



Effect of a plant growth-promoting rhizobacteria consortium to promote growth in lettuce (*Lactuca sativa* L.) and chili pepper (*Capsicum annuum* L.)

Efecto de un consorcio de rizobacterias para promover el crecimiento vegetal en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y chile (*Capsicum annuum* L.)

Franco Ignacio Bagueño-Guerrero¹, Orlando Catalán-Barrera², Marco Polo Carballo-Sánchez^{2*} 

¹ Universidad de Tarapacá, Facultad de Ciencias Agronómicas, Arica, Chile.

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, México.

*Corresponding author

E-mail address: carballo.marco@colpos.mx (M. P. Carballo-Sánchez).

Article history:

Received: 31 December 2023 / Received in revised form: 25 March 2024 / Accepted: 28 March 2024 / Published online: 19 April 2024.

<https://doi.org/10.29267/mxjb.2024.9.2.19>

ABSTRACT

Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) are biostimulants that favor plant development. We evaluated the effect of PGPR in chilli pepper (*Capsicum annuum* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.). An experimental design of 5 treatments and 4 replicates was used for each crop. The bacterial species were *Achromobacter xylosoxidans* (C56), *Arthobacter pokkalii* (JLB4), *Bacillus pumilus* (AV5) and their combination as a consortium. The variables evaluated were: plant height, shoot diameter, relative chlorophyll index (SPAD) and freshweight of aerial part. In these experiments were observed significant differences with C56 to stimulate 11% plant height compared with the other treatments. Bacterial consortium stimulates 7.8% the relative chlorophyll index in lettuce and showing a trend to stimulate freshweight in both plants. The use of PGPR in consortium is an alternative that should be further studied to minimize the use of chemicals, enhance agricultural practices and mitigate climate change.

Key words: *Capsicum annuum*, climate change, consortium, *Lactuca sativa*, rhizobacteria.

RESUMEN

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) son bioestimulantes que favorecen el crecimiento de las plantas. Se evaluó el efecto de la inoculación de RPCV para promover el crecimiento de plantas de chile (*Capsicum annuum* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.). Se utilizó un diseño experimental de 5 tratamientos y 4 repeticiones para cada cultivo. Las especies bacterianas fueron *Achromobacter xylosoxidans* (C56), *Arthobacter pokkali* (JLB4), *Bacillus pumilus* (AV5) y su combinación como consorcio. Las variables evaluadas fueron: altura, diámetro del tallo, índice relativo de clorofila (SPAD) y peso fresco de parte aérea. En estos experimentos se observaron diferencias significativas de la bacteria C56 para estimular un 11% la altura de plantas de lechuga, comparada con los demás tratamientos. El consorcio de bacterias estimula un 7.8% el índice relativo de clorofila en lechuga, además de mostrar una tendencia positiva del consorcio para estimular el peso fresco aéreo de ambos cultivos. El uso de RPCV en consorcio es una alternativa que se debe seguir estudiando para minimizar el uso de productos químicos, potenciar la agricultura y mitigar el cambio climático.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, cambio climático, consorcio, *Lactuca sativa*, rizobacteria.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el aumento de la población humana ha provocado una expansión de las áreas cultivadas, producto de la constante y creciente demanda de alimentos. No obstante, son cada vez más graves los problemas por disponibilidad y degradación de los recursos naturales (Velázquez *et al.*, 2022), de los cuales los principales son el agua y el suelo debido a que son los agentes de mayor dispersión, bioacumulación y transporte de contaminantes (Manoj *et al.*, 2017). Los problemas por fertilización son de importancia mundial, cada año las superficies cultivadas reciben cerca de 108 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados minerales (FAO, 2020), de los cuales, gran parte se pierde en la atmósfera o se acumula en los mantos freáticos para desembocar en los océanos (Fowler *et al.*, 2013). Los pesticidas son otro de los grandes problemas en la agricultura, ya que debido a su alta toxicidad pueden provocar la eliminación de la flora, fauna y ocasionar daños en la salud humana, además son resistentes a la degradación biológica (Hirata, 2002). En este sentido, una de las alternativas propuestas en los últimos años es el uso de microorganismos benéficos como las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), las cuales contribuyen a la fertilización agrícola al facilitar la disponibilidad de nutrientes a las plantas, así como la solubilización y mineralización del fósforo o la fijación del nitrógeno atmosférico (Banerjee *et al.*, 2016; Carvalho *et al.*, 2010). Aunado a lo anterior, diversos estudios indican que los consorcios bacterianos son relevantes para la biotecnología, como es el caso de la agricultura y la biorremediación (Romero *et al.*, 2018). La inoculación de dos o más especies microbianas ha sido eficaz para estimular el crecimiento vegetal, a diferencia de las inoculaciones con especies individuales. Esto se debe a que se establece una relación de sinergismo entre las bacterias que se encuentran en comunidad y potencian el efecto promotor de crecimiento vegetal Zoppellari *et al.*, 2014; (Atieno *et al.*, 2012; Barea *et al.*, 2002). La producción de hortalizas es relevante para el aseguramiento de la soberanía alimentaria de las naciones. A nivel mundial, la producción

de chiles y pimientos se estima en un valor de 36 millones de toneladas (ton) para el 2021, en donde los principales países exportadores destacan a China en el primer lugar con 16 millones de toneladas, México en segundo lugar con 2.5 millones y España en tercer lugar con 1.5 millones (FAOSTAT, 2021). La lechuga es una de las hortalizas más cultivadas a nivel mundial, es preferida por su sabor, por la cantidad de agua que contiene y por su contenido nutricional. Al ser una planta de ciclo corto, también es considerada como un organismo modelo para la investigación científica (Guo *et al.*, 2023).

