

Aplicación de comunidad microbiana, como modelo experimental para el mejoramiento del rendimiento vegetal del girasol (*Helianthus annuus*) y maíz (*Zea mays*).

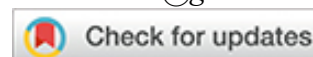
Application of microbial communities as an experimental model for improving the yield of sunflower (*Helianthus annuus*) and corn (*Zea mays*).

Francisco Tuñón ^{1*}, María Rodríguez ², Alexis De La Cruz ³

¹ Universidad de Panamá, Centro Regional de Herrera, Panamá.

Correos: franciscotunonb@gmail.com; maria.rodriguez56@up.ac.pa; alexis.delacruz@up.ac.pa

Autor de correspondencia: franciscotunonb@gmail.com



RESUMEN

Los suelos degradados por malas prácticas agrícolas constituyen un problema persistente en Panamá y a nivel mundial. Este estudio evaluó el efecto de cepas bacterianas promotoras del crecimiento vegetal en plántulas de girasol (*Helianthus annuus*) y maíz (*Zea mays*) bajo condiciones controladas, con el objetivo de mejorar su desarrollo vegetativo. Las cepas bacterianas se aislaron a partir de diversas muestras ambientales, confirmando ocho aislamientos mediante pruebas fenotípicas y bioquímicas. Estos aislamientos se aplicaron en diez tratamientos por aspersión sobre los cultivos, con tres réplicas por tratamiento. La evaluación se basó en parámetros como la altura de la planta, la longitud radicular y la biomasa. Las cepas de *Rhizobium*, *Azospirillum* y *Pseudomonas* mostraron los efectos positivos más notables sobre el crecimiento vegetal. En conjunto, el uso de cepas bacterianas benéficas específicas aplicadas a suelos degradados representa una alternativa sostenible que mejora el desarrollo vegetativo en aproximadamente un 50 %, reduce el uso de agroquímicos y promueve prácticas agrícolas ambientalmente responsables.

Palabras clave: *Azospirillum*, biomasa, cepas bacterianas, crecimiento vegetal, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, suelos degradados.

ABSTRACT

Soils degraded by poor agricultural practices represent a persistent problem in Panama and worldwide. This study evaluated the effect of plant growth-promoting bacterial strains on sunflower (*Helianthus annuus*) and corn (*Zea mays*) seedlings under controlled conditions, aiming to improve their vegetative development. Bacterial strains were isolated from various environmental samples, and eight isolates were confirmed through phenotypic and biochemical tests. These isolates were applied in ten treatments by spraying the crops, using three replicates per treatment. The evaluation was based on parameters such as plant height, root length, and biomass. The strains of *Rhizobium*, *Azospirillum*, and *Pseudomonas* showed the most pronounced positive effects on plant growth. Overall, the use of specific beneficial bacterial strains applied to degraded soils represents a sustainable alternative that enhances vegetative development by approximately 50%, reduces the need for agrochemicals, and promotes environmentally friendly agricultural practices.

Keywords: *Azospirillum*, biomass, bacterial strains, plant growth, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, degraded soils.

El maíz (*Zea mays*) es el grano más producido y consumido con la mayor superficie de siembra a nivel mundial, es un producto de consumo primario en numerosos países ¹. La enorme demanda mundial de este cereal requiere un aumento en la superficie de tierra cultivable disponible, así como el uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal ². El girasol (*Helianthus annuus*.) es considerado uno de los cultivos de mayor relevancia a nivel mundial, gracias a su amplia variedad de usos, entre los que sobresale la producción de aceite, ya que posee una cantidad que varía aproximadamente entre el 28 a 50 % del mismo ^{3 4}. Sin embargo, el rendimiento de estos cultivos puede verse limitado por factores edáficos, climáticos y biológicos, que afectan la disponibilidad de nutrientes y la salud general del cultivo.

La aplicación de comunidades microbianas benéficas conformadas por bacterias que interactúan de forma positiva con las plantas ha surgido como una alternativa sostenible al uso excesivo de agroquímicos, promoviendo un crecimiento vegetal más eficiente y resiliente ⁵. Diversas investigaciones han demostrado que los consorcios microbianos, especialmente aquellos aplicados a la rizosfera, son capaces de solubilizar los nutrientes, estimular la producción de fitohormonas, mejorar la tolerancia al estrés abiótico, y suprimir patógenos del suelo, estas interacciones no solo mejoran la productividad de los cultivos, sino que también contribuyen al equilibrio del microbioma del suelo, favoreciendo la salud a largo plazo e incrementando el rendimiento de los cultivos ⁶. La importancia del estudio implica la evaluación de una estrategia ecológica y adaptable para aumentar el rendimiento de cultivos sin comprometer la salud del suelo, además al tratarse de un enfoque experimental basado en condiciones agroecológicas, el proyecto puede contribuir significativamente al desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles en la región de Azuero en cultivos de importancia como el maíz, optimizando la producción y fortaleciendo la seguridad alimentaria. El objetivo de este estudio es evaluar y comparar el crecimiento y desarrollo de plantas de girasol y maíz en función de la aplicación controlada de comunidades microbianas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de investigación

Esta investigación se llevó a cabo bajo un diseño experimental de bloque al azar transversal, con 10 tratamientos en réplicas de tres evaluadas bajo condiciones controladas de laboratorio.

