

Artículo

Pseudomonas* spp. como biocontrol de la muerte descendente por *Phytophthora palmivora* en *Tectona grandis

Pseudomonas* spp. as biocontrol of *Phytophthora palmivora* dieback in *Tectona grandis

Joselyn Jacqueline Quintana Zambrano ¹, Fernando Abasolo-Pacheco ^{2*}, Johana Carolina Guanoquiza Calero ³, Cesar Sebastián Borja Freile ⁴ y Danna Belén Castillo Quijije ⁵

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0008-8893-5949>, joselyn.quintana2014@uteq.edu.ec

² Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0000-0003-2268-7432>

³ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0003-1072-0642>, carolina.guanoquiza2015@uteq.edu.ec

⁴ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0009-3777-2171>, cborjaf@uteq.edu.ec

⁵ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0000-0002-3172-6504>, dcastilloq@uteq.edu.ec

* Correspondencia: fabasolo@uteq.edu.ec

Cita: Quintana Zambrano, J. J., Abasolo-Pacheco, F., Guanoquiza Calero, J. C., Borja Freile, C. S., & Castillo Quijije, D. B. (2026). *Pseudomonas* spp. como biocontrol de la muerte descendente por *Phytophthora palmivora* en *Tectona grandis*. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 4(2), 120-142. <https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n2/155>

Recibido: 05/03/2026

Revisado: 02/04/2026

Aceptado: 10/04/2026

Publicado: 17/05/2026



Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n2/155>

Resumen: La teca es un árbol de gran valor comercial que enfrenta amenazas fitosanitarias como la muerte descendente causada por *P. palmivora*, un hongo del suelo que compromete el desarrollo y supervivencia de las plántulas. Frente a la limitada eficacia de los métodos convencionales, esta investigación evaluó el uso de rizobacterias del género *Pseudomonas* como alternativa biológica para el control del patógeno. Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con seis tratamientos (cinco cepas bacterianas y un control) y tres repeticiones. Los resultados destacaron las cepas bacterianas aisladas presentaron diversidad morfológica, bioquímica y funcional, destacándose BZ1 y QV2 por su alta capacidad de producción de ácido indolacético (AIA) La cepa QV3 como la más efectiva: inhibió el crecimiento de *P. palmivora* en un 78 %, redujo la incidencia de la enfermedad al 22,4 % y la severidad al 7,9 %. En cuanto al crecimiento vegetal, QV3 promovió la mayor altura de planta (30,2 cm), mayor diámetro, peso fresco de biomasa aérea (28,2 g) y radicular, contenido de clorofila (37,6 SPAD) y volumen radicular (11,8 cm³). En conclusión, la cepa QV3 demostró alto potencial como agente de biocontrol y bioestimulante, destacándose por su doble función en la supresión del patógeno y promoción del desarrollo de *T. grandis*.

Palabras clave: Biocontrol; severidad; incidencia; ácido indolacético.

Abstract: Teak is a tree of great commercial value that faces phytosanitary threats such as dieback caused by *P. palmivora*, a soil fungus that compromises the development and survival of seedlings. Given the limited effectiveness of conventional methods, this research evaluated the use of rhizobacteria of the genus *Pseudomonas* as a biological alternative for controlling the pathogen. A completely randomised

design (CRD) was applied with six treatments (five bacterial strains and one control) and three replicates. The results highlighted that the isolated bacterial strains presented morphological, biochemical and functional diversity, with BZ1 and QV2 standing out for their high capacity to produce indoleacetic acid (IAA). The QV3 strain was the most effective: it inhibited the growth of *P. palmivora* by 78%, reduced the incidence of the disease to 22,4% and its severity to 7.9%. In terms of plant growth, QV3 promoted greater plant height (30,2 cm), greater diameter, fresh weight of above-ground biomass (28.2 g) and root biomass, chlorophyll content (37,6 SPAD) and root volume (11,8 cm³). In conclusion, the QV3 strain showed high potential as a biocontrol agent and biostimulant, standing out for its dual function in suppressing the pathogen and promoting the development of *T. grandis*.

Keywords: Biocontrol; severity; incidence; indoleacetic acid.

1. Introducción

La teca es un árbol de gran importancia económica y cultural, ampliamente cultivado en regiones tropicales y subtropicales del mundo por su valiosa madera (Venkatesh et al., 2023). Este árbol prospera en suelos bien drenados y ricos en nutrientes, preferiblemente en áreas con una precipitación anual de al menos 1,200 mm y temperaturas cálidas (Mushineni et al., 2024). Además, prefiere áreas con una estación seca definida para una mejor formación de la madera (Dimkić et al., 2022). En el año 2020 obtuvo \$38.271.121,32 FOB (Free On Board) en exportaciones (ASOTECA, 2020).