La presente investigación tiene como finalidad evaluar el efecto de un consorcio bacteriano compuesto por tres rizobacterias: C56 (*Achromobacter xylosoxidans*), JLB4 (*Arthobacter pokkali*) y AV5 (*Bacillus pumilus*) para promover el crecimiento en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad starfighter y chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de invernadero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización geográfica

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Microbiología de Suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en el programa de Posgrado en Edafología, Texcoco, Estado de México, México. Su ubicación geográfica se localiza en las coordenadas 19°27'51"N 98°54'15"O. La fecha del experimento abarca un periodo de agosto a diciembre del 2023.

2.2. Diseño experimental

En cada cultivo se utilizó un diseño experimental al azar de cinco tratamientos, en el cual un tratamiento corresponde a un inoculante bacteriano multiespecie (consorcio): C56 (*A. xylosoxidans*) + JLB4 (*A. pokkali*) + AV5 (*B. pumilus*), las inoculaciones individuales de cada bacteria utilizada para el multi-inoculante y un tratamiento testigo sin inoculación. Para cada tratamiento se evaluaron 4 repeticiones y se utilizaron 8 unidades experimentales en cada repetición, cada unidad consistía en 1 planta por macetero.

2.3. Caracterización de las rizobacterias

Las rizobacterias a utilizar corresponden a especies pertenecientes a la colección de cepas del Laboratorio de Microbiología de Suelos, del Colegio de Postgraduados. Se denominan por su código de trabajo C56 (*A. xylosoxidans*) aislada de compost de cachaza y gallinaza (Cohuo *et al.*, 2023), JLB4 (*A. pokkali*) proveniente de la rizósfera de un cultivo de tomate (Daza *et al.*, 2022) y AV5 (*B. pumilus*) de compost de vaca. Estas bacterias han sido caracterizadas mediante pruebas bioquímicas de producción de indoles y solubilización de fosfato, pruebas morfológicas, microbiológicas e identificación molecular, y se ha reportado en el Gen Bank con el código de acceso ON514328 para *A. xylosoxidans*, MW629814.1 para el caso de *A. pokkali* y ON514328 para *B. pumilus*.

2.4. Preparación de los inóculos bacterianos

Los inóculos se prepararon a partir de colonias bacterianas puras en agar nutritivo, las cuales fueron transferidas a caldo nutritivo en botellas de 300 mL e incubadas en un agitador orbital a 150 rpm en 28°C por 48 horas, hasta establecer una cantidad necesaria para alcanzar una concentración bacteriana. Cabe mencionar que, C56 (*A. xylooxidans*) presenta un crecimiento más retardado con respecto a las otras dos bacterias, por lo tanto, esta bacteria se cultivó por 72 horas. Por su parte, el inóculo multiespecie se preparó mediante una proporción igualitaria en volumen de las tres especies bacterianas. Para la inoculación de las plantas de lechuga se utilizó una concentración de $4.35 \cdot 10^7$ de *B. pumilus*, $8.05 \cdot 10^8$ de *A. xylooxidans* y $4.40 \cdot 10^8$ de *A. pokkali*. Y para los chiles se utilizó una concentración de $7.54 \cdot 10^7$ de *B. pumilus*, $1.47 \cdot 10^9$ de *A. xylooxidans* y $2.32 \cdot 10^9$ de *A. pokkali*. Estas determinaciones se realizaron por cuenta de células a partir de diluciones seriadas en una cámara Neubauer y la concentración está expresada en UFC·ml⁻¹ de caldo nutritivo.

2.5. Material vegetal y condiciones de crecimiento

Se utilizaron dos tipos de semillas con las siguientes características: Para lechuga italiana la variedad fue Starfighter de la marca Rijk Zwaan ® (Holanda), con un porcentaje de germinación certificado mayor al 90%. Para los chiles jalapeños se utilizó semilla de la variedad Cheetah de la marca US Agriseeds ® (E.E.U.U.), con un porcentaje de germinación mayor al 90%.

El proceso de crecimiento de las plántulas se realizó en un invernadero. Primeramente, se sembraron 2 semillas de lechuga (*L. sativa*) por cavidad en almacigueras (*speeldings*) con sustrato estéril, 2:1 de turba y perlita respectivamente. El riego se realizó de manera manual según la demanda hídrica con agua destilada del tipo II, obtenida de un equipo Helix® (Milipore, E.E.U.U.). Al día 20 después de la siembra (DDS), se suministró solución nutritiva Steiner al 5%, y se fue aumentando progresivamente hasta llegar a una concentración máxima de 45%. El trasplante consistió en una planta por unidad y se realizó a los 37 DDS, en bolsas agrícolas de 3 kg rellenas con tezontle. La cosecha se realizó a los 70 DDS cuando las plantas se encontraban en crecimiento vegetativo. En el caso de las plantas de chile (*C. annuum* L.) el procedimiento fue similar para el sustrato, el riego y la solución nutritiva. El trasplante se realizó al día 55 DDS y la cosecha se realizó a los 95 DDS previo a la floración. Las condiciones ambientales dentro del invernadero durante todo el experimento abarcan una temperatura promedio máxima de 27°C y mínima de 10°C., así como una humedad relativa promedio de 79%.

2.6. Inoculación de las plantas

La primera inoculación de los tratamientos en lechuga se realizó en almácigo a los 15 DDS con un volumen de 2 mL de suspensión bacteriana en la base del tallo de cada planta. La segunda inoculación se realizó 30 días después de la primera inoculación, con el objetivo de asegurar el establecimiento de los microorganismos y se utilizó un volumen de 5 mL por planta. En los chiles, la primera inoculación se realizó a los 45 DDS con 2 mL de suspensión y la segunda inoculación se realizó 30 días después desde la primera inoculación con un volumen de 5mL.

