

Sustratos y Rizobacterias Promotoras del Crecimiento en la Germinación y Establecimiento en Vivero de *Passiflora edulis* Sims (Maracuyá) Substrates and Growth-Promoting Rhizobacteria in the Germination and Nursery Establishment of *Passiflora edulis* Sims (Passion Fruit)

Mercedes Susana Carranza-Patiño^{1†} , Yomaira Aracely Pérez-Zambonino¹ ,
Juan José Reyes-Pérez¹ , Wilson Jose Coello-Cevallos¹  y Mary Cruz Espinoza-Torres¹ 

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito. Km 1.5 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. 120501 Quevedo, Los Ríos, Ecuador; (M.S.C.P.), (Y.A.P.Z.), (J.J.R.P.), (W.J.C.C.), (M.C.E.T.).

† Autor para correspondencia: mcarranza@uteq.edu.ec

RESUMEN

El estudio evaluó el efecto de diferentes sustratos y rizobacterias promotoras del crecimiento en la germinación y desarrollo en vivero de *Passiflora edulis* Sims (maracuyá). La investigación se realizó en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, se dividió en dos fases: germinación y crecimiento en vivero. Se utilizaron cuatro rizobacterias (*Serratia marcescens*, *Pseudomonas protegens*, *Enterobacter absuriae* y *Acinetobacter calcoaceticus*) a una concentración de 1×10^8 UFC ML^{-1} , en combinación con tres sustratos (tierra de montaña con perlita, turba orgánica con perlita y una mezcla de ambos). *E. absuriae* alcanzó una tasa de germinación del 51.11%, similar al control, mientras que *P. protegens* fue particularmente eficaz al promover un área foliar de 12.92 cm^2 , longitud radicular de 11.61 cm y un diámetro de tallo de 1.33 milímetros. *A. calcoaceticus*, en tierra de montaña con perlita, impulsó un crecimiento notable con 8 hojas por planta, una altura de 14.72 cm y un peso de masa seca de 0.3 g. Se observó una elevada actividad enzimática de la catalasa en los tratamientos con *E. absuriae* y un aumento significativo de antioxidantes en *S. marcescens* en el sustrato de tierra de montaña con perlita, acompañado de una densidad bacteriana de 1.19×10^8 UFC. El estudio subraya el potencial de las rizobacterias para mejorar la productividad y eficiencia de *P. edulis*, destacando su valor para aplicaciones comerciales en viveros y su contribución a una agricultura más sostenible.

Palabras clave: actividad enzimática, agricultura sostenible, inoculación bacteriana, unidades formadoras de colonias, vivero.

SUMMARY

The study evaluated the effect of different substrates and growth-promoting rhizobacteria on the germination and nursery development of *Passiflora edulis* Sims (passion fruit). The research was conducted at the Quevedo State Technical University, Ecuador, and was divided into two phases: germination and nursery growth. Four rhizobacteria were used (*Serratia marcescens*, *Pseudomonas protegens*, *Enterobacter absuriae*, and *Acinetobacter calcoaceticus*) at a concentration of 1×10^8 CFU mL^{-1} , in combination with three substrates (mountain soil with perlite, organic peat with perlite, and a mixture of both). *E. absuriae* achieved a germination rate of 51.11%, similar to the control, while *P. protegens* was particularly effective in promoting a leaf area of 12.92 cm^2 , root length of 11.61 cm, and stem diameter of 1.33 millimeters. *A. calcoaceticus*, in mountain soil with perlite, promoted remarkable growth with 8 leaves per plant, a height of 14.72 cm, and a dry mass weight of 0.3 g. High catalase enzymatic activity was observed in treatments with *E. absuriae*, along with a significant



Cita recomendada:

Carranza-Patiño, M.S., Pérez-Zambonino, Y. A., Reyes-Pérez, J. J., Coello-Cevallos, W. J., & Espinoza-Torres, M. C. (2025). Sustratos y Rizobacterias Promotoras del Crecimiento en la Germinación y Establecimiento en Vivero de *Passiflora edulis* Sims (Maracuyá). *Terra Latinoamericana*, 43, 1-14. e2146. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2146>

Recibido: 5 de noviembre de 2024.

Aceptado: 25 de abril de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Julio de 2025.

Editor de Sección:

Dr. Francisco H. Ruiz Espinoza

Editor Técnico:

Dr. David Cristóbal Acevedo



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

increase in antioxidants in *S. marcescens* in the mountain soil with perlite substrate, accompanied by a bacterial density of 1.19×10^8 CFU. The study highlights the potential of rhizobacteria to enhance the productivity and efficiency of *P. edulis*, emphasizing their value for commercial nursery applications and their contribution to more sustainable agriculture.

Index words: enzymatic activity, sustainable agriculture, bacterial inoculation, colony-forming units, nursery.

INTRODUCCIÓN

La *Passiflora edulis* Sims, conocida comúnmente como maracuyá, es una fruta tropical originaria de Sudamérica que se ha expandido globalmente desde Brasil. *P. edulis* tiene una gran popularidad debido a su sabor único, que combina lo dulce y lo ácido, y a sus propiedades nutricionales (Rojas-Romaní, Calixto y Suca, 2021). Originalmente, el cultivo de maracuyá era una práctica doméstica, llevada a cabo en los patios de las casas de los agricultores para consumo propio. Con el tiempo, su cultivo ha ganado relevancia en la agricultura comercial gracias a su creciente demanda y valor económico, transformándose en una industria significativa (Rojas-Romaní et al., 2021).

La maracuyá es altamente nutritiva, rica en vitaminas, minerales y antioxidantes, lo que la convierte en una excelente opción para una dieta equilibrada (Rojas-Romaní et al., 2021). *P. edulis* tiene una larga historia en la medicina popular, utilizada para tratar una variedad de dolencias, incluidas afecciones digestivas y trastornos del sueño (De Faveri et al., 2020; Marques et al., 2016). Existen aproximadamente 80 variedades de maracuyá, cultivadas en diversas regiones tropicales, desde el nivel del mar hasta los 3800 metros de altitud (Arias-Suárez, Ocampo y Urrea, 2014). Países como Brasil, Ecuador, Colombia y Perú se destacan como los principales productores, siendo Ecuador uno de los mayores exportadores de concentrado de maracuyá a mediados de la década de 2010 (Cañizares-Chacín y Jaramillo, 2015; Valarezo-Concha, Valarezo, Mendoza, Álvarez y Vásquez, 2014).

A partir de 2019, el cultivo de maracuyá experimentó una reducción significativa. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2020), el área destinada al cultivo de esta fruta disminuyó un 43.2%, ocupando el puesto 24 en la lista de principales cultivos en Ecuador. El declive del cultivo resalta la necesidad de mejorar las prácticas agronómicas para recuperar la producción. Los sistemas de agricultura contemporáneos, diseñados para mejorar la producción y los rendimientos de los cultivos, dependen en gran medida de la aplicación de agroquímicos, como fertilizantes químicos y pesticidas. Aunque estas sustancias han demostrado ser eficaces en aumentar la productividad agrícola, su uso excesivo tiene consecuencias perjudiciales. Los fertilizantes químicos y pesticidas no solo afectan negativamente el desarrollo de las plantas debido a la acumulación de compuestos tóxicos, sino que también comprometen la calidad y las funciones esenciales del suelo (Kumari, Swarupa, Kesari y Kumar, 2022; Posada, Mejía, Polanco y Cardona, 2021; Viera-Arroyo et al., 2020). El deterioro del suelo afecta su capacidad para sustentar el crecimiento vegetal, lo que subraya la importancia de explorar métodos sostenibles que promuevan la producción agrícola sin comprometer la salud del suelo.

La elección adecuada de sustratos en el cultivo de maracuyá desempeña un papel fundamental. Los sustratos utilizados en el cultivo pueden influir en la disponibilidad de nutrientes, la retención de agua y otros factores que afectan directamente el crecimiento y desarrollo de las plántulas de maracuyá (Canchignia-Martínez et al., 2016; Viera-Arroyo et al., 2020). El uso de bacterias promotoras del crecimiento (PGPR) ha emergido como una alternativa prometedora para mejorar la productividad agrícola sin recurrir a pesticidas y fertilizantes químicos (Echeverry-Buitrago et al., 2018¹; Silva et al., 2022). Las PGPR mejoran la calidad microbiana del suelo y reducen la incidencia de plagas, lo que promueve el crecimiento saludable de las plantas (Calvo, Nelson y Kloepper, 2014; Carranza-Patiño, Valdez, Tubay y Canchignia, 2022).