Al considerar el contexto forestal, donde la salud de los árboles es vital para la estabilidad de los ecosistemas y para la industria maderera, el control de enfermedades se convierte en una preocupación primordial (Healey et al., 2016; Macpherson et al., 2018). Las enfermedades forestales pueden ser causadas por una variedad de agentes patógenos, incluyendo hongos, bacterias y nematodos, los cuales pueden causar daños significativos a los bosques, disminuyendo la productividad y la biodiversidad (Balla et al., 2021).

Las enfermedades fungosas representan una de las principales preocupaciones para los productores (Venkatesh et al., 2023). Entre las más comunes se encuentra la causada por especies de *Phytophthora*, un género de hongos patógenos del suelo que pueden provocar la muerte descendente en los árboles de teca (Parthasarathy et al., 2021). Este hongo incluye varias especies patógenas para plantas, y la infección por estos hongos puede causar enfermedades en una amplia variedad de cultivos, incluida la teca (Mascarenhas et al. 2021). La "muerte descendente" causada por *Phytophthora* sp. en el cultivo de teca es un problema grave que afecta a esta especie de árbol. Estos hongos infectan las raíces y se propagan a través del sistema vascular, causando marchitez y eventualmente la muerte del árbol si no se controlan adecuadamente (Magaña et al., 2022).

Esta enfermedad tiene como característica que las hojas superiores de los árboles comienzan a marchitarse y morir, y este proceso se extiende gradualmente hacia abajo por la copa del árbol (Lione et al., 2023). A medida que avanza la enfermedad, las ramas más bajas y finalmente todo el árbol

pueden verse afectado, lo que eventualmente puede llevar a la muerte del árbol (Jung et al., 2021). La utilización de bacterias del género *Pseudomonas* para el control de enfermedades en especies forestales representa una fascinante y prometedora área de investigación en la protección de los recursos naturales y la silvicultura (Dimkić et al., 2022). *Pseudomonas* es un género diverso y ampliamente distribuido de bacterias que exhiben una notable capacidad para colonizar una variedad de ambientes, incluidos los suelos forestales (Bonaterra et al., 2022).

Estas bacterias son reconocidas por su versatilidad metabólica y su capacidad para producir una amplia gama de compuestos bioactivos, algunos de los cuales muestran actividad antagonista contra patógenos de plantas (Zhang et al., 2020). La idea fundamental detrás del empleo de bacterias *Pseudomonas* spp. como agentes de control biológico radica en su capacidad para competir y suprimir el crecimiento de organismos patógenos en el suelo o en la superficie de las plantas (Thakur et al., 2024). En este sentido, las bacterias *Pseudomonas* spp. han surgido como una herramienta potencialmente efectiva y sostenible para el manejo de estas enfermedades, ofreciendo una alternativa a los métodos tradicionales que a menudo implican el uso de pesticidas químicos (Lalucat et al., 2022).

Dada la importancia económica y ecológica de la teca, la investigación busca alternativas biológicas al uso de pesticidas químicos, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles. Al mejorar la resistencia de las plántulas a enfermedades, el estudio podría contribuir a una producción forestal más saludable y a la restauración de ecosistemas, fomentando un manejo responsable de los recursos naturales. Por lo que la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de rizobacterias del género *Pseudomonas* en el control de la muerte descendente ocasionada por *P. palmivora* en plántulas de teca.

2. Materiales y Métodos

2.1. Sitio del estudio y enfoque experimental

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Biología y Microbiología del campus experimental La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, el cual dispone de infraestructura, equipamiento y condiciones controladas adecuadas. El estudio correspondió a una investigación de tipo experimental, con nivel explicativo y modalidad analítica, integrando ensayos *in vitro* e *in situ*. Este enfoque permitió analizar los mecanismos de infección y virulencia de *Phytophthora palmivora*, así como la capacidad antagonista de rizobacterias del género *Pseudomonas*, combinando información proveniente de literatura científica especializada con resultados experimentales originales, lo que permitió obtener una visión integral de la biología y ecología del patógeno (Hartman, 2011). La investigación contó con autorización institucional para el uso de las

instalaciones y del material vegetal y microbiológico. Se respetaron las normas de bioseguridad para el manejo de microorganismos y no se involucraron seres humanos ni animales, por lo que no fue requerido consentimiento informado, cumpliéndose los principios éticos de la investigación científica.

2.2. Diseño experimental y estructura de tratamientos

El diseño experimental aplicado fue completamente al azar (DCA), conformado por cinco tratamientos, incluyendo un testigo sin aplicación bacteriana, con tres repeticiones por tratamiento y cuatro unidades experimentales por repetición. Para los ensayos *in situ* se emplearon plántulas de *Tectona grandis* variedad costarricense, obtenidas de un vivero de la ciudad de Quevedo, mientras que para los ensayos *in vitro* se aislaron bacterias rizosféricas a partir de muestras recolectadas en plantaciones de teca ubicadas en los cantones Balzar, Valencia y Quevedo. Se incluyeron únicamente plántulas sanas, homogéneas y sin síntomas visibles de enfermedad; se excluyeron aquellas con daño mecánico o contaminación previa y se eliminaron del análisis las unidades experimentales que presentaron pérdidas accidentales durante el manejo.