2.7. Variables medidas

Para la medición se seleccionaron 7 plantas por repetición $n=28$ y se midió la longitud (cm) y diámetro del tallo (mm) con una regla graduada y un calibrador digital (HER-411, Steren, México) respectivamente. La altura de las plantas de lechuga se consideró desde la base del tallo hasta el ápice terminal, y en el caso de las plantas de chile desde la base del tallo hasta la yema terminal. Para el diámetro del tallo en ambas plantas se midió previo al inicio del cepellón. El índice relativo de clorofila se midió mediante el aparato portátil SPADmeter (Minolta®, SPAD-502, Japón) y se expresan mediante unidades SPAD que evalúa cuantitativamente la intensidad del verde de la hoja y de esta manera, tener una referencia de la cantidad de clorofila que tienen las hojas. Para esto se consideró una medición por planta y fue a partir de la tercera hoja fotosintéticamente activa. El peso fresco de la parte aérea se registró con una báscula de bolsillo con precisión de 0.1 g (Truper BASE-05J, México).

2.8. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se reportan mediante gráficos que presentan una media \pm error estándar. El análisis de los datos se desarrolló a través del análisis de varianza (ANOVA) cumpliendo los supuestos de normalidad y homocedasticidad y las diferencias entre grupos se determinaron mediante la prueba post-hoc de Tukey, en programa estadístico SAS versión 9.0.

3. RESULTADOS

Para la variable altura de las plantas, en el caso de las plantas de lechuga (*L. sativa*), la inoculación con la bacteria C56 (*A. xylooxidans*) obtuvo una diferencia significativa con respecto a los otros tratamientos, aumentando en promedio un 11% la altura de las plantas. Por otra parte, en las plantas de chile (*C. annuum*) el tratamiento con la bacteria JLB4 obtuvo menores resultados cuando fue inoculada de manera individual, si bien no obtuvo diferencia con el tratamiento control, sí hubo diferencia cuando fue inoculada en consorcio. El resto de los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí (Fig. 1.).

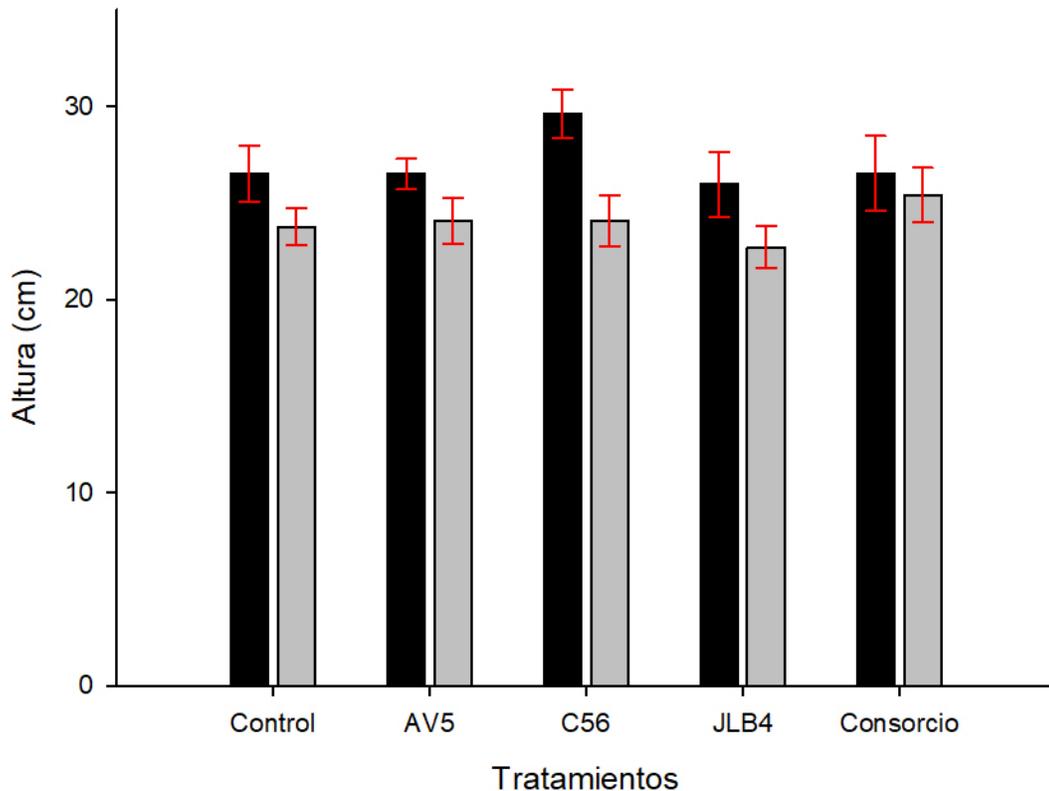


Fig. 1. Height of lettuce (*L. sativa*) and chili (*C. annuum*) plants. Black bars stand for lettuce and gray bars for chili treatments. Different adjacent letters indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$). Means \pm standard error.

Fig. 1. Altura de plantas de lechuga (*L. sativa* L.) y chile (*C. annuum* L.). Las barras negras son de tratamientos con lechuga y las grises de tratamientos con chile. Letras diferentes adyacentes a las barras en las gráficas representan diferencia significativa entre cada tratamiento ($p < 0.05$). Medias \pm error estándar.

En el parámetro de diámetro del tallo no se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos para las plantas de chile (*C. annuum*), aunque la mejor respuesta fue en los tratamientos C56 y consorcio. Para las plantas de lechuga (*L. sativa*), se observa una situación similar con respecto al parámetro de altura, en donde JLB4 tiene menores resultados cuando es inoculada de manera individual con diferencias significativas con respecto al tratamiento consorcio, pero sin diferencias con el control. El resto de los tratamientos no mostraron mayor diferencia significativa entre sí (Fig. 2.).