Este estudio tiene como objetivo investigar y analizar la influencia de distintos sustratos y bacterias promotoras del crecimiento en el establecimiento en vivero de *Passiflora edulis* Sims (maracuyá).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Experimento

El experimento se realizó en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), situado en el campus "La María", en el kilómetro 7.5 de la vía Quevedo - El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador. La altitud de la zona es de 71 metros de altitud y el clima predominante es tropical húmedo, con temperaturas medias entre 25 y 32 grados centígrados.

¹ Echeverry-Buitrago, L. F. (2018). *Optimización de sustrato para germinación de semilla de lechuga crespa en cultivos hidropónicos*. Tesis para obtener el grado de Ingeniería. Medellín, Colombia. Universidad EAFIT. <http://hdl.handle.net/10784/13336>

Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial de cinco por tres, con cinco tratamientos bacterianos y tres sustratos. Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, y cada repetición incluyó cuatro plantas, totalizando 240 unidades experimentales. Los sustratos utilizados fueron: tierra de montaña más perlita, turba orgánica más perlita, y una mezcla de tierra de montaña, turba orgánica y perlita en proporción 2:1:1. Los tratamientos bacterianos incluyeron la inoculación de plántulas con cuatro rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: *Serratia marcescens* (PM3-8), *Pseudomonas protegens* (CHA0), *Enterobacter absuriae* (PM3-14) y *Acinetobacter calcoaceticus* (PM2-12), a una concentración de 1×10^8 UFC mL⁻¹. Un tratamiento control, sin rizobacterias, fue inoculado con agua destilada.

Manejo del Experimento

Las plántulas de maracuyá fueron trasplantadas en recipientes plásticos de 12 onzas, llenos con los sustratos previamente esterilizados en autoclave a 121 °C. A cada plántula se le aplicaron 5 mL de la solución bacteriana correspondiente al inicio del experimento, y se realizó una segunda aplicación de rizobacterias a los 15 días para reforzar su efecto. Las condiciones controladas incluyeron una temperatura promedio de 25-30 °C, humedad relativa entre 70-80 %, sombreado parcial con malla al 50%, y monitoreo regular de la humedad del sustrato para evitar exceso o déficit hídrico. Las plantas permanecieron bajo estas condiciones en el vivero durante 45 días.

Variables Evaluadas

Para evaluar el crecimiento de las plántulas y los efectos de los tratamientos bacterianos y sustratos, se midieron varias variables morfológicas y bioquímicas. La longitud radicular se determinó utilizando un calibrador Vernier, midiendo desde el cuello de la raíz hasta el ápice, y los datos se expresaron en centímetros (Ortiz-Castro, Campos y López, 2020). El área radicular se calculó utilizando una cuadrícula, expresada en centímetros cuadrados (Name, 2019).

El peso radicular, tanto fresco como seco, se obtuvo lavando las raíces para eliminar el sustrato adherido, pesándolas posteriormente en una balanza analítica (OHAUS, EE.UU.). Para el peso seco, las raíces se secaron en una estufa (Memmert, Alemania) a 65 °C durante 24 horas. La altura de la planta se midió desde la base hasta el ápice con una regla graduada en cm (Hernández-Esquivel, Castro y García, 2021).

El número de hojas por planta se registró manualmente. Además, se determinó la biomasa fresca y seca de toda la planta, siguiendo el mismo procedimiento utilizado para las raíces (Huang *et al.*, 2019). La actividad de la enzima catalasa se evaluó midiendo la descomposición del peróxido de hidrógeno en el tejido vegetal homogeneizado, mientras que la actividad de la enzima oxidasa se midió a través de la liberación de oxígeno en presencia de sustratos específicos (Hidri *et al.*, 2022). Finalmente, las unidades formadoras de colonias (UFC) se cuantificaron mediante la técnica de microgota y dilución seriada en muestras de suelo, tomadas a intervalos de cinco días después de la aplicación de las rizobacterias (Ren, Qin, Huang, Fernández y Lv, 2020).

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos fueron procesados utilizando el software InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias de las diferentes variables en ambas fases del experimento. Cuando se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), se aplicaron pruebas post hoc para realizar comparaciones múltiples entre los tratamientos, utilizando la prueba de Tukey, seleccionada por su capacidad para identificar diferencias específicas entre las medias de los tratamientos, y la prueba de Scheffé, aplicada como complemento para realizar comparaciones más conservadoras y confirmar las diferencias más relevantes, minimizando el riesgo de errores tipo I (falsos positivos). Ambas pruebas aportaron una visión más completa de las diferencias entre los tratamientos, combinando precisión (Tukey) y respaldo a las conclusiones generales (Scheffé).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistema Radicular en la Fase de Crecimiento: Área, Peso y Longitud

El análisis estadístico mediante ANOVA no mostró diferencias significativas generales en la interacción entre rizobacterias y sustratos ($P > 0.05$). Sin embargo, al aplicar las pruebas post hoc de Tukey y Scheffé con el mismo nivel de significancia utilizado en el ANOVA ($\alpha = 0.05$), se identificaron diferencias significativas en todas las variables evaluadas. Estas incluyen la longitud radicular, el área radicular, el peso radicular, el número de hojas, y la biomasa

fresca y seca. Estas diferencias fueron particularmente evidentes en las plántulas tratadas con combinaciones específicas de rizobacterias y sustratos, lo que subraya la importancia de seleccionar adecuadamente ambos factores para optimizar el crecimiento y desarrollo de las plántulas de maracuyá. Las plántulas inoculadas con la cepa PM2-12 alcanzaron las mayores longitudes, registrando 12.41 cm en TO+P (turba orgánica + perlita) y 12.09 cm en TM+P (tierra de montaña + perlita). En contraste, las plántulas sin inoculación bacteriana (T5) presentaron las menores longitudes radiculares, especialmente en TO+P, donde alcanzaron solo 5.49 cm, lo que destaca el impacto negativo de la ausencia de rizobacterias en el desarrollo radicular. *Enterobacter absuriae* PM3-14 mostró un crecimiento radicular constante en los tres sustratos, con valores máximos de 11.73 cm en TM+TO+P (tierra de montaña + turba orgánica + perlita), mientras que *Pseudomonas protegens* (CHAO) alcanzó 11,63 cm en TO+P (Figura 1a).

Estos resultados indican que la inoculación con rizobacterias promueve significativamente la elongación radicular en plántulas de maracuyá, especialmente en sustratos como TO+P, que ofrecen mejores condiciones de aireación y retención de agua. La capacidad de las rizobacterias para producir fitohormonas, como auxinas, es un factor clave en el crecimiento radicular observado (Tsegaye, Alemu, Desta y Assefa, 2022). Los resultados también destacan que la longitud radicular más baja en el tratamiento sin PGPR (T5) subraya la importancia de las rizobacterias para mejorar la absorción de nutrientes y el desarrollo de las raíces. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que han demostrado que la interacción entre rizobacterias y sustratos puede mejorar significativamente la arquitectura radicular y el rendimiento del cultivo (Swiontek, Świątczak, Wojciechowska, Burkowska y Kalwasińska, 2022). Por tanto, la combinación adecuada de rizobacterias y sustratos, como PM2-12 en TO+P, puede maximizar el crecimiento radicular en aplicaciones agrícolas.