2.3. Aislamiento y caracterización de las bacterias

Las cepas bacterianas evaluadas (BZ1, BZ4, QV2 y QV3) fueron seleccionadas a partir de antecedentes bibliográficos sobre su potencial antagonista frente a oomicetos fitopatógenos, además de un tratamiento control. El aislamiento de las rizobacterias se realizó a partir de 100 g de suelo y raíces asociadas a la rizósfera de teca, mediante diluciones seriadas y siembra por extensión en medios selectivos King B y agar cetrimide, incubándose entre 25 y 30 °C durante 48 horas (Silk et al., 2024). Las colonias con morfología característica fueron purificadas por repiques sucesivos hasta obtener cultivos axénicos (Hartman, 2011).

La caracterización bacteriana incluyó la tinción de Gram siguiendo el protocolo descrito por Gamazo et al. (2013), así como pruebas bioquímicas de oxidasa y catalasa empleando reactivo de Kovács y peróxido de hidrógeno, respectivamente (Kalyan, 2018). La caracterización morfológica se realizó mediante observación microscópica, registrándose forma celular, arreglo, tamaño y estructuras accesorias, y comparando los resultados con descripciones reportadas en la literatura especializada (Vargas y Kuno, 2014). La fluorescencia se evaluó en medio King B bajo luz ultravioleta, asociada a la producción de sideróforos fluorescentes característicos del género *Pseudomonas* (Álvarez-García et al., 2020).

La capacidad funcional de las cepas se evaluó mediante la prueba de solubilización de fosfatos en agar Pikovskaya, considerando positiva la formación de halos claros alrededor de las colonias y el cambio de color del indicador púrpura de bromocresol, según lo descrito por Corrales et al. (2014).

La producción de ácido indolacético (AIA) se cuantificó cultivando las cepas en medio Luria Bertani suplementado con L-triptófano ($0,1 \text{ g L}^{-1}$), incubadas a 28°C durante 48 horas en agitación constante. El sobrenadante se obtuvo por centrifugación y la concentración de AIA se determinó mediante el reactivo de Salkowski, con lecturas de absorbancia a 530 nm y estimación a partir de una curva estándar. Para la evaluación temporal, se realizaron muestreos cada 10 horas hasta las 50 horas, siguiendo el mismo procedimiento analítico.

2.4. Bioensayos *in vitro*

La capacidad inhibitoria *in vitro* frente a *P. palmivora* se evaluó mediante cultivos duales en placas de agar, empleando medios King B para las bacterias y agar V8 para el patógeno, siguiendo la metodología descrita por Guo y Ko (1993). El porcentaje de inhibición del crecimiento micelial se calculó conforme al método propuesto por Bashan et al. (1996), comparando el diámetro de las colonias del patógeno en presencia y ausencia de las rizobacterias. Adicionalmente, se realizó la cuantificación microscópica de zoosporas y esporangios.

2.5. Bioensayos *in situ*

La capacidad inhibitoria *in situ* se evaluó en plántulas de teca previamente inoculadas con *P. palmivora*, aplicando 1 mL de suspensión bacteriana ajustada a 1×10^8 UFC al sistema radicular. Se estableció un grupo control conformado por plántulas infectadas sin aplicación bacteriana, permitiendo comparar la evolución de la enfermedad bajo condiciones controladas.

Las variables evaluadas incluyeron incidencia y severidad de la enfermedad, determinadas según escalas descriptivas previamente reportadas (Arguedas, 2004; Matarrita et al., 2012), así como altura de planta, diámetro del tallo, peso de biomasa aérea, peso y volumen radicular y contenido relativo de clorofila medido con un medidor SPAD-502 Plus. Todas las mediciones se realizaron en 15 plántulas por tratamiento, utilizando instrumentos calibrados y protocolos estandarizados.

2.6. Identificación molecular

La identificación molecular del fitopatógeno se realizó mediante la amplificación de la región ITS utilizando los cebadores ITS1 e ITS4 (White et al., 1990). Los productos de PCR se separaron por electroforesis en gel de agarosa y las secuencias obtenidas fueron analizadas mediante comparación con bases de datos NCBI y GenBank usando BLASTn (Altschul et al., 1990), confirmando la identidad taxonómica de los aislamientos.

2.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico descriptivo y análisis de varianza (ANOVA). Cuando se detectaron diferencias significativas, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey al 95 % de confianza, verificándose previamente los supuestos de normalidad y homogeneidad de

varianzas. El procesamiento estadístico se realizó en el software InfoStat versión 2023.

3. Resultados

3.1. Característica morfológica, bioquímica y funcional de las bacterias aislada

En la caracterización morfológica, bioquímica y funcional de las cepas bacterianas aisladas de las zonas de Balzar, Valencia y Quevedo, se observaron variaciones relevantes entre las muestras (Tabla 1). En cuanto a las pruebas bioquímicas, las cepas presentaron resultados positivos para fluorescencia, ureasa y catalasa, con excepción de VL3, que fue negativa para fluorescencia y ureasa, pero positiva para catalasa y oxidasa, y única entre todas en presentar tinción Gram positiva. En contraste, las demás cepas fueron Gram negativas.