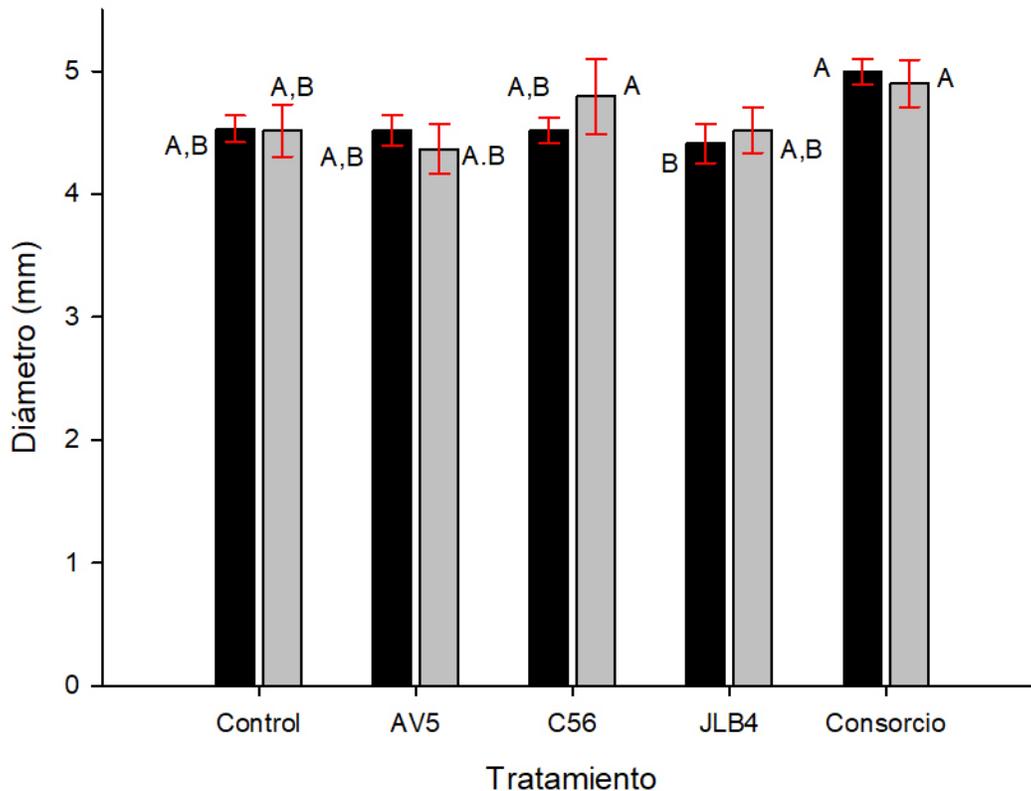


Fig. 2. Shoot diameter of lettuce (*L. sativa*) and chili (*C. annuum*) plants. Black bars stand for lettuce and gray bars for chili treatments. Different adjacent letters indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$). Means \pm standard error.

Fig. 2. Diámetro del tallo de plantas de lechuga (*L. sativa* L.) y chile (*C. annuum* L.). Las barras negras son de tratamientos con lechuga y las grises de tratamientos con chile. Letras diferentes adyacentes a las barras en las gráficas representan diferencia significativa entre cada tratamiento ($p < 0.05$). Medias \pm error estándar.

El índice relativo de clorofila (unidades SPAD) mostró una tendencia positiva para los tratamientos inoculados con bacterias en las plantas de lechuga (*L. sativa*). El tratamiento consorcio se logró diferenciar significativamente con respecto al control, incrementando un 7.8% las unidades SPAD. Esta situación cambia en las plantas de chile (*C. annuum*), en donde los tratamientos inoculados se comportan significativamente igual que el control, e incluso JLB4 se diferenció negativamente, disminuyendo en un 3% las unidades SPAD (Fig. 3).