Variables

- Independiente: Comunidades microbianas.
- Dependiente: Crecimiento y desarrollo de las plantas.

Aislamiento de cepas bacterianas: El aislamiento de cepas bacterianas se hizo a partir de muestras ambientales, como suelo de montaña y lodo enriquecido de plantas de tratamiento de agua residuales. Se realizó la recolección de las muestras en condiciones estériles y se tomó una porción representativa (10 g), la cual se suspendió en agua destilada estéril y se homogeneizó mediante agitación vigorosa, con el objetivo de liberar los microorganismos al medio líquido. Posteriormente, se realizaron diluciones seriadas, con el fin de disminuir la densidad microbiana y facilitar el aislamiento de colonias individuales, de cada dilución se sembró un

volumen de 100 µL sobre placas de agar Tripticasa de Soja (TSA). Para ambas muestras se utilizó en principio la técnica de esparcido y las placas se incubaron a temperaturas entre 28 y 37 °C durante un período de 24 a 72 horas; del crecimiento primario se seleccionaron colonias con morfologías distintas y se sembraron en placas frescas de TSA mediante la técnica de estriado o agotamiento celular hasta obtener cultivos puros, posteriormente las cepas puras se conservaron en tubos inclinados con TSA.

Caracterización morfológica y bioquímica: Para la identificación de cepas bacterianas desconocidas se preparó un frotis de cada cepa, se fijó por calor y se aplicaron los reactivos de la tinción de Gram, la cual permitió identificar la morfología bacteriana y clasificar las bacterias como Gram positivas o Gram negativas. Una vez establecida la morfología bacteriana, las cepas fueron analizadas con el sistema API 20E, el cual consta de 20 pruebas bioquímicas en microtubos. Además, se aplicaron pruebas bioquímicas convencionales como catalasa y Triple Azúcar Hierro (TSI). Tras la incubación de las cepas en las pruebas bioquímicas, se interpretaron los cambios de color y se aplicaron reactivos adicionales cuando fue necesario. Los resultados se codificaron en un perfil numérico que fue comparado con la base de datos del sistema. La evaluación de la morfología colonial, la morfología bacteriana y las pruebas bioquímicas permitieron la identificación del género y especie de la cepa bacteriana.

Aplicación de comunidades microbianas en los cultivos

Preparación de suspensiones bacterianas: La preparación de suspensiones bacterianas inició con el cultivo de la cepa bacteriana en medio líquido nutritivo (caldo peptonado), incubándose a temperaturas entre 28 y 37 °C hasta alcanzar la fase logarítmica de crecimiento. Cumplido el tiempo de incubación, las cepas bacterianas se añadieron a una solución buffer de hidrógeno fosfato de potasio comúnmente utilizado para mantener un pH estable, generalmente en el rango de pH 6.0 a 8.0, luego las soluciones se colocaron en atomizadores previamente esterilizados.

Montaje de réplicas de cultivos de girasol y maíz: Previo a la siembra, se construyó un invernadero que permitiera la exposición al sol directo, condición esencial para los cultivos, y que protegiera al mismo tiempo de la lluvia. Las macetas y el sustrato utilizado fueron previamente esterilizados con calor para evitar la presencia de contaminantes externos. Se seleccionaron semillas de girasol y de maíz de la variedad P-3898. Además, se utilizaron pinzas previamente esterilizadas, con las cuales se colocaron cuidadosamente las semillas en papel aluminio, y posteriormente se introdujeron al horno durante aproximadamente 20 minutos para asegurar un tratamiento térmico que elimine bacterias y hongos no deseados. En cada maceta se sembraron dos semillas, como medida preventiva en caso de que alguna no germinara, en réplicas de tres plantas por tratamiento, posteriormente, se procedió a la aplicación de las soluciones bacterianas mediante aspersión, utilizando los atomizadores estériles. Esta aplicación se realizó cada dos días durante el desarrollo de los cultivos. A partir de la germinación, se realizó un monitoreo diario para registrar los siguientes parámetros: Altura de planta, el crecimiento radicular y la ganancia de masa.

