d	200.40 ± 2.91 ^e	1062.69 ± 4.35 ^f	523.58 ± 3.55 ^g	104,279.95 ± 139.00 ^h
<i>Enterobacter</i> MC156	73.24 ± 5.10 ^a	27.88 ± 4.77 ^b	27.19 ± 3.20 ^c	113.80 ± 4.22 ^d	210.12 ± 5.53 ^e	791.02 ± 4.76	105.62 ± 3.37 ^g	30,068.32 ± 185.00 ^h
BLANCO	41.08 ± 3.59	28.21 ± 5.47	33.11 ± 5.47	143.49 ± 5.66	219.52 ± 4.07	844.86 ± 4.43	331.34 ± 3.54	25,818.78 ± 258.00

Tabla 3. Concentraciones de metales encontradas en tallo de las especies vegetales estudiadas

GIRASOL								
Bacteria	Mn	Cu	Ni	Zn	Fe	Na	K	P
<i>Serratia</i> K120	26.73 ± 4.12	17.45 ± 3.81	24.59 ± 3.29	76.17 ± 4.26 ^d	133.47 ± 4.18 ^e	476.32 ± 4.25 ^f	195.43 ± 4.41 ^g	44,394.66 ± 141.00 ^h
<i>Serratia</i> MC119	2.19 ± 3.82	14.77 ± 3.89	26.03 ± 2.95 ^c	56.36 ± 4.26	86.54 ± 3.59	571.22 ± 4.23 ^f	229.52 ± 4.15 ^g	24,686.48 ± 210.00 ^h
<i>Serratia</i> MC107	26.64 ± 3.25 ^a	17.56 ± 5.23	38.39 ± 5.01	46.26 ± 4.21 ^d	89.13 ± 4.03 ^e	861.83 ± 4.40 ^f	344.39 ± 4.13 ^g	165,739.75 ± 154.00 ^h
<i>Klebsiella</i> MC173	1.63 ± 3.19	18.71 ± 4.71	31.75 ± 2.92 ^c	76.55 ± 3.17 ^d	90.27 ± 5.55	719.69 ± 5.38 ^f	283.67 ± 4.43 ^g	60,588.92 ± 189.00 ^h
<i>Lysinubasilus</i> MC188	8.00 ± 4.73 ^a	16.56 ± 4.57	22.31 ± 4.73	69.90 ± 3.55 ^d	128.51 ± 4.54	407.79 ± 3.31	180.10 ± 4.16	28,704.65 ± 114.00 ^h
<i>Enterobacter</i> K125	10.64 ± 4.46	15.06 ± 5.14	23.49 ± 2.92	60.82 ± 4.34 ^d	105.15 ± 4.04	524.99 ± 5.01 ^f	194.96 ± 5.30 ^g	18,786.26 ± 276.00 ^h
<i>Enterobacter</i> K131	9.70 ± 5.04	16.12 ± 5.45	22.26 ± 4.76	66.39 ± 5.33 ^d	124.34 ± 3.69 ^e	416.12 ± 3.16	205.98 ± 5.12 ^g	23,084.03 ± 269.00 ^h
<i>Enterobacter</i> K7	3.85 ± 4.22 ^a	19.35 ± 4.48 ^b	33.02 ± 3.04 ^c	70.07 ± 2.95 ^d	149.49 ± 4.33 ^e	648.48 ± 4.96 ^f	235.69 ± 3.53 ^g	67,575.39 ± 200.00 ^h
<i>Enterobacter</i> N9	18.77 ± 3.50 ^a	15.08 ± 5.27	22.47 ± 3.14	67.22 ± 4.47 ^d	123.06 ± 4.50 ^e	423.24 ± 3.22	192.25 ± 3.61 ^g	37,638.79 ± 107.00 ^h
<i>Enterobacter</i> MC156	10.88 ± 4.85	15.51 ± 3.28	27.37 ± 3.69 ^c	62.11 ± 3.63 ^d	155.44 ± 4.14 ^e	506.32 ± 3.21 ^f	208.98 ± 3.59 ^g	29,547.55 ± 215.00 ^h
BLANCO	11.01 ± 3.34	15.81 ± 4.17	21.72 ± 3.01	70.02 ± 4.56	125.76 ± 3.78	444.61 ± 4.45	179.22 ± 3.21	6,162.95 ± 130.00
^a Muestras con diferencia significativa								
^b Muestras con diferencia significativa								
^c Muestras con diferencias significativa								
^d Muestras con diferencias significativa								
^e Muestras con diferencias significativa								
^f Muestras con diferencias significativa								
^g Muestras con diferencias significativa								
^h Muestras con diferencias significativa								