La prueba de oxidasa resultó positiva en la mayoría de los casos, característica común en bacterias aerobias. En cuanto a la morfología colonial, predominó la forma circular (Fig. 1), con presencia puntual de formas puntiformes en BZ1 y fusiformes en BZ2. El borde entero fue la característica más común, aunque también se evidenciaron bordes ondulados y lobulados en menor frecuencia. La elevación convexa se observó principalmente en cepas como BZ1, VL2, VL3, QV3 y QV4, mientras que la elevación plana fue poco frecuente. Respecto a la actividad inhibitoria, únicamente las cepas BZ1, BZ4, VL3, QV2 y QV3 mostraron actividad positiva.

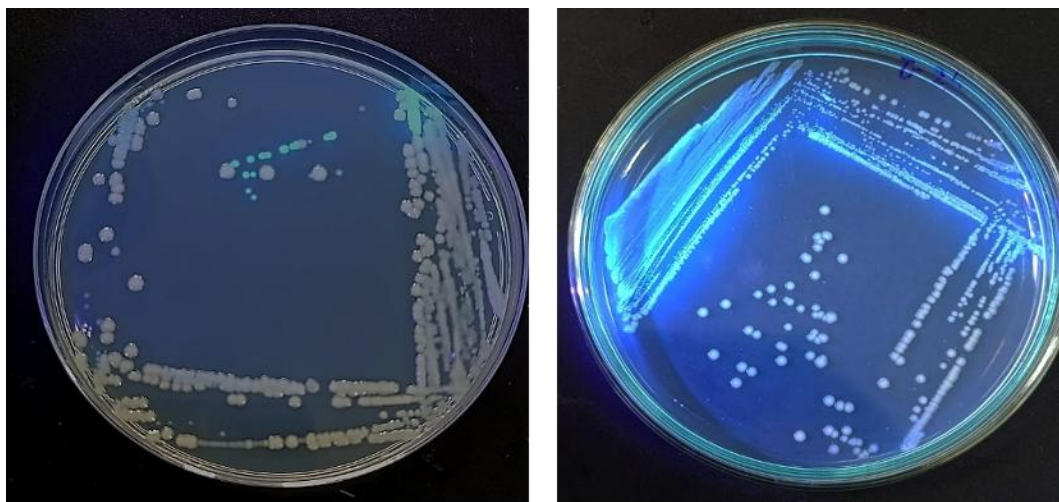
Tabla 1
Características morfológicas, bioquímicas y funcionales de las bacterias aislada Pseudomonas aisladas

Cepa	Bioquímica				Forma				Borde			Elevación		Actividad inhibitoria		
	Fluorescencia	Ureasa	Catalasa	Oxidasa	Tinción Gram	Puntiforme	Circular	Filamentosa	Fusiforme	Entero	Ondulado	Lobulado	Plana	Elevada	Convexa	
BZ1	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+
BZ2	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
BZ3	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-
BZ4	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+
VL1	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-
VL2	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
VL3	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+
VL4	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-
QV1	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
QV2	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+
QV3	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+
QV4	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-

Balzar (BZ), Valencia (VL), Quevedo (QV)

Figura 1.

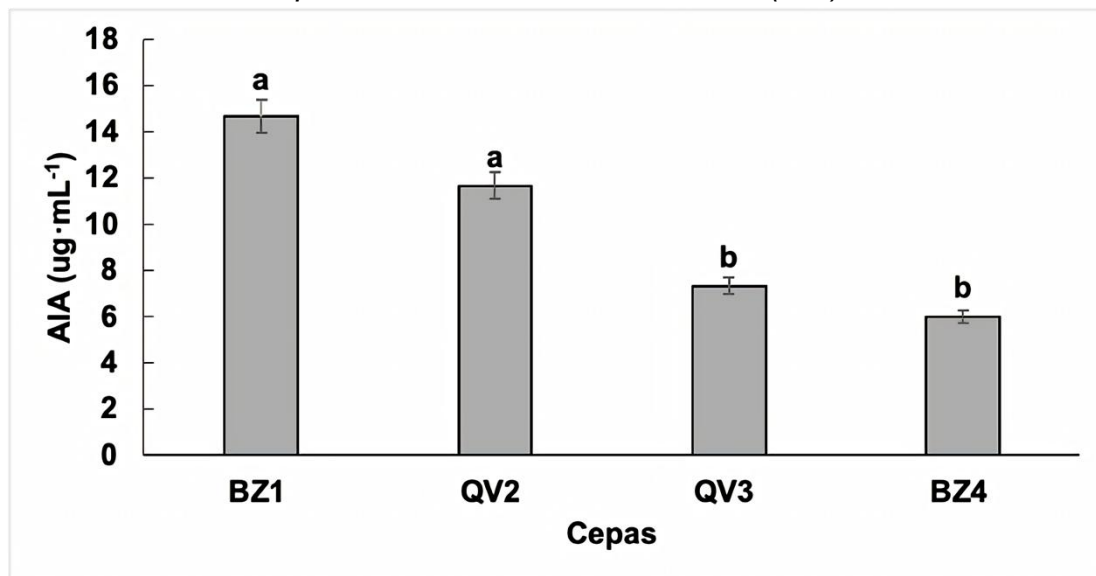
Aislamiento de bacterias Pseudomonas spp. en medio selectivo