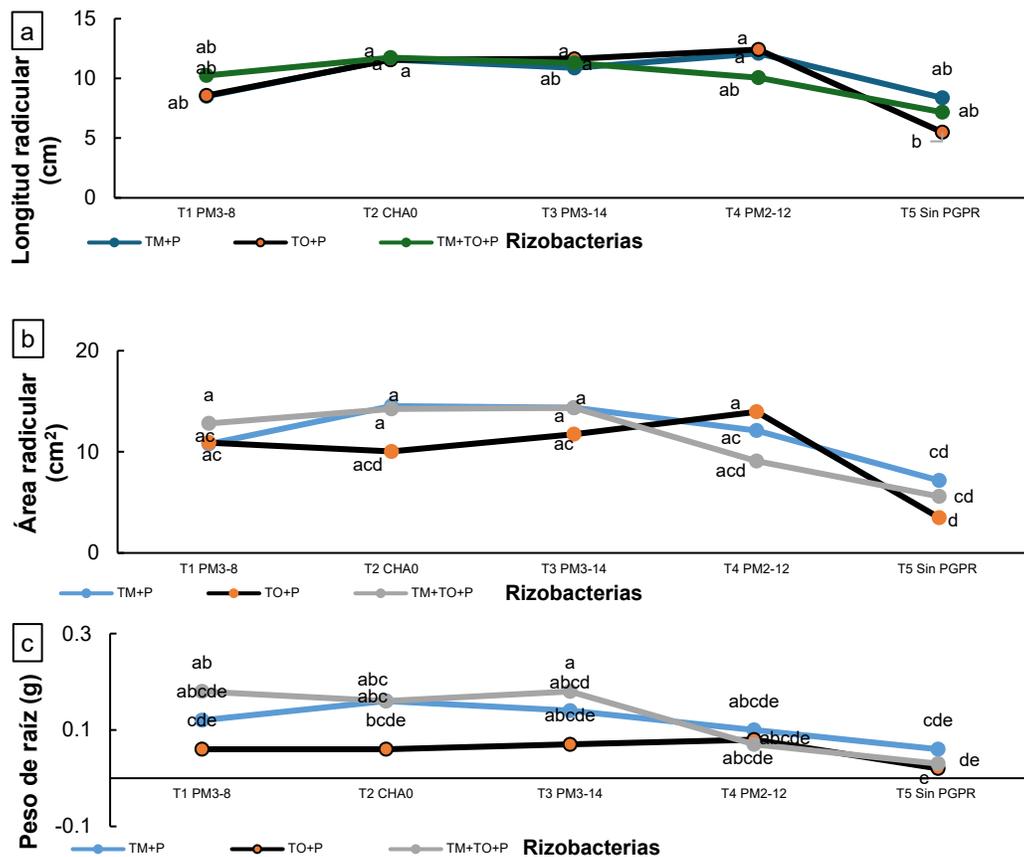


Figura 1: Interacción entre rizobacterias y sustratos en la longitud, área y el peso de la raíz. La figura muestra a) Longitud radicular, b) Área radicular c) Peso radicular de plantas de maracuyá sometidas a una interacción entre diversas cepas de rizobacterias y sustratos. Las líneas indican los promedios medidos para cada tratamiento, donde 'a', 'b', 'c', 'd' y 'e' denotan diferencias entre las medias. Tm + P = tierra de monte más perlita; To + P = turba orgánica más perlita; Tm + To + P = tierra de monte más turba orgánica más perlita.

Figura 1. Interaction between rhizobacteria and substrates on root length, area, and weight. The figure shows: a) Root length, b) Root area, and c) Root weight of passion fruit (*Passiflora edulis*) plants subjected to the interaction of various rhizobacterial strains and substrates. The lines indicate the mean values measured for each treatment, where letters 'a', 'b', 'c', 'd', and 'e' denote statistically significant differences among means. Tm + P = mountain soil plus perlite; To + P = organic peat plus perlite; Tm + To + P = mountain soil plus organic peat plus perlite.

El peso de la raíz de las plántulas de maracuyá varió significativamente según la inoculación con rizobacterias y los diferentes sustratos. Las plántulas inoculadas con *Pseudomonas protegens* (PM3-8) y cultivadas en TM+TO+P (tierra de montaña + turba orgánica + perlita) presentaron el mayor peso radicular, con un promedio de 0.18 g, seguido por las tratadas con *Pseudomonas protegens* (PM3-14) en el mismo sustrato, que también alcanzaron 0.18 g. En contraste, las plántulas sin inoculación bacteriana (T5) mostraron los valores más bajos en todos los sustratos, con solo 0.02 g en TO+P, lo que subraya el impacto negativo de la ausencia de rizobacterias en el desarrollo de la biomasa radicular (Figura 1b).

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, como *P. protegens* y *Enterobacter absuriae*, favorecen significativamente el aumento de la biomasa radicular debido a su capacidad para mejorar la absorción de nutrientes clave como el fósforo y el nitrógeno, mediante la solubilización de fósforo y la fijación biológica de nitrógeno (Calvo, Zebelo, McNear, Kloepper y Fadamiro, 2019). Además, estudios han mostrado que las rizobacterias mejoran la arquitectura de la raíz y, en consecuencia, la capacidad de la planta para explorar el suelo y aumentar la absorción de agua y nutrientes (Etesami y Adl, 2020).

Por otro lado, el bajo peso radicular en las plántulas sin PGPR refuerza la necesidad de utilizar inoculantes bacterianos para maximizar el rendimiento radicular y, por tanto, el crecimiento general de las plantas, como lo destaca también la literatura sobre cultivos como el arroz y otras especies (Purwanto y Suharti, 2021).

Las plántulas tratadas con *Enterobacter absuriae* (CHA0) en TM+P (tierra de montaña + perlita) alcanzaron la mayor área, con 14,52 cm², mientras que las inoculadas con la cepa PM3-14 lograron 14.34 cm² en TM+TO+P (tierra de montaña + turba orgánica + perlita). En contraste, las plántulas sin rizobacterias (T5) mostraron las menores áreas radiculares, con solo 3.48 cm² en TO+P, lo que resalta el impacto negativo de la ausencia de rizobacterias (Figura 1c).

Estos resultados confirman que la inoculación con rizobacterias mejora significativamente el área radicular, incrementando la capacidad de las plántulas para explorar el suelo y absorber nutrientes. Esto concuerda con investigaciones previas que destacan cómo las rizobacterias promueven una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, lo que se traduce en un mejor desarrollo radicular (Calvo et al., 2019). Además, el uso de consorcios de rizobacterias ha demostrado ser efectivo para movilizar nutrientes en la rizosfera y mejorar el crecimiento de las raíces, como se observó en el caso de cultivos de maíz bajo estrés hídrico (Pereira, Abreu, Moreira, Vega y Castro, 2020).

Desarrollo de Plántulas en Diferentes Sustratos y Rizobacterias

La comparación del crecimiento en altura de las plantas y el número de hojas en plántulas de maracuyá tratadas con diferentes rizobacterias y cultivadas en diversos sustratos (Figura 2a) evidenció una interacción entre el tipo de rizobacteria y el sustrato utilizado. Aunque el análisis de varianza (ANOVA) no detectó diferencias significativas en la interacción entre rizobacterias y sustratos ($P > 0.05$), el análisis post hoc mediante la prueba

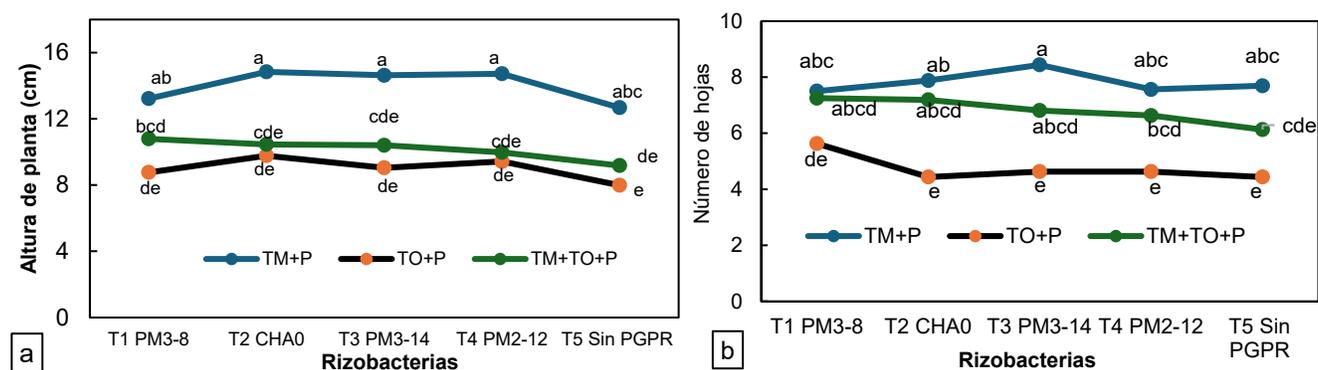


Figura 2: Comparación del crecimiento en altura (a) y número de hojas (b) de las plántulas de maracuyá tratadas con diferentes rizobacterias y cultivadas en distintos sustratos. La figura muestra a) Altura de la planta y b) Número de hojas de plantas de maracuyá sometidas a una interacción entre diversas cepas de rizobacterias y sustratos. Las líneas indican los promedios medidos para cada tratamiento, donde 'a', 'b', 'c', 'd' y 'e' denotan diferencias entre las medias.