Cultivo continuo y pruebas de solubilidad de fósforo y fijación de nitrógeno: Para el montaje del cultivo continuo en un biorreactor, primero se preparó y esterilizó el medio de cultivo que contenía los nutrientes necesarios para el crecimiento bacteriano (caldo peptonado), así como las tuberías de aireación y los recipientes de entrada y salida. Una vez estéril, se inocularon las tres cepas bacterianas que presentaron mayor capacidad para promover el crecimiento radicular y de biomasa en plantas de maíz (*Rhizobium*, *Azospirillum* y *Pseudomonas aeruginosa*) en condiciones asépticas, y se inició un cultivo por lote hasta que las bacterias alcanzaron la fase exponencial de crecimiento. En ese punto, se estableció el modo continuo, conectando un sistema de alimentación constante de medio fresco por precipitación, manteniendo así un volumen constante en el biorreactor, junto con un sistema de oxigenación mediante una bomba de aireación. La tasa de entrada y salida del caldo se controló con un equipo de macrogoteo durante 72 horas, regulando la velocidad de dilución según las necesidades del proceso. Se extrajeron las cepas bacterianas en su máximo crecimiento y se midió la capacidad de solubilización de fósforo y fijación de nitrógeno mediante medios de cultivo enriquecidos con fósforo y nitrógeno. Todos los datos obtenidos fueron organizados en tablas para su posterior análisis estadístico descriptivo, a fin de comparar el efecto de los diferentes tratamientos (cepas individuales y consorcio microbiano) sobre el crecimiento de las plantas.

Estadística

La evaluación estadística fue de tipo descriptiva, se evaluaron los promedios matemáticos y se calculó el porcentaje de incremento de la ganancia de masa tomada como parámetro medular de los resultados de cada cepa y se establecieron los incrementos y decrementos en relación con el control mediante la fórmula:

$$\text{Porcentaje de crecimiento (\%)} = [(\text{valor tratamiento} - \text{valor control}) / \text{valor control}] \times 100$$

Debido a que el objetivo principal del estudio fue exploratorio y orientado a validar tendencias biológicas más que a establecer diferencias significativas entre tratamientos, no se aplicaron pruebas de inferencia estadística (ANOVA, Tukey, etc.).

Este enfoque se justifica por el carácter preliminar del experimento, realizado con un número limitado de réplicas y bajo condiciones controladas. Los resultados se interpretan como evidencia inicial del potencial de las cepas bacterianas evaluadas, recomendándose estudios futuros con diseño estadístico factorial para confirmar estos hallazgos.

RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de 10 tratamientos en plántulas de girasol (evaluadas hasta la etapa V2) y maíz (evaluadas hasta la etapa V7) después de evaluar su efecto en variables asociadas al crecimiento vegetal. Se registraron parámetros como la altura de la planta, longitud radicular y biomasa fresca y seca, comparando los tratamientos bacterianos con el control sin inocular.



Figura 1. Gráfica de la evaluación de cepas bacterianas individuales y el consorcio bacteriano sobre el crecimiento en altura de plantas de girasol evaluadas hasta la etapa V2.

En la figura 1 se expresan los resultados que muestran que la cepa de *Azospirillum* presentó el mayor crecimiento en altura de plantas de girasol, alcanzando los 16 cm, seguidas por *Rhizobium* y *Pseudomonas aeruginosa* con 15 cm; *Lactobacillus delbrueckii*, *Serratia marcescens* y *Bacillus clausii* con 14 cm, todas superiores al control a la par de *Staphylococcus aureus* (13 cm). En contraste, las cepas, *Kocuria rhizophila* y el tratamiento MIX presentaron menor efecto, con alturas entre 11 y 12 cm.

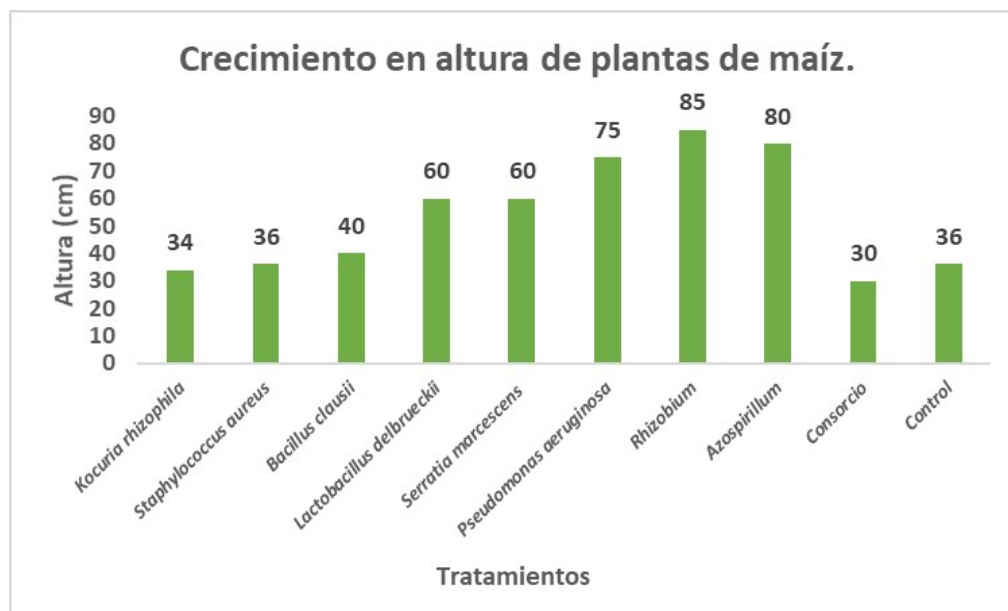


Figura 2. Gráfica de la evaluación de cepas bacterianas individuales y el consorcio bacteriano sobre el crecimiento en altura de plantas de maíz evaluadas hasta la etapa V7.