Nota: En la figura de la izquierda se observa el crecimiento de colonias bacterianas en medio sólido observado bajo luz blanca, con morfología circular, borde regular y color blanquecino. En la figura de la derecha se observan colonias observadas bajo luz ultravioleta, mostrando fluorescencia característica asociada a la producción de sideróforos (*Pseudomonas* spp.).

3.2. Cuantificación de la producción de ácido indolacético (AIA)

En la cuantificación de la producción de ácido indolacético (AIA) expresada en $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ por parte de las cepas seleccionadas, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p<0.05$). En la Figura 2, se muestra que las cepas BZ1 y QV2 registraron las mayores concentraciones de AIA, con valores de 14,7 y 11,7 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ respectivamente. En contraste, las cepas QV3 y BZ4 mostraron una producción significativamente menor de AIA, con valores de 7,3 y 6,0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ respectivamente.

Figura 2*Cuantificación de la producción de ácido indolacético (AIA)*

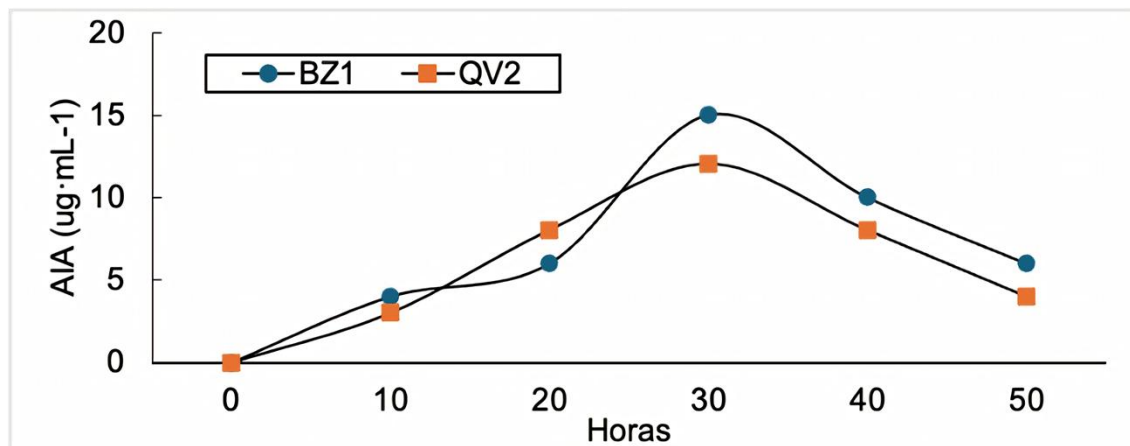
Nota: Las barras indican la media de cada tratamiento. Líneas verticales la desviación estándar de cada cepa. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, Tukey ($p < 0,05$).

3.3. Evaluación temporal de la producción de ácido indolacético (AIA)

Los datos presentados en la Fig. 3, indican la evaluación temporal de la producción de ácido indolacético (AIA) por parte de las cepas BZ1 y QV2 reveló patrones dinámicos en la biosíntesis de la fitohormona a lo largo de un período de 50 horas.

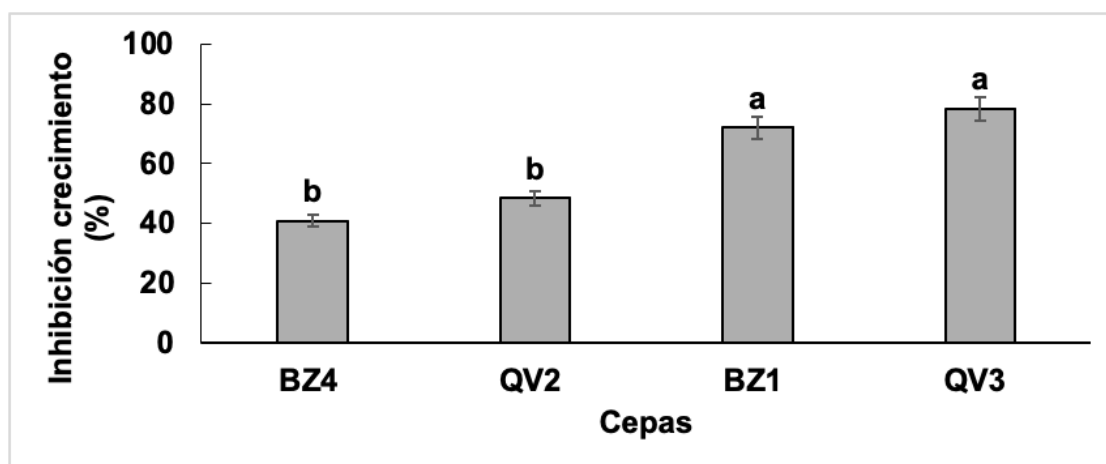
En ambas cepas, la producción de AIA fue nula en el tiempo inicial (0 h), incrementándose progresivamente con el paso de las horas. La cepa BZ1 mostró un aumento moderado hasta las 20 horas ($4 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ a 10 h y $6 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ a 20 h), alcanzando su pico máximo a las 30 horas con una producción de $15 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Posteriormente, se evidenció una disminución gradual hasta $10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ a las 40 h y $6 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ a las 50 h.