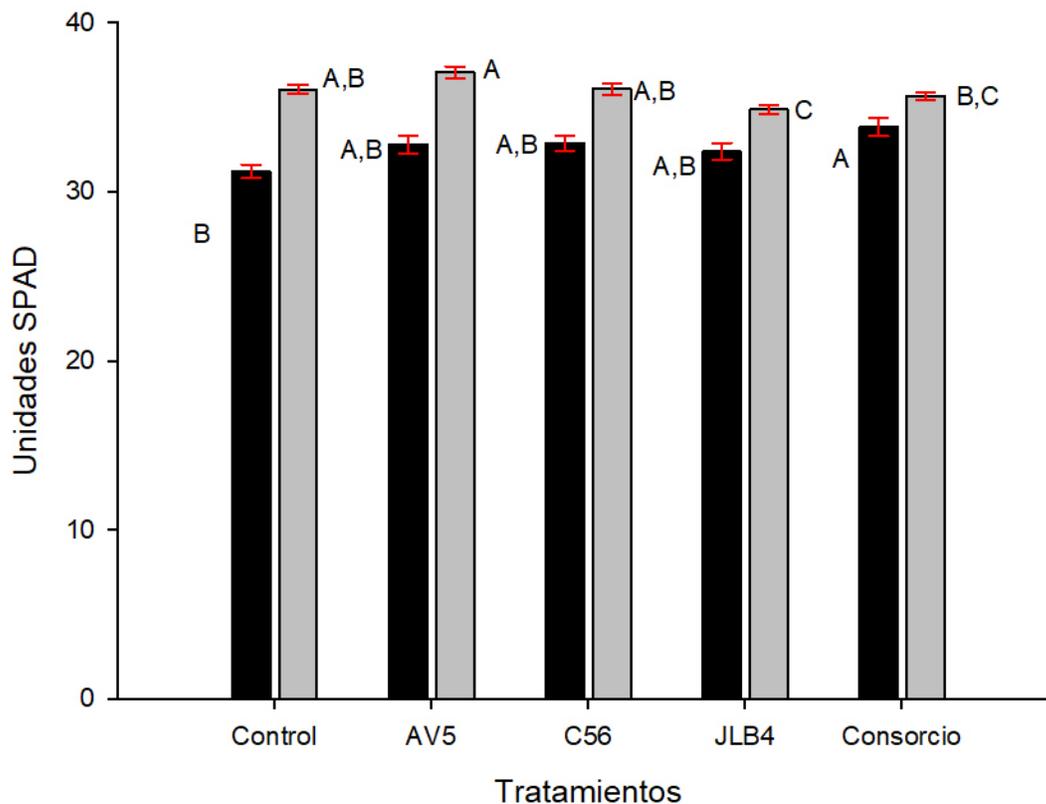


Fig. 3. Relative chlorophyll index (SPAD units) of lettuce (*L. sativa*) and chili (*C. annuum*) plants. Black bars stand for lettuce and gray bars for chili treatments. Different adjacent letters indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$). Means \pm standard error.

Fig. 3. Índice relativo de clorofila (unidades SPAD) promedio de plantas de lechuga (*L. sativa*) y chile (*C. annuum*). Las barras negras son de tratamientos con lechuga y las grises de tratamientos con chile. Letras diferentes adyacentes a las barras en las gráficas representan diferencia significativa entre cada tratamiento ($p < 0.05$). Medias \pm error estándar.

En las plantas de lechuga (*L. sativa*) se observó una tendencia menor en el peso fresco aéreo para los 3 tratamientos inoculados individualmente con las especies bacterianas (AV5, C56 y JLB4), obteniendo diferencias significativamente menores al tratamiento control y al tratamiento consorcio. Por otro lado, si bien el consorcio obtuvo los mejores resultados en lechuga con un promedio por planta de 31.3 g de peso fresco aéreo, no se logró diferenciar significativamente del control, el cual, presentó un peso fresco promedio por planta de 28.3 g. En las plantas de chile (*C. annuum*) ocurre una situación similar a lo comentado anteriormente, los tratamientos con inoculación individual (AV5 y C56) reflejan menores resultados con respecto al control y el consorcio. Y estos últimos no se logran diferenciar, pero sí hay una tendencia positiva del consorcio para estimular el crecimiento en ambas plantas (Fig. 4.).

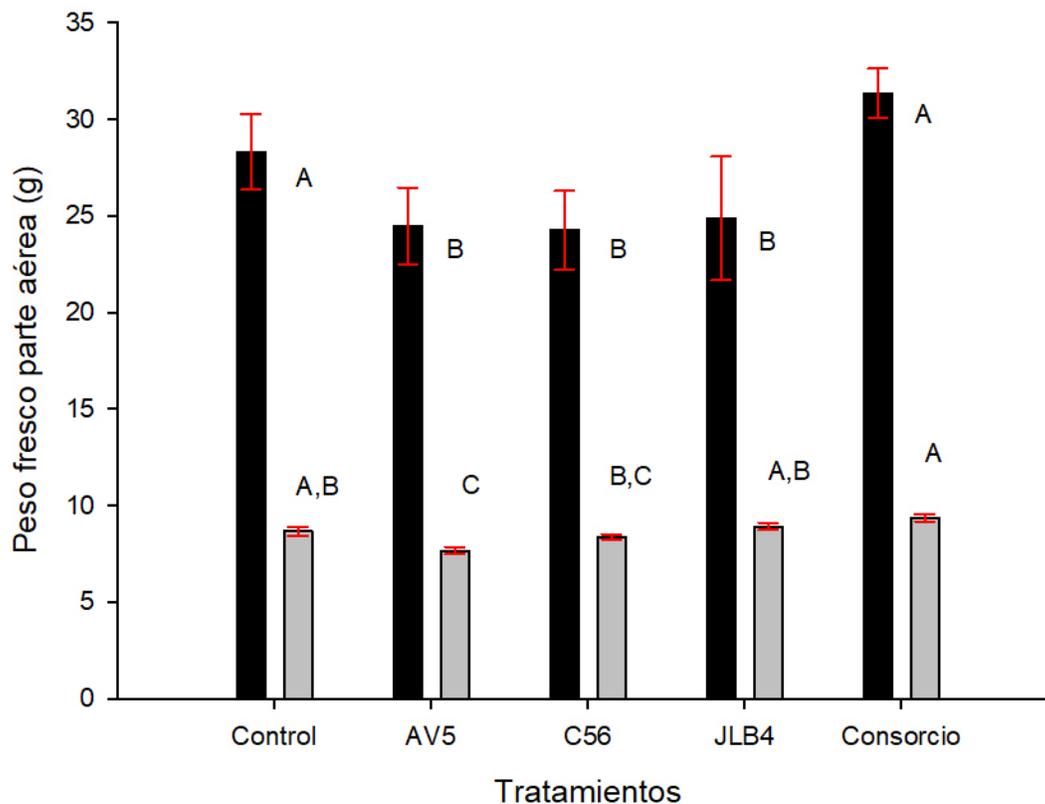


Fig. 4. Fresh weight in aerial part of lettuce (*L. sativa*) and chili (*C. annuum*) plants. Black bars stand for lettuce and gray bars for chili treatments. Different adjacent letters indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$). Means \pm standard error.

