

AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE BACTERIAS PGPR ASOCIADAS CON AJÍ MORRÓN (*Capsicum annuum* Group) EN INVERNADERO

Isolation and characterization of PGPR bacteria associated with bell pepper (*Capsicum annuum* Group) in Greenhouse

Alfonso Morillo De los Santos¹, Iris Esther Marcano², Juan De la Cruz Araujo-Lara³, Robinson Sosa-Martínez⁴, Leia Nichole Dotel-Pérez⁵, Libia Wilsandra Mateo-Mejía⁶, Marcia Barquero Quirós⁷, Pedro Antonio Nuñez Ramos⁸

RESUMEN

El uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) representa una alternativa sostenible en la producción agrícola, en especial rubros con exigencias internacionales sobre prácticas sostenibles. El pimiento producido en invernaderos de República Dominicana, representa uno de los cultivos de mayor crecimiento y rentabilidad en las últimas décadas. La investigación tuvo el objetivo de aislar, caracterizar bacterias PGPR y evaluar el potencial efecto bioestimulante en el cultivo de pimiento. Se colectaron muestras de raíces de plantas sanas de pimiento producidos en invernaderos de las provincias Azua, San José de Ocoa y La Vega, República Dominicana. Las bacterias endofíticas fueron aisladas, purificadas e identificadas mediante extracción de ADN, secuenciación del gen 16S rRNA, comparadas en el banco Gene Bank y se realizaron pruebas bioquímicas. Se aislaron 117 bacterias mediante secuenciación molecular de las cuales ocho resultaron ser PGPR. Entre estas se encuentran: *Bacillus siamensis*, *Pseudomonas atacamensis*, *Rhizobium oryzihabitans*, *Bacillus haikouensis*, *Antribacter gilvus*, *Enterobacter ludwigii*, *Priestia aryabhattachai* y *Kosakonia pseudosacchari*. Estas bacterias crecieron a diferentes rangos de temperaturas, pH y salinidad. Seis fueron positivas a catalasa y una produjo sideróforos. En pruebas en invernadero, con un diseño en bloques al azar, se inocularon plantas de pimiento para evaluar altura, grosor del tallo y biomasa. Las bacterias mostraron diferencias significativas en relación al testigo sin fertilizar ni inocular. Aunque no hubo diferencias significativas con el testigo fertilizado, se observó un efecto positivo, incrementando el desarrollo de las plantas. Los resultados sugieren que especies como *Bacillus siamensis* tienen potencial como biofertilizantes por su adaptación a las condiciones del medio y por su efecto bioestimulante en las plantas.

Palabras clave: *Bacillus siamensis*, bioestimulante, *Fusarium oxysporum*, *Kosakonia pseudosacchari*, *Rhizobium oryzihabitans*.

ABSTRACT

The use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) represents a sustainable alternative in agricultural production, especially in areas with international requirements for sustainable practices. Peppers produced in greenhouses in the Dominican Republic are one of the fastest-growing and most profitable crops in recent decades. The research aimed to isolate and characterize PGPR bacteria and evaluate their potential biostimulant effect on pepper crops. Root samples were collected from healthy pepper plants produced in greenhouses in the provinces of Azua, San José de Ocoa, and La Vega, Dominican Republic. Endophytic bacteria were isolated, purified, and identified by DNA extraction, 16S rRNA gene sequencing, and compared with Gene Bank data. Biochemical tests were performed. One hundred and seventy-seven bacteria were isolated by molecular sequencing, eight of which were found to be PGPR. These included *Bacillus siamensis*, *Pseudomonas atacamensis*, *Rhizobium oryzihabitans*, *Bacillus haikouensis*, *Antribacter gilvus*, *Enterobacter ludwigii*, *Priestia aryabhattachai*, and *Kosakonia pseudosacchari*. These bacteria grew at different temperatures, pH, and salinity levels. Six were catalase-positive, and one produced siderophores. In greenhouse tests using a randomized block design, pepper plants were inoculated to evaluate height, stem thickness, and biomass. The bacteria showed significant differences compared to the unfertilized and uninoculated control. Although there were no significant differences compared to the fertilized control, a positive effect was observed, increasing plant development. The results suggest that species such as *Bacillus siamensis* have potential as biofertilizers due to their adaptation to environmental conditions and their biostimulating effect on plants.

Keywords: *Bacillus siamensis*, biostimulant, *Fusarium oxysporum*, *Kosakonia pseudosacchari*, *Rhizobium oryzihabitans*.

¹ Docente e Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2218-6488>. amorillo13@uasd.edu.do

² Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo. Centro de Tecnologías Agrícolas, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6464-7298>. imarcano80@uasd.edu.do

³ Docente e Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6657-1816>. jaraujo14@uasd.edu.do

⁴ Asistente de investigación, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana robinsonsona1426@gmail.com

⁵ Asistente de investigación, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana leiadotel4@gmail.com

⁶ Asistente de investigación, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana libiamateomejia27@gmail.com

⁷ Investigadora, Biotecnologa Agrícola. Universidad de León, España. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7701-7439>. marciabq@gmail.com

⁸ Docente e Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7580-7931>. pnunez25@uasd.edu.do