Por su parte, la cepa QV2 exhibió un patrón similar, con incrementos hasta las 30 horas ($3,8$ y $12 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ en los tiempos de 10, 20 y 30 h, respectivamente), seguidos también de una reducción a $8 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ a las 40 h y $4 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ a las 50 h.

Figura 3*Evaluación de la producción de ácido indolacético (AIA)*

3.4. Porcentaje de inhibición del crecimiento de *P. palmivora*

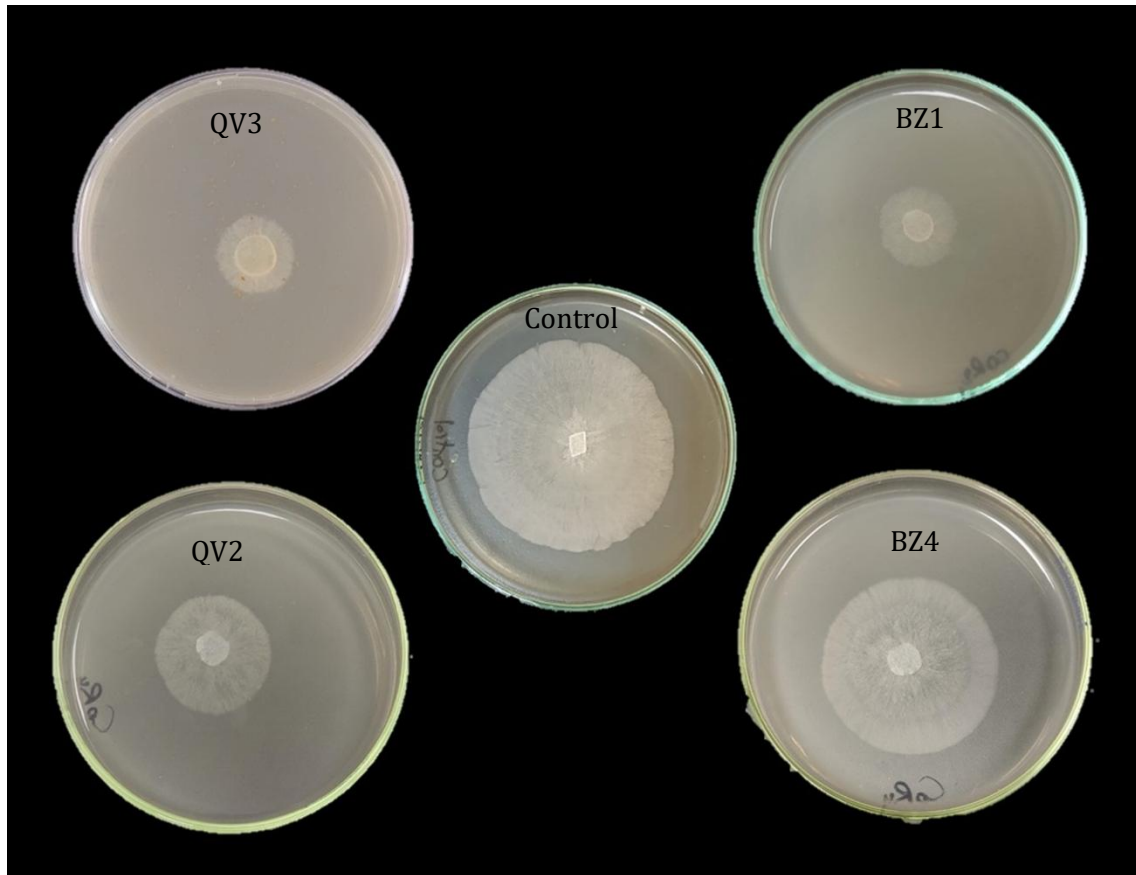
En la evaluación del efecto antagonista de las cepas bacterianas sobre el crecimiento de *P. palmivora*, se observaron diferencias significativas en los porcentajes de inhibición, con valores que oscilaron entre el 41 % y el 78 %, en contraste con el tratamiento control que no presentó inhibición (0 %). Las cepas QV3 y BZ1 mostraron la mayor capacidad inhibitoria, con porcentajes de 78 % y 72 % respectivamente. En cambio, las cepas QV2 y BZ4 presentaron menores porcentajes de inhibición, con valores de 48 % y 41 %, respectivamente (Figuras 4 y 5).