Fig. 4. Peso fresco aéreo promedio de plantas de lechuga (*L. sativa*) y chile (*C. annuum*). Las barras negras son de tratamientos con lechuga y las grises de tratamientos con chile. Letras diferentes adyacentes a las barras en las gráficas representan diferencia significativa entre cada tratamiento ($p < 0.05$). Medias \pm error estándar.

4. DISCUSIÓN

Los consorcios microbianos son una asociación sinérgica entre dos o más poblaciones microbianas de diferentes géneros y especies que interactúan entre sí para beneficiarse de la actividad metabólica de cada partícipe de la comunidad. Es un sistema complejo en donde el crecimiento y el flujo de nutrientes es más efectivo y eficiente que en poblaciones individuales (Ochoa y Montoya, 2010). La coexistencia de los miembros de la población va a depender de los cambios en las condiciones ambientales, no obstante, la vida en asociación permite una mayor resistencia a estos cambios y favorece la estabilidad de la población en el tiempo. En condiciones de estrés, como por ejemplo en periodos de limitación de nutrientes, existen grupos minoritarios dentro de la comunidad que tienen la capacidad metabólica de sostener la supervivencia del consorcio, estimulando la producción de polisacáridos o enzimas degradativas que permiten mejorar la

disponibilidad de nutrientes y disponerlos para la comunidad (Blanco *et al.*, 2021; Ochoa y Montoya, 2010). En esta investigación se observó una mejor respuesta cuando se utilizaron las bacterias C56 (*A. xylosoxidans*), JLB4 (*A. pokkalii*) y AV5 (*B. pumilus*) en conjunto como consorcio para estimular el índice relativo de clorofila (unidades SPAD) en plantas de lechuga, además de mostrar una tendencia favorable en el peso fresco aéreo de ambas plantas. Aunque se pueden encontrar muchos trabajos relacionados con rizobacterias inoculadas en lechuga de manera individual (Ikiz *et al.*, 2024; Al-Turki, 2021), existen pocas investigaciones relacionadas con el cultivo de lechuga inoculada con múltiples especies. En el ejemplo de Vio *et al.*, (2023), probaron un bioinsumo microbiano multiespecie en lechuga, contando con cuatro especies de rizobacterias (*Azospirillum argentinense*, *Gluconoacetobacter diazotrophicus*, *Bacillus* sp. y *Pseudomonas protegens*) e inoculando desde el semillero, obteniendo mejores resultados en los parámetros biométricos que cuando se inocularon por separado. Molina-Romero *et al.*, (2017) evaluaron el efecto de *Pseudomonas putida*, *Sphingomonas* sp., *Azospirillum brasilense* y *Acinetobacter* sp. en el cultivo de maíz criollo (*Zea mays* L.) y se demostró diferencia significativa del consorcio respecto al testigo y a las mono-inoculaciones en los parámetros de peso seco de la raíz y de la parte aérea, la altura y el diámetro de las plantas. No obstante, Capilla (2021) replicó este ensayo con las mismas bacterias en el cultivo de *L. sativa* y no encontró diferencias significativas en los parámetros del crecimiento de las plantas entre el consorcio y las mono-inoculaciones, por lo que el autor concuerda que el genotipo entre los organismos involucrados es un factor relevante para ejercer un efecto benéfico entre la planta y el microorganismo. Esta situación es similar a la observada en este trabajo, ya que el consorcio no se comportó de igual manera entre el cultivo de lechuga y chile para estimular el índice relativo de clorofila. Esto se debe a que existe una dependencia íntima del “quorum sensing”, que se refiere al mecanismo de comunicación célula-célula en las bacterias para regular la expresión genética de estos grupos (Altaf *et al.*, 2017). Se necesita una comunicación química que es regulada por una amplia variedad de moléculas de señalización que permiten el establecimiento de las comunidades microbianas en la rizósfera de la planta. Estas interacciones dependen de la síntesis y percepción de compuestos físicos y químicos (Leach *et al.*, 2017). Díaz *et al.* (2023) probaron el crecimiento de lechuga con la inoculación simultánea de *Azospirillum argentinense* y *Pseudomonas fluorescens*, en el que mencionan que las cepas compatibles muestran sinergia en el crecimiento y las que no son compatibles interfieren entre ellas con la capacidad de promoción del crecimiento.

Respecto a los trabajos de plantas de chile inoculadas con consorcios de rizobacterias, no es un campo muy explorado. Existe un reporte de la inoculación simultánea de *C. annuum* con dos cepas: *Bacillus subtilis* y *Bacillus pumilus* (Kaushal *et al.*, 2019), este ensayo se hizo en campo con el objetivo de determinar el rendimiento y la resistencia a enfermedades. Obtuvieron una resistencia contra *Phytophthora capsici* y *Colletotrichum* sp., así como un aumento en el rendimiento de frutos de 379% con el consorcio de esas dos bacterias. Samaniego *et al.* (2016) hicieron una inoculación simultánea de dos cepas de *Bacillus* sp. en *Capsicum chinense* Jacq, obteniendo resultados favorables en el aumento de la capacidad fotosintética de las plantas. Silva *et al.* (2014) hicieron una inoculación simultánea de dos cepas de *Rhizobium*. A pesar de ser diazótroficas e incapaces de nodular a *C. annuum* L., lograron mejorar la madurez de los frutos, sin presentar cambios en otros parámetros. Sini *et al.*, (2024) reportan los efectos de un

biofertilizante en la producción de *C. annuum* en invernadero. El mejor rendimiento de frutos se dio con el tratamiento de un hongo micorrízico arbuscular, la inoculación con dos cepas simultáneas de *Azotobacter* y *Azospirillum* resultaron en mayor incorporación de nitrógeno en las plantas. El mayor interés de los trabajos es el aumento de rendimiento de calidad y de frutos, así como el combate a plagas de este cultivo, sin hacer énfasis en cuáles pueden ser las combinaciones adecuadas de rizobacterias en un consorcio.