Figure 2. Comparison of seedling height (a) and number of leaves (b) in passion fruit plants treated with different rhizobacteria and grown in various substrates. The figure shows: a) Plant height and b) Number of leaves in passion fruit (*Passiflora edulis*) seedlings subjected to the interaction of different rhizobacterial strains and substrate types. The lines represent the mean values for each treatment, where the letters 'a', 'b', 'c', 'd', and 'e' indicate statistically significant differences among means.

de Tukey identificó diferencias significativas entre algunos tratamientos específicos. Mientras que Tukey permitió detectar diferencias detalladas y precisas entre los tratamientos, la prueba de Scheffé, al ser más conservadora, confirmó únicamente las diferencias más evidentes y respaldó las conclusiones principales de los resultados. Las plántulas tratadas con las rizobacterias *P. protegens* (CHA0) y *A. calcoaceticus* (pm2-12) cultivadas en el sustrato TM+P (tierra de montaña + perlita) alcanzaron las mayores alturas, con promedios de 14.84 y 14.72 cm, respectivamente y *E. asburiae* (PM3-14) con 14.63 cm en el mismo sustrato.

En contraste, las plántulas sin inoculación bacteriana (T13) presentaron una altura significativamente menor, con un promedio de 12.67 cm en el mismo sustrato. Estas diferencias indican que la inoculación con rizobacterias promueve el crecimiento en altura cuando se combina con un sustrato adecuado.

Los sustratos TO+P (turba orgánica + perlita) y TM+TO+P (tierra de montaña + turba orgánica + perlita) mostraron menores promedios de altura en todos los tratamientos, con variaciones entre 8.76-10.79 cm. La menor altura observada en estos sustratos, tanto en presencia de rizobacterias como en los controles sin PGPR, sugiere que las propiedades del sustrato afectan la efectividad de las rizobacterias en la promoción del crecimiento vegetal.

Estos resultados coinciden con investigaciones previas que subrayan la importancia de las rizobacterias en la promoción del crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas, como auxinas, que mejoran la elongación celular y el desarrollo vegetativo (Bensidhoum *et al.*, 2016; Kour *et al.*, 2019). Sin embargo, es evidente que la capacidad de las rizobacterias para potenciar el crecimiento en altura depende de las condiciones del sustrato. En este estudio, TM+P proporcionó condiciones óptimas para que las rizobacterias expresaran su máximo potencial, debido a su alta capacidad de retención de agua y disponibilidad de nutrientes (Oldroyd y Leyser, 2020; Teles *et al.*, 2023). Por lo tanto, se sugiere que la interacción entre el tipo de rizobacteria y las características del sustrato es fundamental para maximizar los beneficios de la inoculación.

Respecto al número de hojas (Figura 2b), las plántulas tratadas con la cepa PM3-14 cultivadas en TM+P presentaron un promedio de 8 hojas, al igual que las tratadas con CHA0 con un promedio de 7 hojas. Las plántulas en otros sustratos, como TO+P (turba orgánica + perlita), mostraron un promedio de 4 hojas, y en TM+TO+P (tierra de montaña + turba orgánica + perlita) variaron entre 6-7 hojas.

Estos resultados son consistentes con estudios que han demostrado cómo la inoculación con rizobacterias, especialmente *Pseudomonas* y *Enterobacter*, puede incrementar el número de hojas en diversas especies vegetales debido a su capacidad para promover la absorción de nutrientes y la producción de fitohormonas como citoquininas, que estimulan la división celular y el desarrollo foliar (Raj *et al.*, 2020). Además, se ha observado que el uso de consorcios de rizobacterias es particularmente efectivo en mejorar el crecimiento de las plantas, incluyendo el número de hojas, en comparación con el uso de inoculantes individuales (Swiontek *et al.*, 2022).

La diferencia observada en el número de hojas entre los distintos sustratos también subraya la importancia de las características del sustrato en la eficacia de las rizobacterias. Sustratos como TM+P parecen proporcionar mejores condiciones para la acción de las rizobacterias, lo que resulta en un mayor crecimiento.

Influencia Combinada de Sustratos y Rizobacterias en el Vigor y Crecimiento de las Plántulas

La interacción entre rizobacterias y sustratos el ANOVA no mostró diferencias en peso fresco ($P > 0.05$); sin embargo, al aplicar la prueba de Tukey fue significativa para la biomasa fresca y biomasa seca (Figura 3), lo que indica que la combinación de rizobacterias y sustratos específicos afecta de manera notable la acumulación de materia orgánica en las plantas. En este contexto, la tierra de montaña proporcionó un entorno más favorable para que las rizobacterias promovieran un mayor crecimiento vegetal. Este efecto puede estar relacionado con la mejor estructura física de este sustrato, que permite un mayor intercambio de gases y una mejor retención de agua, lo que facilita la actividad microbiana de las rizobacterias y, por ende, mejora la salud y el crecimiento de las plantas. Estudios similares han demostrado que los sustratos ricos en materia orgánica y minerales promueven una mayor actividad microbiana beneficiosa en las raíces, lo que aumenta la biomasa seca y mejora el vigor general de las plantas (Ruiz y Salas, 2019; Zhang *et al.*, 2019).

Los resultados de este estudio refuerzan la idea de que las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, como *Enterobacter asburiae* y *Pseudomonas protegens*, son herramientas eficaces para mejorar el vigor y el crecimiento de las plántulas de maracuyá, particularmente cuando se combinan con sustratos adecuados como la tierra de montaña + perlita. Estos resultados son consistentes con estudios previos que indican que las rizobacterias mejoran la absorción de nutrientes y el desarrollo radicular, lo que se traduce en una mayor biomasa fresca y seca (Niu, Song, Xiao y Ge, 2018; Serret-López, Espinosa, Gómez y Delgadillo, 2016; Zuluaga *et al.*, 2021).

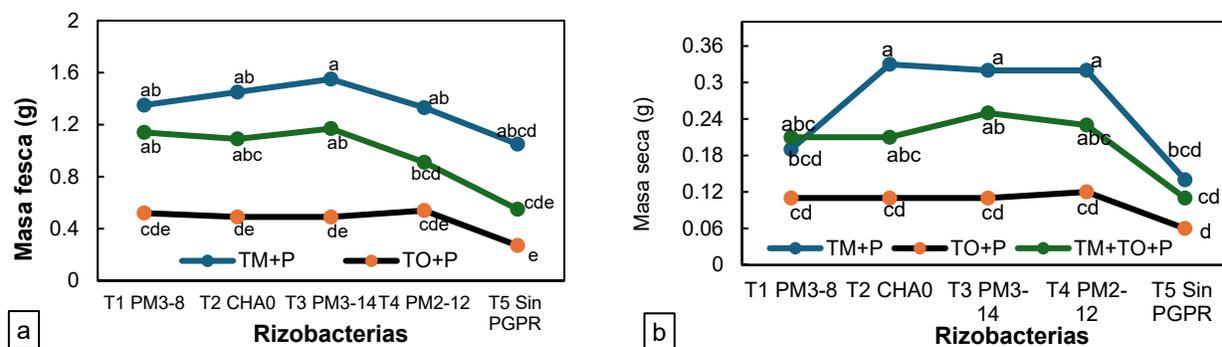


Figura 3: Representación gráfica de la biomasa fresca y seca de las plántulas en función de las diferentes rizobacterias y sustratos. La figura muestra a) Masa fresca y b) Masa seca de plantas de maracuyá sometidas a una interacción entre diversas cepas de rizobacterias y sustratos. Las líneas indican los promedios medidos para cada tratamiento, donde 'a', 'b', 'c', 'd' y 'e' denotan diferencias entre las medias.