Las evaluaciones del crecimiento en altura, hasta la etapa V-7, de plantas de maíz detalladas en la figura 2, evidenciaron diferencias claras entre los tratamientos bacterianos aplicados. Las mayores alturas se registraron con *Rhizobium* (85 cm) y *Azospirillum* (80 cm) y *Pseudomonas aeruginosa* (75 cm), seguidos por *Serratia marcescens* y *Lactobacillus delbrueckii* con 60 cm, lo que indica un efecto positivo de estas cepas sobre el desarrollo vegetal. En comparación, el control al igual que *Staphylococcus aureus* alcanzaron una altura de 36 cm, siendo superado por la mayoría de las cepas como *Bacillus clausii* que mostró un efecto intermedio (40 cm), mientras que el consorcio MIX (30 cm) y *Kocuria rhizophila* (34 cm) presentaron los menores valores de crecimiento.

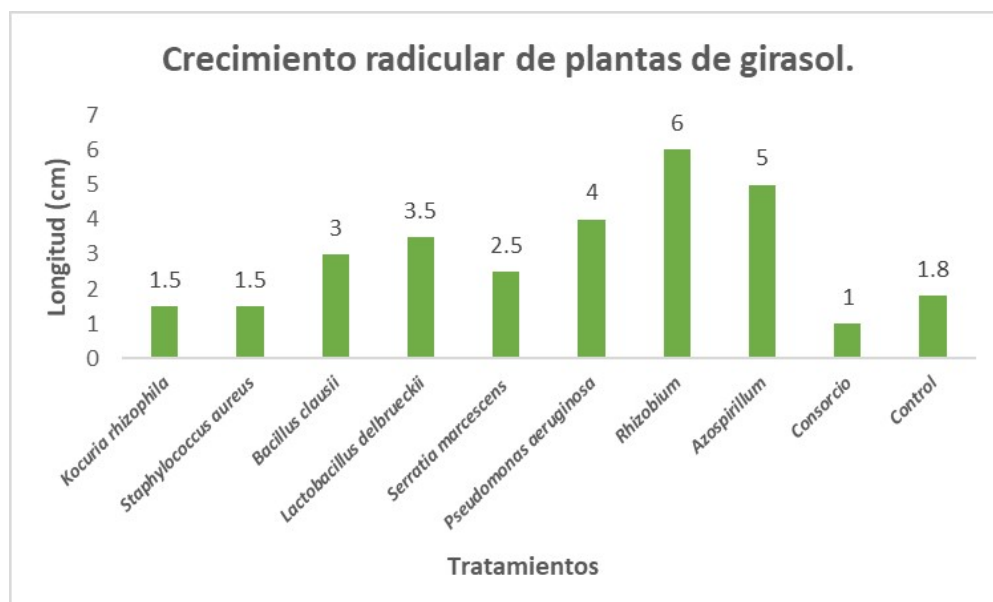


Figura 3. Gráfica de la evaluación de cepas bacterianas individuales y el mix bacteriano sobre el crecimiento radicular de plantas de girasol evaluadas hasta la etapa V2.

El crecimiento radicular en plantas de girasol (figura 3) fue mayor en los tratamientos con las cepas de *Rhizobium* (6 cm), *Azospirillum* (5 cm) y *Pseudomonas aeruginosa* (4 cm), superando al control (1.8 cm) y al resto de las cepas. En cambio, *Kocuria rhizophila*, *Staphylococcus aureus* y el consorcio MIX mostraron los menores valores (1–1.5 cm).