INTRODUCCIÓN

La agricultura constituye una actividad fundamental para numerosos países, ya que no solo genera ingresos económicos, sino que también asegura la disponibilidad de alimentos, siendo crucial para la seguridad alimentaria (FAO, 2021). En la República Dominicana, en los últimos años la producción agrícola bajo invernadero se ha incrementado significativamente en términos de superficie, productividad y rentabilidad (MA, 2023; Pani et al., 2021). Sin embargo, factores como el aumento de requisitos de inocuidad por parte de los consumidores, la incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos, y el incremento de los precios de fertilizantes e insumos, aumentan los costos de producción, lo que sugiere la necesidad de buscar alternativas que ayuden a solventar dichos factores (García et al., 2021). Una alternativa, para abordar este desafío, es la planteada por la industria biotecnológica con el desarrollo de tecnologías agrícolas sostenibles mediante el uso de microorganismos benéficos (Crespo et al., 2025). Los microorganismos benéficos juegan un papel importante en diversos ecosistemas, incluyendo la agricultura. Entre estos microorganismos se encuentran las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*), según Basu et al. (2021) y Marcano et al. (2024a, 2024b). El término PGPR se acuñó a partir de 1970 para bacterias con estas características (Chi et al., 2025) y desde entonces se han realizado numerosos estudios sobre la promoción del crecimiento en plantas y sobre el biocontrol de fitopatógenos (El-Minisy et al., 2025; Pedraza et al., 2020). Las PGPR utilizan diversos mecanismos, entre los que se encuentran: la fijación de nitrógeno, la producción de fitohormonas, la solubilización de fosfatos, la producción de sideróforos y de enzimas quitinasas y glucanasas, la inducción de resistencia y el aumento de la tolerancia a estrés

abiótico (Peteira Delgado-Oramas, 2020).

Las PGPR están presentes en la rizosfera y en el interior de las plantas, estableciendo una relación beneficiosa con las mismas (Sánchez et al., 2022) brindando ventajas selectivas al hospedante (Chi et al., 2025; Ram et al., 2022). El empleo de PGPR ha permitido el desarrollo de bioinsumos que mejoran el rendimiento de los cultivos, reducen el impacto ambiental y en la salud humana de los productos químicos agrícolas y promueven la agricultura sostenible (Velasco et al., 2019). La selección de cepas bacterianas autóctonas para su utilización como PGPR, favorece su buen funcionamiento en el campo y constituye uno de los primeros y más relevantes pasos en el desarrollo de un insumo biotecnológico (Alcarraz et al., 2019).

Esta investigación se basó en el aislamiento, caracterización bioquímica e identificación molecular de cepas bacterianas provenientes de raíces de plantas sanas de ají morrón (*Capsicum annuum* Group) en invernaderos de la República Dominicana. El objetivo consistió en la evaluación de su potencial PGPR mediante la validación de su efecto en la estimulación del crecimiento vegetal para ser usadas en la industria biotecnológica en la producción de bioinsumos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y descripción de la zona de estudio

El aislamiento de cepas bacterianas, para su utilización como potenciales PGPR, se realizó en invernaderos comerciales productores de diferentes variedades de ají morrón (*Capsicum annuum* Group) localizados en Jarabacoa y Constanza provincia La Vega; Guayabal y Padre Las Casas provincia de Azua y Rancho Arriba y Naranjal y la Ciénaga en la provincia de San José de Ocoa, República Dominicana (Figura 1).

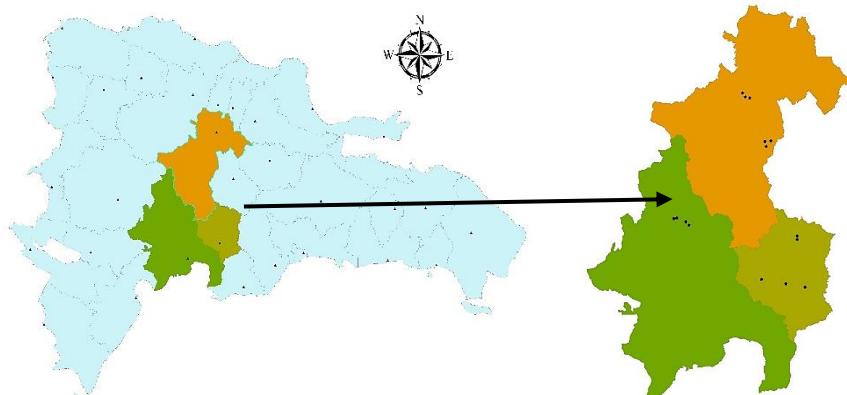


Figura 1. Localización de las zonas, los puntos negros representan las zonas de muestreo en las provincias de Azua, San José de Ocoa y La Vega, República Dominicana. Elaboración propia con datos levantados en la fase de campo.

Metodología

El muestreo se desarrolló entre febrero 2020 y febrero 2021, los invernaderos fueron seleccionados mediante un muestreo estratificado en 15 unidades de invernaderos con diferentes condiciones de sustratos (suelo, cenizas), plantas estén en diferentes etapas de su fase vegetativa y condiciones de manejo muy diversas. Luego, a cada propietario de invernadero seleccionado, se le aplicó una encuesta para conocer el manejo agronómico del cultivo. Se trató de seleccionar invernaderos lo menos afectados por plagas, enfermedades e incidencia de fertilización química. Se seleccionaron plantas fenotípicamente sanas. Las muestras de raíces recolectadas fueron trasladadas en una nevera portátil con hielo para mantenerlas fresca hasta llegar al laboratorio.