Figure 3. Graphical representation of fresh and dry biomass of seedlings as influenced by different rhizobacteria and substrates. The figure shows: a) Fresh weight and b) Dry weight of passion fruit plants subjected to the interaction of various rhizobacterial strains and substrates. Lines indicate the average values measured for each treatment, where letters 'a', 'b', 'c', 'd', and 'e' denote statistically significant differences between means.

La interacción significativa entre rizobacterias y sustratos en la biomasa seca indica que las combinaciones adecuadas pueden maximizar los efectos beneficiosos de ambas variables. Esta información es particularmente valiosa para el desarrollo de estrategias agrícolas sostenibles, ya que sugiere que los agricultores pueden optimizar el rendimiento de sus cultivos seleccionando no solo las mejores rizobacterias, sino también los sustratos que proporcionan un entorno favorable para estas interacciones (Rosmana, Taufik, Asman, Jayanti y Hakkar, 2019).

Efecto de las Rizobacterias en la Actividad Catalasa, Oxidasa y Unidades Formadoras de Colonias en *Passiflora edulis* Sims Cultivado en Diferentes Sustratos

Actividad Catalasa

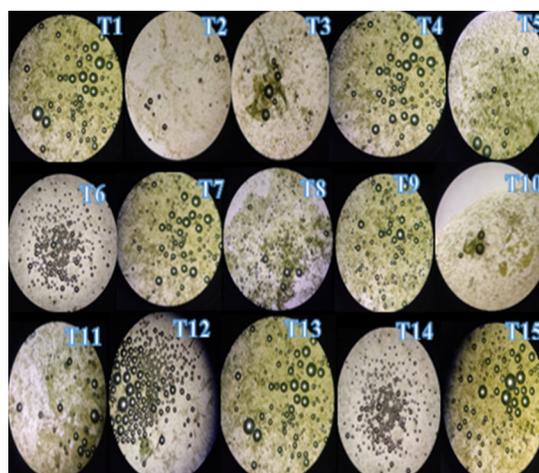
La actividad de la catalasa varió significativamente entre los diferentes tratamientos de rizobacterias y sustratos (Cuadro 1; Figura 4). Los tratamientos con *Serratia marcescens* (T1), *Pseudomonas protegens* (T4, T6), y *Enterobacter absuriae* (T7, T8, T9) mostraron una alta actividad catalasa, evidenciada por una mayor producción de burbujas en reacción con el peróxido de hidrógeno. Esta actividad elevada se observó principalmente en los sustratos que contenían tierra de montaña, lo que sugiere que este sustrato favorece la acción de las rizobacterias al incrementar la producción de catalasa. Estos resultados coinciden con los reportes de (Singh y Jha, 2016), quienes destacaron la capacidad de *S. marcescens* para producir enzimas líticas como la catalasa, lo que mejora las respuestas antioxidantes en las plantas.

La actividad catalasa fue moderada en los tratamientos con *S. marcescens* y *P. protegens* en los sustratos con turba orgánica (T2, T3, T5). La turba orgánica parece tener un efecto amortiguador en la activación de esta enzima, posiblemente debido a una menor disponibilidad de oxígeno y otros factores que limitan la acción de las rizobacterias. *Acinetobacter calcoaceticus* también mostró un comportamiento diferenciado, con una actividad catalasa alta en el tratamiento T12 (tierra de montaña + turba orgánica + perlita), lo que sugiere que este sustrato mixto proporciona un entorno óptimo para su activación. Los controles sin rizobacterias (T13, T14, T15) también mostraron una alta actividad catalasa, lo que destaca la influencia directa de los sustratos en la activación enzimática, independientemente de la inoculación con rizobacterias.

En general, los resultados sugieren que las rizobacterias y los sustratos tienen un efecto combinado en la actividad de la catalasa. Las rizobacterias mejoran las defensas antioxidantes de las plantas, como ya lo han señalado Soriano-Melgar, Izquierdo, Saucedo y Cárdenas (2020), quienes reportaron que *A. calcoaceticus* promueve la actividad catalasa a través de la fijación de nitrógeno y la solubilización de fosfatos en las plantas.

Cuadro 1. Actividad de la catalasa en diferentes tratamientos con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y sustratos.**Table 1. Catalase activity under different treatments with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and substrates.**

Tratamiento	Descripción	Catalasa
T1	<i>S. marcescens</i> + (TM+P)	++
T2	<i>S. marcescens</i> + (TO+P)	+
T3	<i>S. marcescens</i> + (TM+TO+P)	+
T4	<i>P. protegens</i> + (TM+P)	++
T5	<i>P. protegens</i> + (TO+P)	+
T6	<i>P. protegens</i> + (TM+TO+P)	++
T7	<i>E. absuriae</i> + (TM+P)	++
T8	<i>E. absuriae</i> + (TO+P)	++
T9	<i>E. absuriae</i> + (TM+TO+P)	++
T10	<i>A. calcoaceticus</i> + (TM+P)	+
T11	<i>A. calcoaceticus</i> + (TO+P)	+
T12	<i>A. calcoaceticus</i> + (TM+TO+P)	++
T13	Sin PGPR + (TM+P)	++
T14	Sin PGPR + (TO+P)	++
T15	Sin PGPR + (TM+TO+P)	++

**Figura 4. Actividad enzimática de la catalasa en tratamientos de sustratos con rizobacterias.**

Combinación de bacterias (*S. marcescens*, *P. protegens*, *E. absuriae*, *A. calcoaceticus*) y sustratos (TM = tierra de montaña; TO = turba orgánica; P = perlita), (++) actividad catalasa alta, (+) actividad catalasa.

Figure 4. Catalase enzymatic activity in substrate treatments with rhizobacteria.

Combination of bacterial strains (*S. marcescens*, *P. protegens*, *E. absuriae*, *A. calcoaceticus*) and substrates (TM = mountain soil; TO = organic peat; P = perlite). (++) high catalase activity, (+) catalase activity.

Actividad Oxidasa

Los resultados sobre la actividad oxidasa mostraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados (Cuadro 2; Figura 5). *Serratia marcescens* (T1) exhibió actividad oxidasa positiva en el tratamiento con tierra de montaña + perlita (TM+P), mientras que en los tratamientos con turba orgánica (T2, T3) no se detectó actividad oxidasa. Este patrón sugiere que la tierra de montaña proporciona nutrientes específicos que favorecen la producción de oxidasa en *S. marcescens*. Esto coincide con investigaciones que destacan la capacidad de *S. marcescens* para producir metabolitos secundarios como la prodigiosina, lo que le permite adaptarse a diversas condiciones ambientales (Akin-Osanaiye, Aruwa y Olobayotan, 2019).

Pseudomonas protegens mostró actividad oxidasa positiva en tratamientos con turba orgánica (T5, T6), pero negativa en tierra de montaña (T4), lo que indica que la turba, con su mayor retención de agua, favorece esta actividad. Esto concuerda con su eficacia en la colonización del suelo y control de patógenos (Zhao *et al.*, 2021). En contraste, *Acinetobacter calcoaceticus* (T10, T11, T12) y los controles no mostraron actividad oxidasa, sugiriendo que la capacidad de algunas rizobacterias para activar esta enzima depende del sustrato (Sharma, Thakur y Bhalla, 2019).