Con respecto a las inoculaciones individuales de las cepas utilizadas, C56 (*A. xylosoxidans*) obtuvo el mejor resultado comparada con las otras cepas evaluadas, con diferencias significativas con respecto a todos los otros tratamientos en el parámetro altura de las plantas de lechugas. Este efecto positivo se atribuye a la capacidad de esta cepa para sintetizar AIA (ácido indolacético) en grandes concentraciones, principal fitohormona del grupo auxinas que se involucran en el crecimiento y desarrollo vegetal (alargamiento, división celular, entre otros) (Leveau y Lindow, 2005). De manera opuesta, la inoculación individual con la cepa JLB4 (*A. pokkali*) mostró menores valores para el índice relativo de clorofila en chile con respecto a las otras inoculaciones individuales y el control. Además, presentó menores valores en altura de chiles y diámetro en lechugas con respecto al tratamiento consorcio. Así mismo, la inoculación individual de AV5 (*B. pumilus*) afectó el peso fresco aéreo de ambas plantas a diferencia del control y cuando fue inoculada de manera grupal. Resultados similares a los obtenidos en el trabajo de Capilla (2021), en el cual se obtuvieron efectos negativos en la morfometría de *L. Sativa* inoculada con la bacteria *Sphingomonas* OF178, a pesar de la capacidad de esta para producir moléculas como ácido 1-aminociclopropano-1-carboxilo (ACC desaminasa), ácido indolacético (AIA) o sideróforos. Y es que, existen diversos factores que se ven involucrados a la hora de la interacción entre la planta y el microorganismo que puede causar un efecto benéfico o perjudicial. Los cambios dependen directamente de la homeostasis asociada a las fitohormonas y a su concentración en las plantas (Tsukanova *et al.*, 2017), así como las condiciones ambientales presentes en el entorno. La inhibición del crecimiento puede atribuirse a la protección indirecta de las bacterias hacia las plantas por condiciones de estrés, como mecanismo de respuesta para la supervivencia de las plantas, a expensas de crecimiento o productividad, pero con una respuesta aclimatadora eficaz (Kudoyarova *et al.*, 2019; Bechtold y Field, 2018).

La inoculación individual y en consorcio de las bacterias C56 (*A. xylosoxidans*), JLB4 (*A. pokkali*) y AV5 (*B. pumilus*) ejerce un efecto en el crecimiento de las plantas, siendo positivo en algunos parámetros, lo que se atribuye a un efecto sinérgico para promover el crecimiento en las plantas de *L. sativa* y *C. annuum*. Se recomienda seguir estudiando el uso de consorcios bacterianos y su evaluación en condiciones de campo, para asegurar su eficiencia en diferentes condiciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Colegio de Postgraduados por las facilidades de infraestructura y administrativas. Así también, al programa Becas Santander Movilidad Internacional Pregrado 2022, por el financiamiento de la estancia de investigación para la realización de este proyecto.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Al-Turki A. 2021. Native Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Growth Promotion of Lettuce from Qassim, Saudi J. Biol. Sci., 24(7), 773-779. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2021.773.779>
- Altaf M., Khan M., Abulreesh H., Ahmad I. 2017. Quorum Sensing in Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and Its Impact on Plant-Microbe Interaction. In: Singh, D., Singh, H., Prabha, R. (eds) Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives. Springer, Singapore. pp 311-331 https://doi.org/10.1007/978-981-10-5813-4_16
- Atieno M., Herrmann L., Okalebo R., Lesueur D. 2012. Efficiency of different formulations of *Bradyrhizobium japonicum* and effect of co-inoculation of *Bacillus subtilis* with two different strains of *Bradyrhizobium japonicum*. World J. Microbiol. Biotechnol., 28, 2541-2550. <https://doi.org/10.1007/s11274-012-1062-x>
- Banerjee S., Palit R., Sengupta C., Standing D. 2010. Stress induced phosphate solubilization by '*Arthrobacter*' sp. and '*Bacillus*' sp. isolated from tomato rhizosphere. Aust. J. Crop Sci., 4(6), 378-383.
- Barea J., Toro M., Orozco M., Campos E., Azcón R. 2002. The application of isotopic (³²P and ¹⁵N) dilution techniques to evaluate the interactive effect of phosphate-solubilizing rhizobacteria, mycorrhizal fungi and Rhizobium to improve the agronomic efficiency of rock phosphate for legume crops. Nutr. Cycling Agroecosyst. 63, 35-42. <https://doi.org/10.1023/A:1020589732436>
- Bechtold U., Field B. 2018. Molecular mechanisms controlling plant growth during abiotic stress. J. Exp. Bot., 69(11), 2753-2758. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery157>
- Blanco E., Rada F., Castro Y., Paolini J. 2021. Selection of a growth promoter microbial consortium in onion seedlings under shade-house conditions. Rev. Fac. Agron. 38(2), 301-321. [https://doi.org/10.47280//RevFacAgron\(LUZ\).v38.n2.05](https://doi.org/10.47280//RevFacAgron(LUZ).v38.n2.05)
- Capilla M. 2021. Interacción de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) con lechuga (*Lactuca sativa* L.). Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. 54pp
- Carvalho F., Souza R., Barcellos F., Hungria M., Vasconcelos A. 2010. Genomic and evolutionary comparisons of diazotrophic and pathogenic bacteria of the order Rhizobiales. BMC Microbiol. 10,37 <https://doi.org/10.1186/1471-2180-10-37>

Cohuo J., Almaraz J., Velasco J., Salinas J., Galvis A., Delgadillo J. 2023. Compost como fuente de rizobacterias para estimular el crecimiento de plantas micropropagadas de caña de azúcar. ITEA-Inf. Tec. Econ. Agrar., 119(4). <https://doi.org/10.12706/itea.2023.013>

Daza Y., Almaraz J., Rodríguez M., Angulo A., Silva H. 2022. Aislamiento de rizobacterias asociadas a tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su potencial para promover crecimiento vegetal. ITEA-Inf. Tec. Econ. Agrar. 118(3): 345-360. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.036>

Díaz P., Merlo F., Carrozzi L., Valverde C., Creus C., Maroniche G. 2023. Lettuce growth improvement by *Azospirillum argentinense* and fluorescent *Pseudomonas* co-inoculation depends on strain compatibility. *Appl. Soil Ecol.*, 189, 104969. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104969>

FAO. 2020. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2020. Rome, pp. 130, 135, 140 y 145.