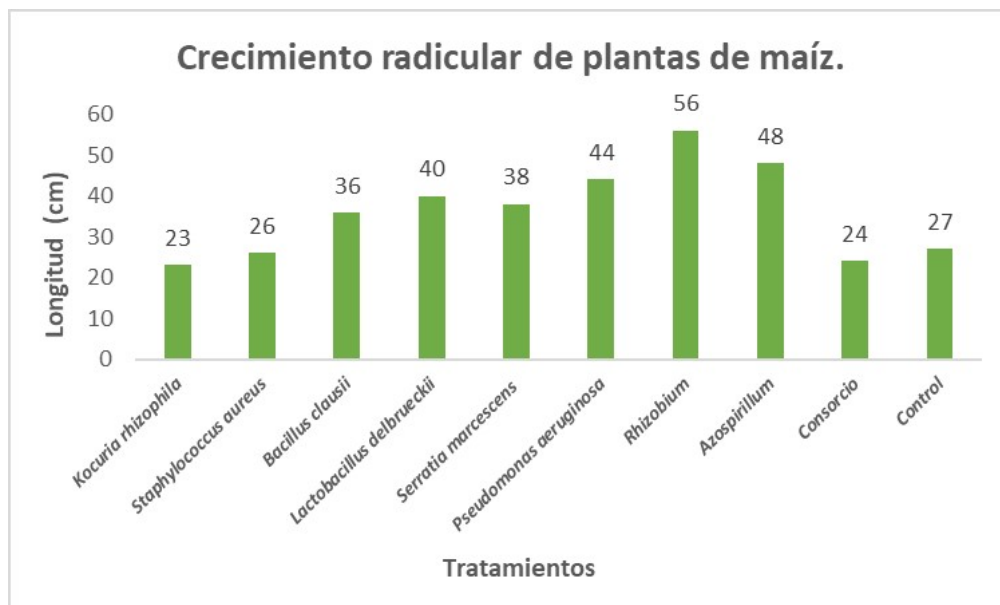


Figura 4. Gráfica de la evaluación de cepas bacterianas individuales y el mix bacteriano sobre el crecimiento radicular de plantas de maíz evaluadas hasta la etapa V7.

En el caso del crecimiento radicular en plantas de maíz (figura 4) la mayor ganancia de longitud se obtuvo en los tratamientos con *Rhizobium* (56 cm), *Azospirillum* (48 cm) y *Pseudomonas aeruginosa* (44 cm), superando significativamente al control (27 cm) y al resto de las cepas. También se observaron efectos positivos en *Lactobacillus delbrueckii* (40 cm), *Serratia marcescens* (38 cm) y *Bacillus clausii* (36 cm). En cambio, *Kocuria rhizophila*, *Staphylococcus aureus* y el consorcio MIX presentaron las menores longitudes de raíz (23 a 26 cm) respecto al control.

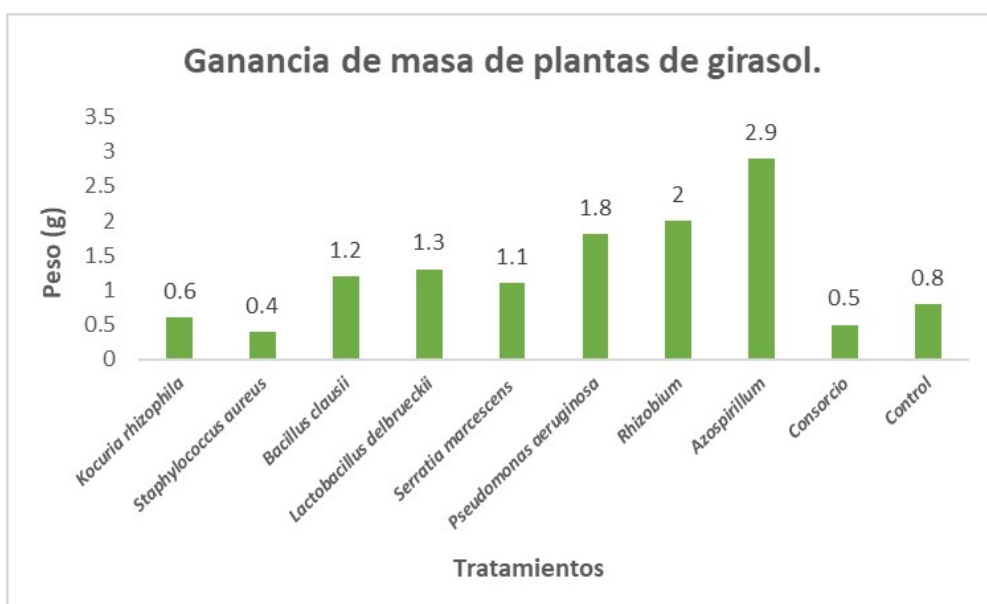


Figura 5. Gráfica de la evaluación de cepas bacterianas individuales y el mix bacteriano sobre la ganancia de masa de plantas de girasol evaluadas hasta la etapa V2.



Figura 6. Gráfica de la evaluación de cepas bacterianas individuales y el mix bacteriano sobre la ganancia de masa de plantas de maíz evaluadas hasta la etapa V7.

En las figuras 5 y 6 donde se refleja la ganancia de masa, se observó que las cepas *Azospirillum* y *Rhizobium* fueron las más efectivas en promover la biomasa en ambos cultivos, con valores máximos en maíz (18.5 g y 20.1 g, respectivamente) y altos rendimientos también en girasol (2.9 g y 2.0 g). *Pseudomonas aeruginosa* mostró buen desempeño, especialmente en maíz (15.7 g). En contraste, *Staphylococcus aureus*, *Kocuria* y el tratamiento MIX presentaron los menores incrementos de biomasa en ambos casos. Estos resultados destacan el potencial de cepas específicas para mejorar el crecimiento vegetal en diferentes especies.