Figura 4*Porcentaje de inhibición del crecimiento de *P. palmivora* aplicando bacterias del género *Pseudomonas*, con potencial antagonico.*

Nota: Las barras indican la media de cada tratamiento. Líneas verticales la desviación estándar de cada cepa. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, Tukey ($p < 0,05$).

Figura 5

*Prueba de antagonismo de *P. palmivora* aplicando bacterias del género *Pseudomonas* seleccionadas*



Nota: Se observa la inhibición del crecimiento micelial en presencia de las cepas QV2, QV3, BZ1 y BZ4, en comparación con el control sin bacteria.

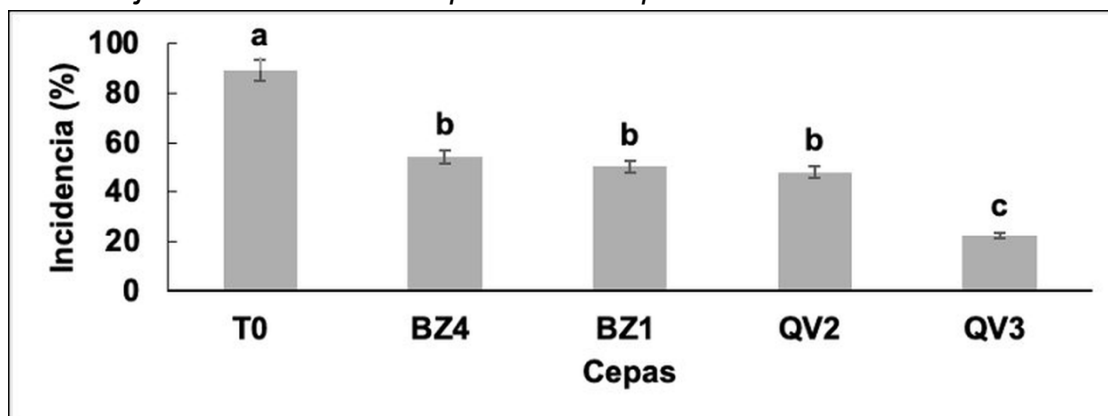
3.5. Porcentaje de incidencia de *P. palmivora*

El análisis del porcentaje de incidencia de la enfermedad causada por *P. palmivora* evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos bacterianos evaluados. En la Figura 6 se refleja que el tratamiento control (T0), sin aplicación de cepas bacterianas, presentó la mayor incidencia con un 89.1 %.

En contraste, la cepa QV3 mostró la menor incidencia con un 22.4 %, lo que indica una notable eficacia en la reducción del desarrollo de la enfermedad. Las cepas QV2, BZ1 y BZ4 mostraron incidencia con porcentajes de 48 %, 50.3 % y 54.1 %, respectivamente, sin diferencias estadística entre ellos.

Figura 6

Porcentaje de incidencia de *P. palmivora* en plántulas de teca.



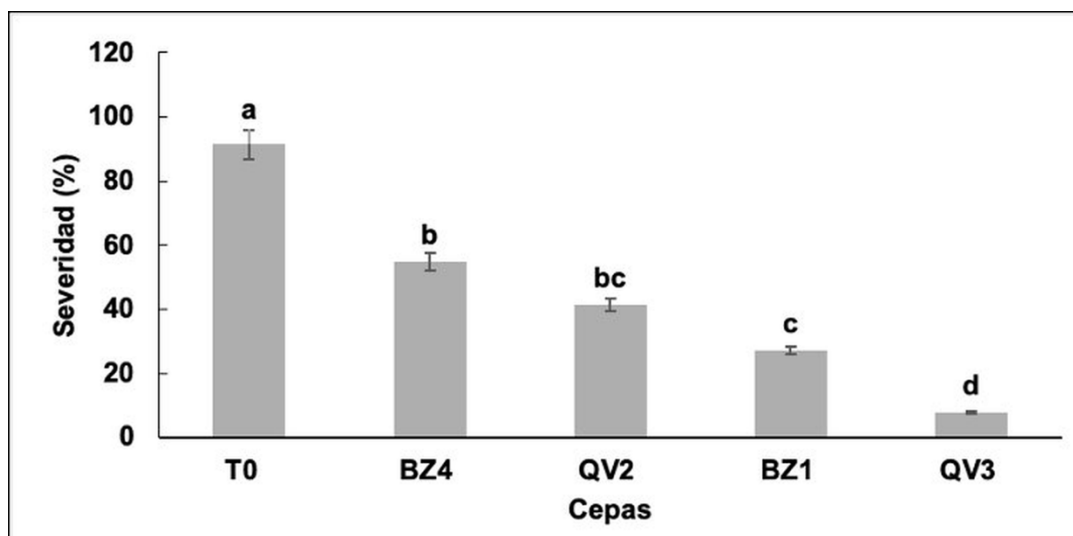
Nota: Las barras indican la media de cada tratamiento. Líneas verticales la desviación estándar de cada cepa. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, Tukey ($p < 0,05$).