FAOSTAT. 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. Value of Agricultural Production. FAOSTAT statistical database. Food and Agriculture Organization of the United Nations (Revisada el 10 de septiembre de 2023).

Fowler D., Coyle M., Skiba U., Sutton M., Cape J., Reis S., Voss M. 2013. The global nitrogen cycle in the twenty-first century. *Philos. Trans. R. Soc. B: Biol. Sci.*, 368(1621), 20130164.

Guo Z., Li B., Du J., Shen F., Zhao Y., Deng Y., Kuang Z., Tao Y., Wan M., Lu X., Wang D., Wang Y., Han Y., Wei J., Li L., Guo X., Zhao C., Yang X. 2023. LettuceGDB: The community database for lettuce genetics and omics. *Plant Commun.* 4(1). <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100425>

Hirata R. 2002. Carga contaminante y peligros a las aguas subterráneas. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología. São Paulo, Brasil.* 2: 81-90.

Ikiz B., Dasgan H., Gruda N. 2024. Utilizing the power of plant growth promoting rhizobacteria on reducing mineral fertilizer, improved yield, and nutritional quality of Batavia lettuce in a floating culture. *Sci. Rep.*, 14(1), 1616. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51818-w>

Kaushal M., Mandyal P., Kaushal R. 2019. Field based assessment of *Capsicum annum* performance with inoculation of rhizobacterial consortia. *Microorganisms*, 7(3), 89. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7030089>

Kudoyarova G., Arkhipova T., Korshunova T., Bakaeva M., Loginov O., Dodd I. 2019. Phytohormone mediation of interactions between plants and non-symbiotic growth promoting bacteria under edaphic stresses. *Front. Plant Sci.* 10, 1368. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01368>

Leach J., Triplett L., Argueso C., Trivedi P. 2017. Communication in the phytobiome. *Cell*, 169(4), 587-596. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.04.025>

Leveau J., Lindow S. 2005. Utilization of the plant hormone indole-3-acetic acid for growth by *Pseudomonas putida* strain 1290. *Appl. Environ. Microbiol.* 77(5), 2365-2371. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.5.2365-2371.2005>

Manoj S., Thirumurugan M., Elango L. 2017. An integrated approach for assessment of groundwater quality in and around uranium mineralized zone, Gogi region, Karnataka, India. *Arab. J. Geosci.*, 10(24), 557. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3321-5>

Molina D., Baez A., Quintero V., Castañeda M., Fuentes L., Bustillos M., Muñoz J. 2017. Compatible bacterial mixture, tolerant to desiccation, improves maize plant growth. *PLoS one*, 12(11), e0187913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187913>

Ochoa D., Montoya R. 2010. Consorcios microbianos: una metáfora biológica aplicada a la asociatividad empresarial en cadenas productivas agropecuarias. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 18(2), 55-74. <https://doi.org/10.18359/rfce.2272>

Romero M., Morales A., López V. 2018. Design and in vitro application of hydrocarbon degrading microbial consortia. *Mexican J. Biotechnol.*, 3(4), 33-43. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2018.3.4.33>

Samaniego B., Garruña R., Tun J., Kantun J., Reyes A., Cervantes L. 2016. *Bacillus* spp. inoculation improves photosystem II efficiency and enhances photosynthesis in pepper plants. *Chil. J. Agric. Res.*, 76(4), 409-416.

Silva L., Azevedo J., Pereira M., Carro L., Velazquez E., Peix A., Valentão P., Andrade P. B. 2014. Inoculation of the nonlegume *Capsicum annuum* (L.) with Rhizobium strains. 1. Effect on bioactive compounds, antioxidant activity, and fruit ripeness. *J. Agric. Food Chem.*, 62(3), 557-564. <https://doi.org/10.1021/jf4046649>

Sini H., Barzegar R., Mashae S., Ghahsare M., Mousavi-Fard S., Mozafarian M. 2024. Effects of biofertilizer on the production of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) in greenhouse. *J. Agr. Food Res.*, 101060. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101060>

Tsukanova K., Meyer J., Bibikova T. 2017. Effect of plant growth-promoting Rhizobacteria on plant hormone homeostasis. *S. Afr. J. Bot.*, 113, 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.07.007>

Velázquez L., Ortiz I., Chávez J., Pámanes G., Carrillo A., Pereda M. 2022. Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25, e482. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.482>

Vio S., Galar M., Gortari M., Balatti P., Garbi M., Lodeiro A., Luna M. 2023. Multispecies Bacterial Bio-Input: Tracking and Plant-Growth-Promoting Effect on Lettuce var. sagess. *Plants*, 12(4), 736. <https://doi.org/10.3390%2Fplants12040736>

Zoppellari F., Malusà E., Chitarra W., Lovisolo C., Spanna F., Bardi L. 2014. Improvement of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) by selected rhizospheric microorganisms. *Ital. J. Agrometeorol.*, 18(1), 5-18.