Las raíces frescas se esterilizaron superficialmente con una solución de etanol al 70% durante un minuto, seguido de una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 6% durante 6 minutos y 6 lavados consecutivos con agua estéril (González, 2022). Posteriormente se sembraron en medio de cultivo Tripteína Soya Agar (TSA) (Loor et al., 2021). Las placas se incubaron a 28 °C entre 48 y 96 horas y se llevaron a cabo sucesivas resiembres de las colonias crecidas hasta purificarlas, de acuerdo con su morfología, hasta obtener colonias aisladas. Las colonias puras seleccionadas se guardaron en glicerol al 30% (agente crioprotector) para su conservación a -80 °C (Castro, 2021).

Identificación molecular de cepas bacterianas aisladas de raíces de ají morró

El ADN de las cepas puras aisladas se extrajo con el kit Promega Wizard Genomic DNA purification Kit. Una vez obtenido el ADN se procedió a realizar la amplificación del gen 16S ARNr (Cortés-López et al., 2020) por Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), utilizando cebadores universales para este gen. El producto de PCR fue separado por electroforesis en un gel de agarosa al 1% usando el tampón Tris Borato EDTA (TBE). La banda correspondiente al gen 16S con un tamaño entre 1 000 y 1 500 pb, fue extraída del gel y purificada con el Kit Gene Clean. Esta banda fue enviada a secuenciar al laboratorio Psomage en Maryland, USA (Shanenko, et al. (2020). Las secuencias recibidas fueron analizadas y editadas con los programas CHROMAS (Technelysium Pty Ltd) y BioEdit, una vez editadas se utilizó el programa SeqMan (DNASTAR, Inc.) para

alinear las cadenas de las secuencias y obtener la secuencia consenso. Las secuencias se introdujeron en la base de datos del Centro Nacional de Información en Biotecnología (NCBI, por sus siglas en inglés National Center for Biotechnology Information), según Dong et al. (2025) para la identificación de las especies bacterianas.

Una vez identificadas las cepas bacterianas aisladas de las raíces de ají morró, se realizaron pruebas *in vitro* con el fin de evaluar el crecimiento bajo diferentes condiciones de estrés abiótico mediante variaciones de temperatura, pH y salinidad (Radhakrishnan y Krishnasamy, 2024). Se evaluó crecimiento de los aislados a diferentes rangos de temperaturas (18 °C, 28 °C y 38 °C), pH (6.3, 7.3 y 8.3), salinidad (1.0%, 1.25% y 1.50%), KOH 3%, reacción a catalasa, solubilización de fosfatos y producción de sideróforos (Morales y Hernández, 2023).

Diseño experimental

Se usó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar (BCA) en cada ensayo, con 11 tratamientos y cuatro repeticiones, cada unidad experimental estuvo compuesta por dos plantas, para un total de ocho plantas/tratamiento (Tabla 1). Las plantas de ají morró se obtuvieron de semillas híbridas F1 variedad California. Las semillas se germinaron en sustrato sunshine #4 mix y después de 30 días se trasplantaron a macetas con dimensiones de 6.5 pulgadas profundidad x 6.5 pulgadas ancho x 6.5 pulgadas altura.

Se elaboraron inóculos líquidos con las cepas bacterianas que mostraron las mejores características como PGPR en las pruebas *in vitro*. Las bacterias se pusieron a crecer en medio TSA por 48 horas y luego se pasaron a medio TSB, incubándose durante cinco días a 28 °C hasta obtener una concentración de 1×10^8 UFC ml⁻¹ (Unidades Formadoras de Colonias/ml). Las plantas de ají se inocularon cuatro veces con las cepas bacterianas. La primera inoculación se realizó en el momento del trasplante y las restantes tres, cada siete días. Las plantas se inocularon en la raíz con 5 ml de la correspondiente cepa bacteriana crecida en medio TSB a una concentración de 1×10^8 UFC ml⁻¹ (Jo et al., 2020).

Los ensayos se mantuvieron en el invernadero durante nueve semanas. Semanalmente se realizaron mediciones para determinar la altura de la planta (cm) y el grosor del tallo (mm). Al finalizar el ensayo se determinó el peso fresco y seco.

Tabla 1. Tratamientos aplicados en los ensayos de determinación de capacidad PGPR.

Tratamiento	Especie de bacteria aplica	Cepa
T1	<i>Bacillus siamensis</i>	J03-COL01
T2	<i>Pseudomonas atacamensis</i>	J02-COL1
T3	<i>Antribacter gilvus</i>	C03-COL3
T4	<i>Priestia aryabhattai</i>	J03-COL3
T5	<i>Bacillus haikouensis</i>	J05-COL2
T6	<i>Rhizobium oryzihabitans</i>	J05-COL3
T7	<i>Kosakonia pseudosacchari</i>	SJO74B1
T8	<i>Enterobacter ludwigii</i>	PCG-19b1
T9	Mezcla de todas las bacterias	-
T10	Control (fertilizado sin bacteria)	
T11	Control (Sin fertilización y sin bacteria)	

J = Jarabacoa; C = Constanza; SJO = San Jose de Ocoa, PCG = Padre las Casas – Guayabal (Azua) y COL = Colonia.