Cepas bacterianas	Porcentaje de incremento en plantas de girasol.		Porcentaje de incremento en plantas de maíz.	
	Porcentaje de incremento (%)	Interpretación	Porcentaje de incremento (%)	Interpretación
<i>Kocuria rhizophila</i>	-25	Decrecimiento	-45.9	Alto decrecimiento
<i>Staphylococcus aureus</i>	-50	Alto decrecimiento	-2.7	Decrecimiento ligero
<i>Bacillus clausii</i>	50	Alto crecimiento	140.5	Alto crecimiento
<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	62.5	Alto crecimiento	210.8	Alto crecimiento
<i>Serratia marcescens</i>	37.5	Crecimiento moderado	270.3	Alto crecimiento
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	125	Crecimiento muy alto	324.3	Alto crecimiento
<i>Rhizobium</i>	150	Crecimiento muy alto	443.2	Máximo crecimiento
<i>Azospirillum</i>	262.5	Máximo crecimiento	400	Crecimiento muy alto
<i>Consorcio</i>	-37.5	Decrecimiento	-35.1	Decrecimiento
<i>Control</i>	0	Valor de referencia	0	Valor de referencia

Tabla 1. Evaluación del porcentaje de incremento en la ganancia de masa de las cepas bacterianas con respecto al control en plantas de girasol y maíz.

En la tabla 1 se muestra que la mayoría de las cepas bacterianas aplicadas promueven positivamente el crecimiento tanto en girasol como en maíz, superando el valor de referencia del control (0%). Los resultados indican un alto potencial de bioestimulación, siendo las cepas *Rhizobium* y *Azospirillum* las que generan los

mayores incrementos de crecimiento en ambos cultivos, alcanzando un máximo del 443.2% en el maíz con *Rhizobium* y del 262.5% en el girasol con *Azospirillum*. Las cepas como *Kocuria rhizophila* y *Staphylococcus aureus*, así como el Consorcio, mostraron un decrecimiento del porcentaje de plantas. En general, el maíz exhibió una respuesta de crecimiento superior a la mayoría de los tratamientos en comparación con el girasol.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio confirman el potencial de las bacterias benéficas como agente promotor del crecimiento en plantas de girasol y maíz en donde se evidenció que las cepas de *Rhizobium*, *Azospirillum* y *Pseudomona* poseen la mayor capacidad de promoción del desarrollo en plantas de girasol y maíz.

En términos comparativos, los resultados evidencian diferencias notables en la respuesta de maíz y girasol ante la inoculación con cepas promotoras del crecimiento. El maíz (*Zea mays*) mostró incrementos relativos más altos en biomasa y longitud radicular frente al girasol, lo que sugiere una mayor sensibilidad de gramíneas a bacterias diazotróficas como *Rhizobium* y *Azospirillum*. Estas especies son conocidas por su capacidad de colonizar la rizósfera de gramíneas y fijar nitrógeno de manera eficiente ¹⁰.

Por el contrario, el girasol (*Helianthus annuus*), aunque presentó respuestas positivas, evidenció un crecimiento más moderado, posiblemente debido a diferencias en la estructura radicular, tasa de transpiración y composición exudativa que limitan la simbiosis bacteriana. Este comportamiento ha sido descrito también por De la Vega-Camarillo et al. ⁵ y Márquez-Cruz et al. ⁷, quienes reportaron que los consorcios microbianos actúan con mayor eficacia en gramíneas que en dicotiledóneas oleaginosas.

En conjunto, estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que la efectividad de los bioinoculantes depende no solo de la cepa bacteriana, sino también de la compatibilidad fisiológica entre el microorganismo y la especie vegetal hospedera, aspecto que deberá ser considerado en futuras aplicaciones agrícolas.

Estos resultados coinciden con estudios realizados en Cuba por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícola que demostró que las cepas de *Rhizobium* utilizadas en los tratamientos para mejorar el crecimiento del maíz, muestran un efecto superior en la fase de crecimiento del cultivo, pues mostraron mejores resultados los tratamientos inoculados con las cepas, en comparación con el testigo ⁷. Además, un estudio más reciente evidencia que la inoculación con cepas de *Rhizobium* promovió el crecimiento del maíz, aumentando el peso de raíces y tallos y reestructurando la comunidad microbiana de la rizósfera hacia una composición más favorable para los cultivos ⁸. Por otro lado, en Los Andes del Ecuador a través de una investigación se evidenció que la inoculación con *Azospirillum* en maíz harinoso incrementó significativamente la longitud radicular, el rendimiento de la mazorca y la producción total de granos, especialmente cuando se combinó con *Pseudomonas*, alcanzando un rendimiento de 19,7 t/ha frente a 13,6 t/ha del control, con diferencias estadísticamente significativas ⁹.

El efecto beneficioso de las bacterias diazótrofes como *Rhizobium* y *Azospirillum* radica en diferentes mecanismos, tales como: la producción de sustancias estimuladoras del crecimiento; así como la inducción de resistencia en la planta y la fijación del nitrógeno; participan en procesos investigativos con fines agrícolas para mejorar la nutrición, puesto que, han sido reportadas como promotoras de crecimiento vegetal en plantas obteniendo incrementos en los parámetros de crecimiento, longitud radical, altura y producción ¹⁰.