Unidades Formadoras de Colonias (UFC)

Los resultados de la cuantificación de las unidades formadoras de colonias (UFC) mostraron variaciones significativas entre los diferentes tratamientos (Cuadro 3; Figura 6). *Serratia marcescens* presentó el mayor número de UFC en el tratamiento con turba orgánica + perlita (T2), alcanzando 1.19×10^8 UFC, mientras que en el tratamiento con tierra de montaña + perlita (T1) se registró una cantidad ligeramente inferior, de 8.65×10^7 UFC. Estos resultados coinciden con estudios recientes, como el de Andrade-Reis *et al.* (2021), quienes destacan el éxito de *S. marcescens* y *Trichoderma longibrachiatum*. Además, son consistentes con los hallazgos de (Liu, Chen, Sun, Chen, Fang y Ren, 2022), quienes observaron que *S. marcescens* prospera mejor en sustratos ricos en materia orgánica, como la turba, debido a su capacidad para utilizar una amplia gama de compuestos orgánicos como fuentes de carbono.

Cuadro 2. Influencia de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y sustratos en la actividad enzimática de la oxidasa.

Table 2. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and substrates on oxidase enzymatic activity.

Tratamiento	Descripción	Oxidasa
T1	<i>S. marcescens</i> +(TM+P)	+
T2	<i>S. marcescens</i> +(TO+P)	-
T3	<i>S. marcescens</i> +(TM+TO+P)	-
T4	<i>P. protegens</i> +(TM+P)	-
T5	<i>P. protegens</i> +(TO+P)	+
T6	<i>P. protegens</i> +(TM+TO+P)	+
T7	<i>E. absuriae</i> +(TM+P)	-
T8	<i>E. absuriae</i> +(TO+P)	-
T9	<i>E. absuriae</i> +(TM+TO+P)	+
T10	<i>A. calcoaceticus</i> +(TM+P)	-
T11	<i>A. calcoaceticus</i> +(TO+P)	-
T12	<i>A. calcoaceticus</i> +(TM+TO+P)	-
T13	Sin PGPR+(TM+P)	-
T14	Sin PGPR+(TO+P)	-
T15	Sin PGPR+(TM+TO+P)	-

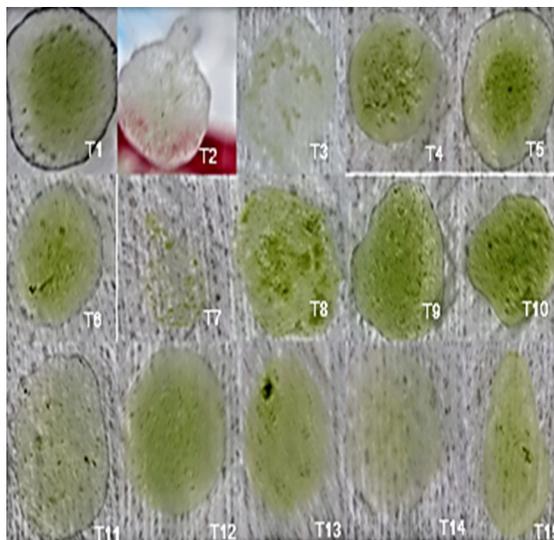


Figura 5. Actividad enzimática de la oxidasa en tratamientos de sustratos con rizobacterias. Combinación de bacterias (*S. marcescens*, *P. protegens*, *E. absuriae*, *A. calcoaceticus*) y sustratos (TM = tierra de montaña; TO = turba orgánica; P = perlita), presencia (+) o ausencia (-) de la enzima oxidasa.

Figure 5. Oxidase enzymatic activity in substrate treatments with rhizobacteria. Combination of bacterial strains (*S. marcescens*, *P. protegens*, *E. absuriae*, *A. calcoaceticus*) and substrates (TM = mountain soil; TO = organic peat; P = perlite). Presence (+) or absence (-) of oxidase enzyme.

Por otro lado, *Pseudomonas protegens* mostró una disminución significativa en algunos sustratos, particularmente en el tratamiento con turba orgánica (T5), donde solo alcanzó 9.15×10^4 UFC. En contraste, en el tratamiento con tierra de montaña + turba orgánica + perlita (T6), el número de UFC aumentó a 1.34×10^7 , lo que sugiere que esta combinación de sustratos proporciona condiciones más favorables para su crecimiento. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas que subrayan la capacidad de *Pseudomonas protegens* para adaptarse a distintos sustratos y activar enzimas clave, como la oxidasa, lo que facilita su rol como agente de biocontrol en suelos agrícolas (Andreolli et al., 2019).

Además, *Enterobacter absuriae* y *Acinetobacter calcoaceticus* también mostraron fluctuaciones en el número de UFC según el sustrato. *E. absuriae* presentó un mayor número de UFC en el tratamiento con tierra de montaña + perlita (T7), con 6.40×10^6 UFC, mientras que *A. calcoaceticus* alcanzó su mayor proliferación en el tratamiento con turba orgánica + perlita (T11), con 8.65×10^7 UFC. Estos resultados reflejan la capacidad adaptativa de ciertas bacterias, como *Enterobacter* y *Acinetobacter* (Mello et al., 2020).

Se destaca el alto número de UFC en *S. marcescens* con turba orgánica + perlita (T2) y *A. calcoaceticus* en el mismo sustrato.

Los resultados de este estudio sugieren que las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, como *S. marcescens*, *P. protegens*, *E. absuriae* y *A. calcoaceticus*, tienen un impacto significativo en la actividad de las enzimas catalasa y oxidasa, así como en la formación de colonias bacterianas en plantas de maracuyá. La interacción entre los sustratos y las rizobacterias juega un papel clave en la modulación de estas actividades enzimáticas y en la capacidad de colonización bacteriana. Los sustratos ricos en materia orgánica, como la turba, parecen favorecer la colonización y la actividad de ciertas rizobacterias, mientras que la tierra de montaña promueve una mayor actividad enzimática, especialmente en términos de catalasa (Matteoli et al., 2018).

Estos resultados son consistentes con la literatura previa, que destaca la capacidad de las rizobacterias para mejorar la salud del suelo y promover el crecimiento vegetal a través de la modulación de respuestas antioxidantes y la formación de colonias bacterianas estables (Hidri et al., 2022). En general, los hallazgos refuerzan el potencial de las rizobacterias como biofertilizantes en sistemas agrícolas sostenibles, siempre y cuando se seleccionen cuidadosamente los sustratos para maximizar su efectividad. Estos resultados no solo demuestran el potencial de las rizobacterias para optimizar el crecimiento en condiciones controladas, sino que también subrayan su importancia para futuras investigaciones sobre prácticas agrícolas más sostenibles en cultivos comerciales.

Cuadro 3. Cuantificación de unidades formadoras de colonias (UFC) en rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) con diferentes sustratos.**Table 3. Quantification of colony-forming units (CFU) in plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) with different substrates.**

Tratamiento	Descripción	UFC
T1	<i>S. marcescens</i> + (TM+P)	8.65×10^7
T2	<i>S. marcescens</i> + (TO+P)	1.19×10^8
T3	<i>S. marcescens</i> + (TM+TO+P)	7.15×10^5
T4	<i>P. protegens</i> + (TM+P)	3.60×10^6
T5	<i>P. protegens</i> + (TO+P)	9.15×10^4
T6	<i>P. protegens</i> + (TM+TO+P)	1.34×10^7
T7	<i>E. absuriae</i> + (TM+P)	6.40×10^6
T8	<i>E. absuriae</i> + (TO+P)	1.29×10^6
T9	<i>E. absuriae</i> + (TM+TO+P)	1.39×10^6
T10	<i>A. calcoaceticus</i> + (TM+P)	2.26×10^6
T11	<i>A. calcoaceticus</i> + (TO+P)	8.65×10^7
T12	<i>A. calcoaceticus</i> + (TM+TO+P)	7.10×10^5
T13	Sin PGPR +(TM+P)	5.90×10^6
T14	Sin PGPR +(TO+P)	5.10×10^6
T15	Sin PGPR +(TM+TO+P)	6.95×10^7

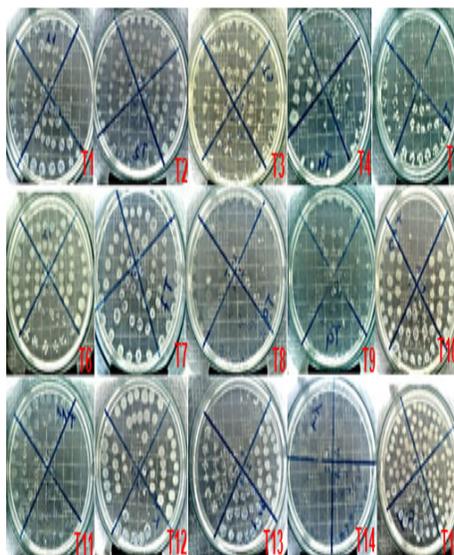


Figura 6. Cuantificación de unidades formadoras de colonia (UFC). Combinación de bacteria (*S. marcescens*, *P. protegens*, *E. absuriae*, *A. calcoaceticus*) y sustratos TM = tierra de montaña; TO = turba orgánica; P = perlita) y UFC unidades formadoras de colonias (número de células viables estimadas).