Discusión de resultados

En la actualidad, la agricultura sustentable incluye consideraciones para una adecuada cantidad de comida para el futuro y también se refiere a temas relacionados con el uso eficiente de los recursos, utilidades para el agricultor y el impacto hacia el medio ambiente. Para que la agricultura se sostenga, y mantenga satisfechas las necesidades actuales y futuras del mundo, debe de asegurar una buena calidad de los alimentos, económicamente viable, y ser a la vez amigable con el medio ambiente, para lo cual se ha orientado investigaciones al estudio de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Ávila-Foucat, 2017). Entre los géneros bacterianos que han sido caracterizados como BPCV se encuentran *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Rhizobium*, *Enterobacter*, *Acinetobacter*, *Bradyrhizobium*, *Serratia*, *Escherichia*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia*, *Azospirillum* y *Stenotrophomonas* (Cota O., 2012; Vargas et al., 2001), lo que concuerda con los géneros usados en este estudio *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Escherichia*, *Lysinibacillus*.

Los efectos observados debido a la inoculación de BPCV, en las pruebas realizadas durante esta investigación, a plantas de chícharo (*Pisumsativum*), calabaza (*Cucurbitapepo*) y girasol (*Helianthusannuus*), correspondieron a una mayor elongación en el crecimiento del tallo y las raíces de las plantas, aumento de pelos radiculares en las raíces, mayor concentración de micronutrientes (Mn, Fe, Zn, Ni, Cu) y macronutrientes (Na, K, P), lo que concuerda con lo reportado por Loredó-Ostiet al. (2004) y Angulo et al. (2014), quienes concluyeron que los principales efectos de las BPCV de los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Beijerinckia*, *Pseudomonas* y *Bacillus*, sobre gramíneas están asociados con mayor emergencia y mejor desarrollo de la raíz; debido a la absorción de NO₃⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻, K⁺ y Fe²⁺, así como otros nutrientes, lo cual incrementa la acumulación de minerales en hojas y tallos. Las diferentes cepas del género *Serratia* influyeron positivamente en el crecimiento y nutrición de las plantas inoculadas, por ejemplo para el chícharo (*Pisumsativum*) fue la cepa *Serratia* K120, para calabaza (*Cucurbitapepo*) *Serratia* MC119 y en el caso de girasol (*Helianthusannuus*) *Serratia* MC107.

Con diferencias significativas de $p < 0.05$; esto concuerda con lo reportado por Chanway et al. (1989), en donde evaluaron el efecto de la inoculación con nueve cepas de bacterias de los géneros *Pseudomonas* sp. y *Serratia* sp., encontrando efectos positivos significativos ($\alpha = 0.05$) en la germinación de lenteja (*Lens esculenta*) causados por la inoculación de las cepas, con incrementos de hasta 38.9% con la mejor cepa en comparación con el testigo (sin inocular) (Vargas P. et al., 2001). Los resultados para las cepas de los géneros *Enterobacter*, *Escherichia* y *Lysinibacillus* mostraron efectos positivos significativos en el crecimiento de la longitud tanto de la raíz como del tallo en las plantas de calabaza con las cinco cepas utilizadas, destacando la cepa *Enterobacter* MC156; para las plantas de chícharo con las cepas del género *Enterobacter* (MC156, K131 y K125).