La observación de plantas sin vigor que presentó el tratamiento con el consorcio o mix bacteriano se atribuye a un evidente antagonismo bacteriano que puede afectar negativamente a las plantas. Este fenómeno ocurre cuando una bacteria inhibe a otra mediante la producción de compuestos como antibióticos, sideróforos o ácidos orgánicos, Si se aplican cepas incompatibles en consorcio, como en algunos tratamientos mixtos, pue-

den competir entre sí y reducir su eficacia como promotores del crecimiento vegetal. Además, algunas bacterias antagonistas pueden liberar metabolitos secundarios que, en concentraciones elevadas, resultan fitotóxicos y dañan los tejidos radiculares o inhiben el desarrollo. Barbé y colaboradores en 2022 afirmaron que la alteración del equilibrio microbiano en la rizósfera también puede generar estrés en la planta, al interferir con interacciones beneficiosas o al activar mecanismos de defensa innecesarios, lo cual disminuye su energía disponible para el crecimiento. Por estas razones, el antagonismo bacteriano mal gestionado puede limitar el desarrollo radicular y la ganancia de masa en las plantas, como se observa frecuentemente en tratamientos con mezclas no compatibles de microorganismos ¹¹.

El uso de bacterias benéficas en la agricultura tiene importantes implicaciones prácticas que contribuyen al equilibrio entre productividad y conservación del medio natural. Estas bacterias, conocidas como microorganismos promotores del crecimiento vegetal, mejoran la fertilidad del suelo al fijar nitrógeno (*Rhizobium* y *Azospirillum*), solubilizar fósforo y liberar nutrientes esenciales (*Pseudomonas aeruginosa*), reduciendo el uso de fertilizantes químicos que desestabilizan los ecosistemas de suelo.

CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que las cepas bacterianas *Rhizobium*, *Azospirillum* y *Pseudomonas aeruginosa* constituyen agentes biológicos con alto potencial para la promoción del crecimiento vegetal en cultivos de maíz (*Zea mays*) y girasol (*Helianthus annuus*), al generar incrementos consistentes en altura, longitud radicular y biomasa en comparación con el control sin inoculación.

Las cepas *Serratia marcescens*, *Lactobacillus delbrueckii* y *Bacillus clausii* mostraron efectos favorables moderados en parámetros de crecimiento, lo que indica su posible papel complementario dentro de consorcios microbianos balanceados. En contraste, los tratamientos con *Kocuria rhizophila*, *Staphylococcus aureus* y el consorcio mixto evidenciaron efectos limitados o negativos, atribuibles a interacciones antagonistas entre microorganismos incompatibles.

Los resultados confirman que la eficacia de los bioinoculantes no depende únicamente de la cepa utilizada, sino también de la compatibilidad fisiológica entre el microorganismo y la especie vegetal hospedera, siendo más pronunciado el efecto en gramíneas que en dicotiledóneas.

La novedad principal de este estudio radica en la aplicación experimental de comunidades microbianas nativas aisladas de ambientes locales de la región de Azuero (Panamá), en condiciones controladas, como modelo para restaurar la productividad de suelos degradados. Este enfoque ofrece una alternativa sostenible y reproducible que puede ser integrada en programas de biofertilización y manejo agroecológico orientados a reducir el uso de agroquímicos y fortalecer la resiliencia de cultivos estratégicos en zonas tropicales.

Estos hallazgos constituyen una base experimental para futuros estudios que profundicen en la optimización de consorcios microbianos compatibles y en la validación estadística de su desempeño bajo condiciones de campo.

Contribución de los autores: Conceptualización, Francisco Tuñón, María Rodríguez y Alexis De La Cruz; metodología, Francisco Tuñón, María Rodríguez y Alexis De La Cruz; validación, Francisco Tuñón, María Rodríguez y Alexis De La Cruz; análisis formal, Francisco Tuñón, María Rodríguez y Alexis De La Cruz; investigación, Francisco Tuñón, María Rodríguez y Alexis De La Cruz; Redacción-redacción del borrador original, Francisco Tuñón, María Rodríguez y Alexis De La Cruz; redacción-revisión y edición, Francisco

Tuñón, María Rodríguez y Alexis De La Cruz; visualización, Francisco Tuñón, María Rodríguez y Alexis De La Cruz. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito»

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos: Agradecemos el apoyo del Laboratorio de Análisis Ambiental, Chitré, por proporcionarnos todos los insumos y equipos para desarrollar este proyecto de forma satisfactoria.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial (IA):

Los autores declaran que se utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa únicamente para la edición lingüística, corrección gramatical y estandarización de formato, bajo supervisión humana. No se emplearon herramientas de IA para la generación, análisis o interpretación de datos. Todo el contenido científico, las conclusiones y las figuras son resultado de autoría humana y fueron verificadas de manera independiente por los autores, conforme a la política de *BioNatura Journal* sobre contenidos asistidos por IA (<https://bionaturajournal.com/artificial-intelligence--ai-.html>).