T1 = *Bacillus siamensis*; T2 = *Pseudomonas atacamensis*; T3 = *Antribacter gilvus*; T4 = *Priestia aryabhattai*; T5 = *Bacillus haikouensis*; T6 = *Rhizobium oryzihabitans*; T7 = *Kosakonia pseudosacchari*; T8 = *Enterobacter ludwigii*; T9 = Mezcla de todas las bacterias; T10 = Control (Fertilizado sin bacteria); T11 = Control (Sin fertilización y sin bacteria).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el software InfoStat, versión 2020. Se realizaron análisis de varianza, evaluando los supuestos de normalidad y homogeneidad, mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y de Levene, respectivamente, y se procedió a realizar comparación de media mediante la prueba de Tukey al 95% (Di Rienzo et al., 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento y caracterización de bacterias PGPR

Se aislaron y purificaron un total de 117 cepas bacterianas de acuerdo con criterios morfológicos. Por medio de los métodos moleculares para la ampliación del gen 16S se separaron 64 aislados, los cuales fueron enviados. Se identificaron 36 cepas por medio

de la secuenciación del 16S, de las 36 bacterias identificadas, 10 bacterias pertenecientes a ocho especies (Tabla 2) se seleccionaron para realizar las posteriores pruebas *in vitro* ya que pertenecían a especies reportadas como PGPR en diferentes estudios. El resto de las bacterias identificadas, fueron asociadas a patógenos en humanos, animales y plantas, por lo que se descartaron en los siguientes ensayos. Estos resultados coinciden con aislamientos realizados por Huasasquiche et al. (2020) en el cultivo del tarwi. Además de lo reportado por Marcano et al. (2024b), en diferentes especies de musáceas (*Musa* sp.), y Loor et al. (2021) en plantaciones de cacao, estos reportaron una alta diversidad de microorganismos asociados a la rizosfera de las plantas, entre los que se encuentran bacterias de PGPR interactuando con las plantas y otros microorganismos (Esikova et al., 2021).

Tabla 2. Especies de bacterias PGPR identificadas.

Cepa	Especie	Número acceso	Reportado
C-05 col.1 C-03 col. 3	<i>Antribacter gilvus</i>	NZ_QXTH01000044.1	Zhang et al., 2019
J-05 col. 2	<i>Bacillus haikouensis</i>	NZ_JABMCR010000571.1	Dong et al., 2025
J-03 col.1 C-05 col.2	<i>Bacillus siamensis</i>	NZ_AJVF01000043.1	Awan et al., 2020; Gorai et al., 2021
SJO-74 b1	<i>Kosakonia pseudosacchari</i>	NZ_CP063425.1	Romano et al., 2020
J-03 col.3	<i>Priestia aryabhattai</i>	NZ_CP024037.1	Esikova et al., 2021
J-02 col.1	<i>Pseudomonas atacamensis</i>	NZ_CP070503.1	Guerra et al., 2023
J-05 col.3	<i>Rhizobium oryzihabitans</i>	NZ_CP048635.1	Zhao et al., 2020
PCG-19b1	<i>Enterobacter ludwigii</i>	NZ_CP017280.1	Lee et al., 2019

J = Jarabacoa; C = Constanza; SJO = San Jose de Ocoa, PCG = Padre las Casas – Guayabal (Azua) y COL = Colonia.

Las bacterias demostraron un crecimiento a diferentes condiciones de temperatura, siendo *Antribacter gilvus* la que presentó menor crecimiento a 38 °C. Estos resultados coinciden con los reportes de Zhang et al. (2019), estos indican que la temperatura óptima para

Antribacter gilvus fue de 28 °C. Mientras Zhao et al. (2020), determinaron que el *Rhizobium oryzihabitans* tolera temperatura entre 4 °C y 50 °C. En los rangos de pH desde ligeramente ácido hasta alcalino el crecimiento fue de un 100% en todas las cepas

bacterianas. Otras literaturas demuestran sobre el crecimiento de las bacterias en lo que pueden incluso adaptarse a condiciones extremas de pH, que van desde 3 hasta 12, como una evidencia de la tolerancia del estrés (Feng et al., 2025; El-Minisy et al., 2025; Velasco, 2022). En la exposición a NaCl en medios de cultivos todas las cepas mostraron capacidad de crecimiento. Shahid et al. (2022) reportan una capacidad de tolerancia de estrés de *P. aryabhattai* a condiciones de salinidad de hasta 15% de NaCl.

En la prueba de KOH al 3% se identificaron como grampositivas las cepas *Bacillus siamensis*, *Bacillus haikouensis* y *Antribacter gilvus*, otras bacterias que según el ensayo de KOH se observaron como grampositivas. Sin embargo, otros reportes indican lo contrario, citando las especies *Pseudomonas atacamensis* (Guerra et al., 2023) y *Rhizobium oryzae* (Zhao et al., 2020). Las cepas bacterianas *Enterobacter ludwigii*, *Priestia aryabhattai* y *Kosakonia pseudosacchari*, resultaron ser gramnegativas. Estos resultados concuerdan con los reportes en la descripción de las características fisiológicas de las bacterias y las diferencias en la clasificación se deben a los métodos utilizados.

La reacción a la producción de enzima catalasa se determinó como positivo en las cepas *Bacillus siamensis*, *Pseudomonas atacamensis*, *Bacillus haikouensis*, *Antribacter gilvus*, *Enterobacter ludwigii*, *Priestia aryabhattai* y *Kosakonia pseudosacchari*. No reaccionó a la prueba de catalasa *Rhizobium oryzae*; sin embargo, esto es contrario a lo observado por (Zhao et al., 2020) quien determinó que esta bacteria fue catalasa positiva. Esta enzima que provee la bacteria degradar el peróxido de hidrógeno y protege las plantas de sus efectos dañinos.

La producción de sideróforos solo fue evidenciada en la cepa de *Bacillus siamensis* (Xie et al., 2021), sin embargo, las descripciones de Romano et al. (2020) y Zhao et al. (2020) sobre cepas de *Kosakonia pseudosacchari* y *Rhizobium oryzae*, demostraron esta capacidad de aprovechamiento del hierro y competir con el consumo de nutrientes de los patógenos. La solubilización de fosfato solo fue evidenciada por la cepa *Kosakonia pseudosacchari*; no obstante, también se reporta en la descripción de *Rhizobium*.