Figure 6. Quantification of colony-forming units (CFU). Combination of bacterial strains (*S. marcescens*, *P. protegens*, *E. absuriae*, *A. calcoaceticus*) and substrates TM = mountain soil; TO = organic peat; P = perlite. CFU refers to colony-forming units, representing the estimated number of viable cells.

CONCLUSIONES

La aplicación de *Enterobacter absuriae* no afectó negativamente la germinación de *Passiflora edulis* Sims, logrando tasas similares al tratamiento control (51.11%), lo que indica que las rizobacterias pueden ser utilizadas eficazmente sin necesidad de tratamientos químicos adicionales. El crecimiento de las plantas fue influenciado por la combinación de rizobacterias y sustratos, destacándose la mezcla de tierra de montaña con perlita y *Pseudomonas protegens*, que mostró un mayor desarrollo radicular y acumulación de biomasa. Además, las actividades enzimáticas de catalasa y oxidasa estuvieron relacionadas con la rizobacteria y el sustrato empleado, observándose una mayor actividad catalasa con *E. absuriae* en tierra de montaña y una mayor actividad oxidasa en presencia de turba orgánica. Estos resultados destacan la importancia de integrar rizobacterias y sustratos adecuados para optimizar la germinación, el crecimiento y la salud de las plantas de maracujá

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Investigación, conceptualización, validación, administración del proyecto y adquisición de fondos: M.S.C.P. Escritura - revisión y edición: W.J.C.C. Investigación y metodología: Y.A.P.Z. Escritura - preparación del borrador original, revisión y edición: J.J.R.P. Curación de datos y análisis de datos: M.C.E.T.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial al Ing. Ángel Cedeño Moreira por su valioso aporte al proveer los microorganismos utilizados en este estudio, así como por su orientación en el desarrollo de los procesos e ideas que guiaron la evaluación de las variables experimentales. También extendemos nuestro agradecimiento al Ing. Antonio Mendoza León por su apoyo técnico en el laboratorio y a Anaís Rivera por su asistencia como ayudante de laboratorio. Su contribución fue fundamental para llevar a cabo este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Akin-Osanaiye, B. C., Aruwa, I. N., & Olobayotan, I. W. (2019). Isolation of *Serratia marcescens* from the soil and *in vitro* prodigiosin production as source of antibiotic, active against oxacillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *South Asian Journal of Research in Microbiology*, 4(4), 1-9. <https://doi.org/10.9734/sajrm/2019/v4i430112>
- Andreolli, M., Zapparoli, G., Angelini, E., Lucchetta, G., Lampis, S., & Vallini, G. (2019). *Pseudomonas protegens* MP12: A plant growth-promoting endophytic bacterium with broad-spectrum antifungal activity against grapevine phytopathogens. *Microbiological Research*, 219, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.11.003>

- Arias-Suárez, J. C., Ocampo-Pérez, J. A., & Urrea-Gómez, R. (2014). La polinización natural en el maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como un servicio reproductivo y ecosistémico. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 73. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14200>
- Bensidhoum, L., Nabti, E., Tabli, N., Kupferschmid, P., Weiss, A., Rothballer, M., ... & Hartmann, A. (2016). Heavy metal tolerant *Pseudomonas protegens* isolates from agricultural well water in northeastern Algeria with plant growth promoting, insecticidal and antifungal activities. *European Journal of Soil Biology*, 75, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.04.006>
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1), 3-41. <http://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Calvo, P., Zebelo, S., McNear, D., Kloepper, J., & Fadamiro, H. (2019). Plant growth-promoting rhizobacteria induce changes in *Arabidopsis thaliana* gene expression of nitrate and ammonium uptake genes. *Journal of Plant Interactions*, 14(1), 224-231. <https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1602887>
- Canchignia-Martínez, H. F., Pinargote, C. B., Peñafiel-Jaramillo, M., Carranza-Patiño, M. S., Prieto-Benavides, O., & Gaibor-Fernández, R. (2016). Respuesta de poblaciones microbianas que lideran el crecimiento en raíces y resistencia sistémica inducida. *Ciencia y Tecnología*, 8(2), 1-10. <https://doi.org/10.18779/cyt.v8i2.200>
- Cañizares-Chacín, A. E., & Jaramillo-Aguilar, E. E. (2015). El cultivo de la Maracuyá en Ecuador. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala. ISBN: 978-9942-24-008-8
- Carranza-Patiño, M. S., Valdez-López, M. A., Tubay-Muñoz, V. A., & Canchignia-Martínez, H. F. (2022). Potencial empleo de bioformulados de PGRs en el proceso de germinación y desarrollo de balsa y melina en vivero. *Centrosur Agraria*, 1(E1), 1-14.
- De Andrade-Reis, R. J., Alves, A. F., dos Santos, P. H. D., Aguiar, K. P., da Silveira, S. F., Canellas, L. P., & Olivares, F. L. (2021). Mutualistic interaction of native *Serratia marcescens* UENF-22GI with *Trichoderma longibrachiatum* UENF-F476 boosting seedling growth of tomato and papaya. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37(12), 211. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03179-z>
- De Faveri, A., De Faveri, R., Broering, M. F., Bousfield, I. T., Goss, M. J., Muller, S. P., ... & Santin, J. R. (2020). Effects of passion fruit peel flour (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.) in cafeteria diet-induced metabolic disorders. *Journal of Ethnopharmacology*, 250, 112482. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112482>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L. A., Tablada, E. M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat versión 2020. software estadístico*. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat.
- Etesami, H., & Adl, S. M. (2020). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGR) and Their Action Mechanisms in Availability of Nutrients to Plants. In M. Kumar, V. Kumar & R. Prasad (Eds.), *Phyto-Microbiome in Stress Regulation* (pp. 147-203). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2576-6_9
- Hernández-Esquivel, A. A., Castro-Mercado, E., & García-Pineda, E. (2021). Comparative effects of *Azospirillum brasilense* Sp245 and *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 lipopolysaccharides on wheat seedling growth and peroxidase activity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 1903-1911. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10241-x>
- Hidri, R., Mahmoud, O. M. B., Zorrig, W., Mahmoudi, H., Smaoui, A., Abdelly, C., ... & Debez, A. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria alleviate high salinity impact on the halophyte *Suaeda frutescens* by modulating antioxidant defense and soil biological activity. *Frontiers in Plant Science*, 13, 821475. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.821475>
- Huang, W., Ratkowsky, D. A., Hui, C., Wang, P., Su, J., & Shi, P. (2019). Leaf fresh weight versus dry weight: ¿which is better for describing the scaling relationship between leaf biomass and leaf area for broad-leaved plants? *Forests*, 10(3), 256. <https://doi.org/10.3390/f10030256>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2020). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC). Consultado el 23 de marzo, 2024, desde <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-2020/>
- Kour, D., Rana, K. L., Yadav, N., Yadav, A. N., Kumar, A., Meena, V. S., ... & Saxena, A. K. (2019). Rhizospheric microbiomes: biodiversity, mechanisms of plant growth promotion, and biotechnological applications for sustainable agriculture. In *Plant growth promoting rhizobacteria for agricultural sustainability: from theory to practices* (pp. 19-65). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7553-8_2
- Kumari, M., Swarupa, P., Kesari, K. K., & Kumar, A. (2022). Microbial inoculants as plant biostimulants: A review on risk status. *Life*, 13(1), 12. <https://doi.org/10.3390/LIFE13010012>
- Liu, H., Chen, G. H., Sun, J. J., Chen, S., Fang, Y., & Ren, J. H. (2022). Isolation, characterization, and tea growth-promoting analysis of JW-CZ2, a bacterium with 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase activity isolated from the rhizosphere soils of tea plants. *Frontiers in Microbiology*, 13, 792876. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.792876>
- Marques, S. D. S. F., Libonati, R. M. F., Sabaa-Srur, A. U. O., Luo, R., Shejwalkar, P., Hara, K., ... & Smith, R. E. (2016). Evaluation of the effects of passion fruit peel flour (*Passiflora edulis* fo. *flavicarpa*) on metabolic changes in HIV patients with lipodystrophy syndrome secondary to antiretroviral therapy. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26, 420-426. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2016.03.002>
- Matteoli, F. P., Passarelli-Araujo, H., Reis, R. J. A., Da Rocha, L. O., De Souza, E. M., Aravind, L., ... & Venancio, T. M. (2018). Genome sequencing and assessment of plant growth-promoting properties of a *Serratia marcescens* strain isolated from vermicompost. *BMC Genomics*, 19(1), 750. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-5130-y>
- Mello, I. S., Targanski, S., Pietro-Souza, W., Stachack, F. F. F., Terezo, A. J., & Soares, M. A. (2020). Endophytic bacteria stimulate mercury phytoremediation by modulating its bioaccumulation and volatilization. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 202, 110818. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110818>
- Name, M. H. (2019). Método para calcular a área de superficial de raízes por processamento digital de imagens. En *Anais do XVI Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas-Latinoware 2019* (pp. pp. 139-141) Porto Alegre, Brasil: Sociedade Brasileira de Computação. <https://doi.org/10.5753/LATINOWARE.2019.10348>
- Niu, X., Song, L., Xiao, Y., & Ge, W. (2018). Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria associated with foxtail millet in a semi-arid agroecosystem and their potential in alleviating drought stress. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2580. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02580>
- Oldroyd, G. E. D., & Leyser, O. (2020). A plant's diet, surviving in a variable nutrient environment. *Science*, 368(6486), eaba0196. <https://doi.org/10.1126/science.aba0196>
- Ortiz-Castro, R., Campos-García, J., & López-Bucio, J. (2020). *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas fluorescens* influence *Arabidopsis* root system architecture through an auxin response mediated by bioactive cyclodipeptides. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(1), 254-265. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09979-w>
- Pereira, S. I. A., Abreu, D., Moreira, H., Vega, A., & Castro, P. M. L. (2020). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Heliyon*, 6(10), 1-9 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05106>
- Posada, A., Mejía, D., Polanco, D., & Cardona, J. (2021). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGR): Una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 161-176. <https://doi.org/10.22490/21456453.4040>