REFERENCIAS

1. Consejo Internacional de Cereales. Información sobre mercados mundiales de granos [Internet]. Londres: International Grains Council; 2022 [citado 2025 ago 1]. Disponible en: <https://www.igc.int/es/>
2. Al-Tammar FK, Khalifa AYZ. Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal impulsan la seguridad alimentaria. *Braz J Biol.* 2022;82:e267257. doi:10.1590/1519-6984.267257
3. Tarekegn-Makiso L, Chandra-Sekhar SB, Bulcha W. Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes for quantitative association traits and character of seed yield and yield components at Oromia region, Ethiopia. *Euphytica.* 2021;217(1):27. doi:10.1007/s10681-021-02801-8
4. Escalante-Estrada JAS, Aguilar-Carpio C, Escalante-Estrada YI. Rendimiento, acumulación y distribución de biomasa en girasol en función de la salinidad y nitrógeno. *Ecosistemas Recur Agropec.* 2022;9(1):1–8. doi:10.19136/era.a9n1.2821
5. De la Vega-Camarillo E, Sotelo-Aguilar J, Ríos-Galicia B, Mercado-Flores Y, Arteaga-Garibay R, Villa-Tanaca L, et al. Promotion of the growth and yield of *Zea mays* by synthetic microbial communities from Jala maize. *Front Microbiol.* 2023;14:1167839. doi:10.3389/fmicb.2023.1167839
6. Manjunath M, Khokhar A, Chary GR, Singh M, Yadav SK, Gopinath KA, et al. Microbial consortia enhance the yield of maize under sub-humid rainfed production system of India. *Front Sustain Food Syst.* 2023;7:1108492. doi:10.3389/fsufs.2023.1108492
7. Márquez-Cruz S, Martínez-Cruz M, Acosta-Roca R. Efecto de rizobios en el crecimiento y rendimiento del cultivar de maíz (*Zea mays* L.) P-79-28. *Cult Trop.* 2022;43(4):1–5.
8. Sangoquiza-Caiza C, Zambrano-Mendoza J, Borgues-García M, Cho KJ. Respuesta del maíz harinoso (*Zea mays* L. var. *Amylacea*) a la inoculación de *Azospirillum* y *Pseudomonas* [Internet]. Redalyc; 2024 [citado 2025 ago 1]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4760/476077146010>
9. Barbé S, Figàs-Segura A, Benada M, Navarro-Herrero I, Sampaio TM, Biosca EG, Marco-Noales E. Plant-associated microbiota as a source of antagonistic bacteria against the phytopathogen *Erwinia amylovora*. *Environ Microbiol Rep.* 2022;14(4):559–69. doi:10.1111/1758-2229.13064
10. García-Castro JD. Efecto de bacterias diazotrofas y su importancia para el rendimiento de los cultivos de ciclo corto [tesis de licenciatura]. Babahoyo (Ecuador): Universidad Técnica de Babahoyo; 2021.
11. Li Z, Chi Y, Su X, Ye Z, Ren X. *Rhizobium* seed soaking promoted maize growth by altering rhizosphere microbiomes and associated functional genes. *Microorganisms.* 2023;11(7):1654. doi:10.3390/microor-ganisms11071654

Received: 20 Aug 2025 / **Accepted:** 10 Nov 2025 / **Published (online):** 15 Dec 2025 (Europe/Madrid)

Citation:

Tuñón F, Rodríguez M, De la Cruz A. *Application of microbial communities as an experimental model for improving the yield of sunflower (*Helianthus annuus*) and corn (*Zea mays*)*. **BioNatura Journal**. 2025; 2(4): 6. <https://doi.org/10.70099/BJ/2025.02.04.6>

Additional Information

Correspondence should be addressed to: franciscotunonb@gmail.com

Peer Review Information:

BioNatura Journal thanks the anonymous reviewers for their valuable contribution to the peer-review process. Regional peer-review coordination was conducted under the **BioNatura Institutional Publishing Consortium (BIPC)**, involving Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Universidad de Panamá (UP), and RELATIC (Panama), with reviewer support via <https://reviewlocator.webofscience.com/>.

Publisher Information:

Published by **Clinical Biotec S.L. (Madrid, Spain)** as the publisher of record under the *BioNatura Institutional Publishing Consortium (BIPC)*.

Institutional co-publishers: **UNAH (Honduras), UP (Panama), and RELATIC (Panama)**.

Places of publication: **Madrid (Spain); Tegucigalpa (Honduras); Panama City (Panama)**.

Online ISSN: 3020-7886

Open Access Statement:

All articles published in *BioNatura Journal* are freely and permanently available online immediately upon publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note:

BioNatura Journal remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright and License:

© 2025 by the authors. This article is published under the terms of the **Creative Commons Attribution (CC BY 4.0)** license, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

For details, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Governance:

For editorial governance and co-publisher responsibilities, see the **BIPC Governance Framework (PDF)** at <https://clinicalbiotec.com/bipc>.