Efecto bioestimulante de las bacterias PGPR

Los componentes de desarrollo de la planta, altura y grosor del tallo mostraron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 3). Se observó un incremento en las plantas inoculadas y testigo fertilizado de un 60% respecto al control negativo. Así mismo se observó un incremento de 15% en la altura y un 66% y 17% en el grosor del tallo comparado con los testigos control negativo y positivo respectivamente donde las cepas más eficientes resultaron ser *Kosakonia pseudosacchari* y *Priestia aryabhattai*. La misma tendencia se observó en biomasa fresca y seca con incrementos del 89.5% y 54.2% en peso fresco y 87.5% y 45.02% comparado con los testigos control sin fertilización y control fertilizado respectivamente donde las mejores cepas resultaron ser *Priestia aryabhattai* y *Enterobacter ludwigii* respectivamente. Según la dinámica del crecimiento de la planta cada tipo de bacteria utilizada influyó de manera distinta en el desarrollo de las plantas. Desde la semana 4 hasta la semana 8 en el tratamiento donde se evidenció mayor incremento de la altura de la planta es el inoculado con (T7) *Kosakonia pseudosacchari*. En el tratamiento mezclado todas las bacterias se observan una asociación, pero la misma no logró ser superior (Figura 2).

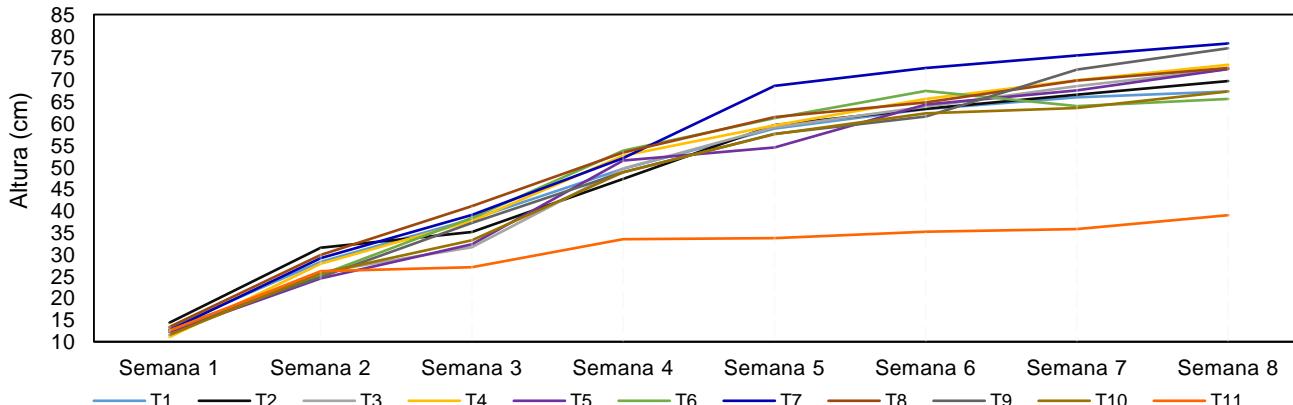


Figura 2. Dinámica semanal de la altura de las ajíes morrón. T1 = *Bacillus siamensis*; T2 = *Pseudomonas atacamensis*; T3 = *Antribacter gilvus*; T4 = *Priestia aryabhattai*; T5 = *Bacillus haikouensis*; T6 = *Rhizobium oryzae*; T7 = *Kosakonia pseudosacchari*; T8 = *Enterobacter ludwigii*; T9 = Mezcla de todas las bacterias; T10 = Control (fertilizado sin bacteria); T11 = Control (sin fertilización y sin bacteria).

Tabla 3. Comparación de medias de altura, grosor del tallo y biomasa entre los tratamientos.

Tratamientos	Especies*	Altura planta (cm)	Grosor del tallo (mm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
T1	<i>Bacillus siamensis</i>	54.19 b	7.30 cd	91.88 b	13.65 b
T2	<i>Pseudomonas atacamensis</i>	55.41 b	5.08 b	81.40 b	13.20 b
T3	<i>Antribacter gilvus</i>	60.43 b	7.60 cd	89.65 b	12.65 b
T4	<i>Priestia aryabhattachai</i>	62.41 b	8.22 d	100.35 b	12.38 b
T5	<i>Bacillus haikouensis</i>	60.29 b	7.24 bcd	72.33 b	9.58 ab
T6	<i>Rhizobium oryzihabitans</i>	61.61 b	7.56 cd	80.58 b	12.15 b
T7	<i>Kosakonia pseudosacchari</i>	65.71 b	5.92 bc	90.15 b	12.90 b
T8	<i>Enterobacter ludwigii</i>	59.38 b	7.65 cd	83.28 b	13.78 b
T9	MIX	64.63 b	6.37 bcd	70.15 b	9.23 ab
T10	Control Fertilizado	55.85 b	6.82 bcd	59.53 ab	7.73 ab
T11	Control sin fertilizar	26.48 a	2.80 a	10.63 a	1.75 a
p Valor		0.0001	0.0001	0.0001	0.0005

*Medias con letras comunes no difieren significativamente entre sí, según ANOVA y pruebas de comparación de medias de Tukey al 95%; p valor < 0.05 diferencias significativas; T1 = *Bacillus siamensis*; T2 = *Pseudomonas atacamensis*; T3 = *Antribacter gilvus*; T4 = *Priestia aryabhattachai*; T5 = *Bacillus haikouensis*; T6 = *Rhizobium oryzihabitans*; T7 = *Kosakonia pseudosacchari*; T8 = *Enterobacter ludwigii*; T9 = mezcla de todas las bacterias; T10 = control (fertilizado sin bacteria); T11 = control (sin fertilización y sin bacteria).