- Purwanto, P., & Suharti, W. S. (2021). Nutrient uptake, chlorophyll content, and yield of rice (*Oryza sativa* L.) under the application of PGPR consortium. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 13(3), 336-344.
- Raj, M., Kumar, R., Lal, K., Sirisha, L., Chaudhary, R., & Patel, S. K. (2020). Dynamic role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in agriculture. *International Journal of Chemical Studies*, 8, 105-110. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i5b.10284>
- Ren, H., Qin, X., Huang, B., Fernández-García, V., & Lv, C. (2020). Responses of soil enzyme activities and plant growth in a eucalyptus seedling plantation amended with bacterial fertilizers. *Archives of Microbiology*, 202(6), 1381-1396. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01849-4>
- Rojas-Romani, D., Calixto-Cotos, M. R., & Suca-Apaza, F. (2021). Utilization of Passiflora tripartita fruit residues. *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 445-453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.049>
- Rosmana, A., Taufik, M., Asman, A., Jayanti, N. J., & Hakkar, A. A. (2019). Dynamic of vascular Streak dieback disease incidence on Susceptible cacao treated with composted plant residues and *Trichoderma asperellum* in field. *Agronomy*, 9(10), 650. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100650>
- Ruiz, J. L., & Salas, M. D. C. (2019). Evaluation of organic substrates and microorganisms as bio-fertilisation tool in container crop production. *Agronomy*, 9(11), 705. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110705>
- Serret-López, M., Espinosa-Victoria, D., Gómez-Rodríguez, O., & Delgadillo-Martínez, J. (2016). Tolerance of strawberry (*Fragaria* × *Ananassa* Duch.) plants pre-mycorrhized with Rhizophagus intraradices and inoculated with PGPR's to Phytophthora capsici. *Agrociencia*, 50(8), 1107-1121.
- Sharma, N. K., Thakur, N., & Bhalla, T. C. (2019). Xanthine oxidase of *Acinetobacter calcoaceticus* RL2-M4: Production, purification and characterization. *Protein Expression and Purification*, 160, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2019.03.014>
- Silva, M. A., Nascente, A. S., Rezende, C. C., de Mello Frasca, L. L., de Filippi, M. C. C., Lanna, A. C., ... & Ferreira, E. A. S. (2022). Rizobactérias multifuncionais: utilização na agricultura. *Research, Society and Development*, 11(4), e3111426971-e3111426971. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.26971>
- Singh, R. P., & Jha, P. N. (2016). The multifarious PGPR *Serratia marcescens* CDP-13 augments induced systemic resistance and enhanced salinity tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *PLoS One*, 11(6), e0155026. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155026>
- Soriano-Melgar, L. D. A. A., Izquierdo-Oviedo, H., Saucedo-Espinosa, Y. A., & Cárdenas-Flores, A. (2020). Efecto de la aplicación de bioestimulantes sobre la calidad y capacidad antioxidante de frutos de calabacita (*Cucurbita pepo* L. var. *Grey Zucchini*). *Terra Latinoamericana*, 38(1), 17-28. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.516>
- Swiontek Brzezinska, M., Świątczak, J., Wojciechowska, A., Burkowska-But, A., & Kalwasińska, A. (2022). Consortium of plant growth-promoting rhizobacteria enhances oilseed rape (*Brassica napus* L.) growth under normal and saline conditions. *Archives of Microbiology*, 204(7), 393. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03018-1>
- Teles, S. P., Barros, D. I., Nunes, H. V., de Oliveira, L. B., da Costa, S. J., Libório, R. A., ... & di Napoli Nunes, B. H. (2023). Germination and Initial Growth Performance of *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) in Different Substrates. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(23), 1-12. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i234209>
- Tsegaye, Z., Alemu, T., Desta, F. A., & Assefa, F. (2022). Plant growth-promoting rhizobacterial inoculation to improve growth, yield, and grain nutrient uptake of teff varieties. *Frontiers in Microbiology*, 13, 896770. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.896770>
- Valarezo-Concha, M. A., Valarezo-Cely, O., Mendoza-García, A., Álvarez, H., & Vásquez, C. W. (2014). *El cultivo de maracuyá: Manual técnico para su manejo en el Litoral ecuatoriano*. Portoviejo, Ecuador: INIAP.
- Viera-Arroyo, W. F., Tello-Torres, C. M., Martínez-Salinas, A. A., Navia-Santillán, D. F., Medina-Rivera, L. A., Delgado-Párraga, A. G., ... & Jackson, T. (2020). Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 128-149.
- Zhang, J., Bei, S., Li, B., Zhang, J., Christie, P., & Li, X. (2019). Organic fertilizer, but not heavy liming, enhances banana biomass, increases soil organic carbon and modifies soil microbiota. *Applied Soil Ecology*, 136, 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.017>
- Zhao, J., Wang, S., Zhu, X., Wang, Y., Liu, X., Duan, Y., ... & Chen, L. (2021). Isolation and characterization of nodules endophytic bacteria *Pseudomonas protegens* Sneb1997 and *Serratia plymuthica* Sneb2001 for the biological control of root-knot nematode. *Applied Soil Ecology*, 164, 103924. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103924>
- Zuluaga, M. Y. A., Milani, K. M. L., Miras-Moreno, B., Lucini, L., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., ... & de Oliveira, A. L. M. (2021). Inoculation with plant growth-promoting bacteria alters the rhizosphere functioning of tomato plants. *Applied Soil Ecology*, 158, 103784. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103784>