Para las plantas de calabaza y girasol, las cepas *E. coli* N16, *Lysinibacillus* MC188 y *Enterobacter* K125 mostraron ser las mejores, lo que concuerda con lo estudiado por Sánchez (2011) quien empleó las cepas del género *Enterobacter* sp. (TVL-1 y TVL-2), *Pseudomonas* sp. (PSO13, PSO14), y *Bacillus* sp. (BEOO2 y BEOO3) en cultivos de tomate, donde el experimento evidenció que las cepas *Enterobacter* sp. TVL-2 y *Pseudomonas* sp. PSO14 incrementaron de manera notoria la biomasa de la planta ($P > 0.05$) (longitud, peso seco y área foliar) así como el rendimiento en la producción de frutos, lo que se puede relacionar a las capacidades bioquímicas asociadas a promoción de crecimiento. Simultáneamente de los resultados obtenidos se evidenció, que los mejores valores se encontraron en las cepas *Lysinibacillus* MC188 y *Enterobacter* K131, ya que incrementaron la absorción de micronutrientes (Mn, Cu, Ni, Z, Fe) y macronutrientes (Na, K, P) de las plantas de chícharo y calabaza, mientras que la cepa *Enterobacter* MC156 aportó diferencias significativas en la absorción de nutrientes de la planta de girasol. Lo anterior coincide con autores como Loredó et al. (2004), quienes mencionan que los principales efectos de las bacterias promotoras del crecimiento sobre gramíneas se han asociado en el desarrollo de la raíz y efectos en el rendimiento; y las inoculadas con *Azospirillum*, los cambios favorables en las plantas, generalmente se han atribuido a cambios en la absorción de Nitratos (NO_3), Amonio (NH_4), Fosfatos (PO_4), Potasio (K) y Hierro (Fe), lo cual incrementa la acumulación de minerales en hojas y tallos, por lo que se ha sugerido que el incremento en la absorción de minerales se debe a un aumento general en el volumen de las raíces. Lo anterior, indica que estas cepas bacterianas pueden ayudar a los agricultores en los cultivos de las plantas seleccionadas en la mejora del rendimiento y nutrición de las mismas.

Conclusiones

Las BPCV que mejores resultados presentaron favoreciendo el crecimiento de la raíz, del tallo y la mayor absorción de micro y macronutrientes con diferencias significativas ($p < 0.05$) en las tres especies de vegetales analizadas de chícharo (*Pisum sativum*), calabaza (*Cucurbita pepo*) y girasol (*Helianthus annuus*) fueron las cepas *Enterobacter* K7, *Enterobacter* N9, *Serratia* K120, *Enterobacter* K131 y *Lysinibacillus* MC188, por lo que éstas pueden ser aprovechadas en los procesos biotecnológicos para una mejora en la calidad nutricional de plantas de interés alimentario.

Bibliografía

- Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 26(1), 1-20.
- Angulo, V. C., Sanfuentes, E. A., Rodríguez, F., & Sossa, K. E. (2014). Caracterización de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de *Eucalyptus nitens*. *Revista argentina de microbiología*, 46(4), 338-347.
- Ávila-Foucat Sophie V. (2017). Desafíos del sector primario y políticas públicas sustentables. *Economía Informa*. 402:29-39
- Chanway, C.P., Hymes, R.K. & Nelson L.M. (1989). Plant growth-promoting rhizobacteria: Effects on growth and nitrogen fixation of lentil (*Lens esculenta* Moench) and pea (*Pisum sativum* L.). *Soil Biology and Biochemistry*, 21(4), 511-517.
- Cota Ochoa, K. (2012). Selección de bacterias con capacidad promotora del crecimiento en frijol a partir del banco de microorganismos de la rizósfera CIIDIR 003. Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa, Guasave, Sinaloa.
- Díaz Vargas, P., Ferrera Cerrato, R., Almaraz Suárez, J., & Alcántar González, G. (octubre-diciembre de 2001). Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. *TERRA Latinoamericana*, 19(4), 327-335.
- EPA (Environmental Protection Agency), 1996. METHOD 3052. Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices. EPA (Environmental Protection Agency).
- Loredó-Ostí, C., López-Reyes, C., & Espinosa-Victoria, D. (abril-junio de 2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *TERRA Latinoamericana*, 22(2), 225-239
- Mendoza Hernández, J. C., Perea Vélez, Y. S., Arriola Morales, J., Martínez Simón, S. M., & Pérez Osorio, G. (J de 2016). Assessing the effects of heavy metals in ACC deaminase and IAA production on plant growth promoting bacteria. *Microbiological Research*, 188-189, 53-61.
- Sergio, B. L., Catarina, L. O., & Luis, B. C. J. (1998). Reconversión de áreas agrícolas marginales a uso pecuario con módulos forrajeros.
- Vargas, P., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J. J., & Alcántar, G. (2001). Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. *Terra*, 19(4), 327-335. Página web <https://chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art327-33>