Estos resultados coinciden con los reportados por Meza et al., (2022), quien evidenció la estimulación del desarrollo del cultivo del pimiento y alubias con el uso de bacterias PGPR, también por Marcano et al. (2024b) en el desarrollo de plantas de musáceas, en cultivo de tarwi (Huasasquiche et al., 2020), en arroz (Lee et al., 2019), así como otros estudios que también reportan similares resultados con la misma tendencia (León et al., 2019). Entre los mecanismos para estimular el crecimiento de las plantas utilizados por estos microorganismos, se encuentran la facilitación de la adquisición de recursos, la fijación de nitrógeno, la solubilización de fosfato, la producción de sideróforos, de ácido indolacético (IAA), la degradación del etileno mediante la acción de la enzima ACC desaminasa (Chi et al., 2025; Bilé et al., 2025).

CONCLUSIONES

En el cultivo de *Capsicum annuum* se aislaron ocho bacterias PGPR, y en las pruebas bioquímicas realizadas para evaluar la capacidad de adaptación a los factores de estrés del ambiente todas las bacterias superaron las pruebas y, se demostró su capacidad de producción de sideróforos *Bacillus siamensis* y solubilización de fosfatos *Kosakonia pseudosacchari*.

Las bacterias que mostraron mayor efectividad por encima del control fertilizado fueron: en el grosor de los tallos, las bacterias *Priestia aryabhattachai*, *Enterobacter ludwigii*, *Antribacter gilvus*, *Rhizobium oryzihabitans* y *Bacillus siamensis* mostraron inducir incremento en el diámetro del tallo que el control fertilizado. En la producción de biomasa tanto para peso fresco como

para peso seco, todas las bacterias muestran tendencias a inducir aumento de la biomasa de las plantas, superando el testigo control.

Agradecimientos

Al Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología y al Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico, por el financiamiento del proyecto: Formulación de un bioestimulante agrícola basado en bacterias endofíticas autóctonas promotoras del crecimiento vegetal (PGPRs) y controladoras de hongos patógenos en ají morrón (*Capsicum annuum* Group) en invernadero. Código 2018-2019-2B2-177. Además, se agradece al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (FCAV-UASD) por facilitar las instalaciones y la logística para el desarrollo de los ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

Awan, S; Ilyas, N; Khan, I; Raza, MA; Rehman, AU; Rizwan, M; Brestic, M. 2020. *Bacillus siamensis* reduces cadmium accumulation and improves growth and anti-oxidant defense system in two wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties (en línea). Plants 9(7):878. Disponible en <https://doi.org/10.3390/plants9070878>

Alcarraz, M; Heredia, V; Julian, JP. 2019. Cepas bacterianas nativas con actividades promotoras del crecimiento vegetal aisladas de la rizosfera de *Coffea* spp. en Pichanaqui, Perú (en línea). Biotecnología Vegetal 19(4):285-295. Disponible en <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/645>

- Basu, A; Prasad, P; Das, SN; Kalam, S; Sayyed, RZ; Reddy, MS; El Enshasy, H. 2021. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects (en línea). *Sustainability* 13(3):1140. Disponible en <https://doi.org/10.3390/su13031140>
- Bilé, EJ; Gadji, AAG; Tienbo, EO; Kambiré, O; Kouadio, MJA; Kouadio, TK; Nganko, JM; Abo, K. 2025. Valorization of agricultural and industrial wastes to produce *Trichoderma virens*, an effective plant disease biocontrol agent (en línea). *Waste and Biomass Valorization* 1-16. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s12649-025-02888-y>
- Castro, DJ. 2021. Caracterización de bacterias que pueblan rambla salada (Murcia) y evaluación de su potencial para el control de infecciones fúngicas en el olivar (en línea). Doctoral dissertation. Universidad de Granada. Disponible en <http://hdl.handle.net/10481/71865>
- Cortés-López, NG; Ordóñez-Baquera, PL; Domínguez-Viveros, J. 2020. Herramientas moleculares utilizadas para el análisis metagenómico (en línea). Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 11(4):1150-1173. Disponible en <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i4.5202>
- Chi, Y; Ma, X; Chu, S; You, Y; Chen, X; Wang, J; Wang, R; Zhang, X ; Zhang, D; Zhao, T; Zang, D; Zhou, P. 2025. Nitrogen cycle induced by plant growth-promoting rhizobacteria drives “microbial partners” to enhance cadmium phytoremediation (en línea). *Microbiome* 13:113. Disponible en <https://doi.org/10.1186/s40168-025-02113-x>
- Crespo, JA; Carranza, CC; Suquilandia, MB; Arellano, KV; Vera, LF. 2025. Caracterización morfológica y optimización de bio-insumo a base de microorganismos eficientes para la agricultura sostenible (en línea). *Revista Científica Agropecuaria* 25(1):89-105. Disponible en https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-48212025000100089&script=sci_arttext
- Di Renzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2020. InfoStat 2020 (en línea). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Dong, L; Hu, S; Xu, H; Bai, X; Pan, Z; Dong, A; Cai, J; Yu, X. 2025. Drought-growth promoting bacteria enhance drought tolerance by improving root conformation of *Caragana microphylla* (en línea). *Rhizosphere* 35:101095. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2025.101095>
- El-Minisy, AM; Bekheet, SA; El-Assal, SEL; Soliman, M; Amer, AM; Hassan, M; El-Shabrawi, HM; El-Tarras, A. 2025. *Serratia rubidaea* SR19: A cadmium-tolerant bacteria enhancing phosphate solubilization, IAA production, and promoting cucumber seed germination (en línea). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 65:103546. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103546>
- Esikova, TZ; Anokhina, TO; Abashina, TN; Suzina, NE; Solyanikova, IP. 2021. Characterization of soil bacteria with potential to degrade benzoate and antagonistic to fungal and bacterial phytopathogens (en línea). *Microorganisms* 9(4):755. Disponible en <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040755>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2021. The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses (en línea). Disponible en <https://doi.org/10.4060/cb4476en>
- Feng, Q; Luo, Y; Liang, M; Cao, Y; Wang, L; Liu, C; Zhang, X; Ren, L; Wang, Y; Wang, D; Zhu, Y; Zhang, Y; Xiao, B; Li, N. 2025. Rhizobacteria protective hydrogel to promote plant growth and adaption to acidic soil (en línea). *Nature Communications* 16(1):1684. Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56988-3>
- García, S; Morel, M; de Dios, J; Avilés, E; Nuñez, PA; Matos, L. 2021. Aislamiento de hongos fitopatógenos de las principales zonas de producción de vegetales bajo ambiente protegido en República Dominicana (en línea). *APF* 10(1):1-10. Disponible en <https://www.sodaf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/125>
- Gorai, PS; Ghosh, R; Mandal, S; Ghosh, S; Chatterjee, S; Gond, SK; Mandal, NC. 2021. *Bacillus siamensis* CNE6- a multifaceted plant growth promoting endophyte of *Cicer arietinum* L. having broad spectrum antifungal activities and host colonizing potential (en línea). *Microbiological Research* 252:126859. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126859>
- González, MÁR. 2022. Aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal con actividad quorum quenching frente a estrés biótico y abiótico (en línea). Doctoral dissertation. Universidad de Granada. Disponible en <http://hdl.handle.net/10481/73628>
- Guerra, M; Carrasco-Fernández, J; Valdés, JH; Panichini, M; Castro, JF. 2023. Draft genome of *pseudomonas* sp. RGM 2987 isolated from stevia philippiana roots reveals its potential as a plant biostimulant and potentially constitutes a novel species (en línea). *Electronic Journal of Biotechnology* 61:9-13. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2022.10.001>
- Huascaquiche, S; Lucero, Moreno, DP; Jiménez, DJ. 2020. Caracterización y evaluación del potencial PGPR de la microflora asociada al cultivo de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) (en línea). *Ecología Aplicada* 19(2):65-76. Disponible en <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v19i2.1557>
- Jo, H; Tagele, SB; Pham, HQ; Kim, MC; Choi, SD; Kim, MJ; Park, YJ; Ibal, JC; Park, GS; Shin, JH. 2020. Response of soil bacterial community and pepper plant growth to application of *Bacillus thuringiensis* KNU-07 (en línea). *Agronomy* 10(4):551. Disponible en <https://doi.org/10.3390/agronomy10040551>
- Lee, K; Adhikari, A; Kang, S; You, Y; Joo, G; Kim, J; Lee, I. 2019. Isolation and characterization of the high silicate and phosphate solubilizing novel strain entero-bacter ludwigii GAK2 that promotes growth in rice plants (en

- línea). *Agronomy* 9(3):144. Disponible en <https://doi.org/10.3390/agronomy9030144>
- León, F; Melani, Mancilla, FJD; Ortúño, CFN. 2019. Evaluación de bacterias endófitas promotoras de crecimiento en el cultivo de quinua (en línea). *Journal of the Selva Andina Biosphere* 7(2):88-99. Disponible en <https://sar.lurawi.com/index.php/jsab/article/view/215>
- Loor, MAV; Bernal-Cabrera, A; Coello, DV; Leiva-Mora, M; Aragón, AR; Robalino, DAR. 2021. Caracterización de bacterias endófitas formadoras de endosporas procedentes de *Theobroma cacao* L. en Quinindé, Esmeraldas, Ecuador (en línea). *Bioagro* 33(3):223-228. Disponible en <https://doi.org/10.51372/bioagro33.8>
- MA (Ministerio de Agricultura). 2023. Desempeño del Sector Agropecuario 2018-2022 (en línea). Disponible en <https://agricultura.gob.do/wp-content/uploads/2024/02/Desempeno-del-Sector-Agropecuarios-2018-2022-Final.pdf>
- Meza, C; Valenzuela, F; Echeverría-Vega, A; Gómez, A; Sarkar, S; Cabeza, RA; Arencibia, AD; Quiroz, K; Carrasco, B; Banerjee, A. 2022. Plant-growth-promoting bacteria from rhizosphere of Chilean common bean ecotype (*Phaseolus vulgaris* L.) supporting seed germination and growth against salinity stress (en línea). *Frontiers in Plant Science* 13:1052263. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1052263>
- Marcano, IE; Díaz-Alcántara, CA; Pimentel Pujols, ÁR; Vicioso Alcalá, ÁF; Núñez Ramos, PA. 2024a. Use of native plant growth promoting bacteria (PGPR) in the control of *Mycosphaerella fijiensis* in organic banana plantations in Dominican Republic (en línea). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 11(2):47-56. Disponible en <https://doi.org/10.53287/tcga1188ja16w>
- Marcano, IE; Díaz-Alcántara, CA; Pujols, ÁRP; Alcalá, ÁFV; Ramos, PAN. 2024b. Inhibición de *Mycosphaerella fijiensis* en banano orgánico (*Musa AAA* L.) con la aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (en línea). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 11(3):7-15. Disponible en <https://doi.org/10.53287/kxys3855fa98o>
- Morales, IMM; Hernández, DMG. 2023. Bacterias asociadas a la rizósfera: mecanismos de interacción y métodos de identificación (en línea). *Temas de Ciencia y Tecnología* 27(79). Disponible en https://www.utm.mx/edi_anteriores/temas79/T79_E05_bacterias_rizosfera_interaccion_identificacion.pdf
- Pani, S; Kumar, A; Sharma, A. 2021. *Trichoderma harzianum*: an overview (en línea). *Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci* 10(6):32-39. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Adarsh-Sharma-8/publication/354022710_Trichoderma_harzianum_An_Overview/links/611f6789169a1a010312512c/Trichoderma-harzianum-An-Overview.pdf
- Peteira Delgado-Oramas, B. 2020. La resistencia inducida como alternativa para el manejo de plagas en las plantas de cultivo (en línea). *Revista de Protección Vegetal* 35(1):1-12. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522020000100001
- Pedraza, L; López, A; Camilo, E; Uribe-Velez, D. 2020. Mecanismos de acción de *Bacillus* spp. (*Bacillaceae*) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas (en línea). *Acta Biológica Colombiana* 25(1):112-125. Disponible en <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>
- Radhakrishnan, N; Krishnasamy, C. 2024. Isolation and characterization of salt-stress-tolerant rhizosphere soil bacteria and their effects on plant growth-promoting properties (en línea). *Scientific Reports* 14(1):24909. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41598-024-75022-y>
- Ram, RM; Debnath, A; Negi, S; Singh, HB. 2022. Use of microbial consortia for broad spectrum protection of plant pathogens: Regulatory hurdles, present status and future prospects (en línea). *Biopesticides* 319-335. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823355-9.00017-1>
- Romano, I; Ventorino, V; Ambrosino, P; Testa, A; Chouyia, FE; Pepe, O. 2020. Development and application of low-cost and eco-sustainable bio-stimulant containing a new plant growth-promoting strain *Kosakonia pseudosacchari* TL13 (en línea). *Frontiers in Microbiology* 11:2044. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.02044>
- Sánchez, HJH; Oliva, M; Collazos, R; Meléndez, MJB. 2022. Efecto de la fertilización y aplicación de fitohormonas sobre la floración y rendimiento de *Hylocereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) (en línea). *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 48(2):155-159. Disponible en <https://www.scielo.org.ar/pdf/ria/v48n2/0325-8718-RIA-48-02-00155.pdf>
- Shahid, M; Zeyad, MT; Syed, A; Singh, UB; Mohamed, A; Bahkali, AH; Pichtel, J. 2022. Stress-tolerant endophytic isolate *Priestia aryabhattai* BPR-9 modulates physio-biochemical mechanisms in wheat (*Triticum aestivum* L.) for enhanced salt tolerance (en línea). *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(17):10883. Disponible en <https://doi.org/10.3390/ijerph191710883>
- Shanenko, EF; Efremenkova, OV; Mukhamedzanova, TG; Nikolaev, YA; Efimenko, TA; Gernet, MV; Bilanenko, EN; Serykh, IN; Shevelev, SS; Vasilyeva, BF; Oleskin, AV; Filippova, SN; El'-Registan; GI. 2020. Using the *Eurotium cristatum* fungus for preparing fermented herbal teas (en línea). *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences* 10(6):341-361. Disponible en <https://doi.org/10.29169/1927-5951.2020.10.06.4>
- Velasco, L. 2022. Inoculación de hongos formadores de micorriza arbuscular (HFMA) y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en plantas de aguacate (*Persea americana*) (en línea). Tesis maestría. Colegio de Postgraduados. Disponible en http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/5157/Velasco_Velasco_L_MC_Edafologia_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=true
- Velasco, BML; Hernández, MCA; Gómez, LED; Torres, GC; Caro, HPA. 2019. Bacterias endófitas de *Capsicum*

- frutescens antagónicas a *Fusarium* spp (en línea). Agronomía Mesoamericana 367-380. Disponible en <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.31760>
- Xie, Z; Li, M; Wang, D; Wang, F; Shen, H; Sun, G; Sun, X. 2021. Biocontrol efficacy of *Bacillus siamensis* LZ88 against brown spot disease of tobacco caused by *Alternaria alternata* (en línea). Biological Control 154:104508. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104508>
- Zhang, L; Fang, B; Jiao, J; Zhang, X; Liu, L; Meng, X; Li, W. 2019. *Antribacter gilvus* gen. nov., sp. nov., a new member of the family promicromonosporaceae from a karstic cavern (en línea). International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 69(12):3792-3799. Disponible en <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003682>
- Zhao, J; Zhao, X; Wang, J; Gong, Q; Zhang, X; Zhang, G. 2020. Isolation, identification and characterization of endophytic bacterium *Rhizobium oryzihabitans* sp. nov., from rice root with biotechnological potential in agriculture (en línea). Microorganisms 8(4):608. Disponible en <https://doi.org/10.3390/microorganisms8040608>

Artículo recibido en: 25 de enero del 2025
Aceptado en: 17 de agosto del 2025