3.6. Porcentaje de severidad de *P. palmivora*

El análisis del porcentaje de severidad de la enfermedad causada por *P. palmivora* mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos bacterianos evaluados. El tratamiento control (T0), sin aplicación de cepas bacterianas, registró el valor más alto con un 91.4 %. En contraste, la cepa QV3 presentó la menor severidad con un 7,9 %. Las cepas BZ1 y QV2 redujeron la severidad a 27,1 % y 41,4 %, respectivamente, mientras que la cepa BZ4 registró un 54,7 % (Figura 7 y 8).

Figura 7

Porcentaje de severidad de *P. palmivora* en plántulas de *T. grandis*.



Nota: Las barras indican la media de cada tratamiento. Líneas verticales la desviación estándar de cada cepa. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, Tukey ($p < 0,05$).

Figura 8

Severidad de plántulas de *T. grandis* a los 21 días posteriores a la inoculación con *P. palmivora* y la aplicación de cepas rizobacterianas antagonistas.



Nota: (A) QV2; (B) BZ4; (D) QV3; (E) BZ1. Testigo patógeno (*Phytophthora* sp.) (C) y (F).

3.7. Características morfofisiológicas

Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos en todas las características morfofisiológicas evaluadas en plántulas de *T. grandis* expuestas a *P. palmivora*. El tratamiento QV3 presentó la mayor altura de planta, alcanzando 30,2 cm, así como el mayor diámetro de tallo, con 5,0 mm. Asimismo, generó mayor producción de biomasa, tanto en peso fresco (28,2 g) como en peso seco (7,4 g), y también presentó el contenido más alto de clorofila, medido con 37,6 unidades SPAD. En cuanto al desarrollo radicular, QV3 registró el volumen más alto con 11,8 cm³. En contraste, el tratamiento T0 (sin inoculación bacteriana) mostró la menor altura (21,4 cm), el menor peso fresco (18,3 g), el menor contenido de clorofila (28,3 SPAD), así como el volumen radicular más reducido (85 cm³). Los tratamientos BZ1, BZ4 y QV2 mejoraron el crecimiento respecto al testigo, pero no alcanzaron los niveles observados en QV3, indicando una efectividad diferenciada entre cepas bacterianas (Tabla 2).

Tabla 2

Características morfofisiológicas de plántulas de T. grandis inoculadas con diferentes cepas bacterianas y expuestas a P. palmivora.

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de planta (mm)	Peso biomasa aérea (g)	Peso radicular (g)	Clorofila SPAD	Volumen radicular (cm ³)
T0	21.4 ± 3.8 d	4.3 ± 0.5 bc	18.3 ± 2.9 d	3.9 ± 1.4 c	28.3 ± 2.3 d	8.5 ± 3.8 d
BZ4	25.2 ± 1.6 c	4.4 ± 0.6 b	23.8 ± 2.2 c	5.6 ± 0.8 c	33.2 ± 2.3 c	9.3 ± 3.1 b
BZ1	25.3 ± 5.5 c	4.4 ± 0.10 b	24.2 ± 1.7 c	5.5 ± 0.2 c	33.5 ± 2.1 b	8.6 ± 1.0 d
QV2	27.1 ± 3.9 b	4.1 ± 0.4 c	27.9 ± 1.9 b	7.3 ± 1.1 b	33.1 ± 1.0 bc	8.9 ± 1.3 cd
QV3	30.2 ± 3.3 a	5.0 ± 0.3 a	28.2 ± 2.0 a	7.4 ± 1.2 a	37.6 ± 3.9 a	11.8 ± 0.9 a

Nota: Resultados expresados en media aritmética ± desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas entre tratamientos, Tukey (p<0,05).

3.8. Identificación molecular del fitopatógeno

Los aislamientos, denominados PH12-01 y PH12-02, mostraron una alta calidad de secuencia y fueron sometidos a análisis de homología mediante comparación con bases de datos públicas NCBI y *GenBank*. En la tabla se revelan los resultados, mismos que indicaron que ambos aislamientos correspondieron a *P. palmivora*, una especie reconocida por su capacidad patogénica en diversas plantas leñosas. El aislamiento PH12-01 presentó un 100 % de cobertura y un 100 % de identidad con la cepa EGPP, registrada bajo el número de acceso OR917912.1 en *GenBank*. De manera similar, el aislamiento PH12-02 coincidió en un 100 % con la cepa 8 C, con número de acceso OR427309.1 (Tabla 3).

Tabla 3

Identificación molecular del fitopatógeno

AISLADO			Identidad (Base de datos NCBI / GenBank)			
Código	Nomenclatura	Gen	Cepa	Cobertura de consulta (%)	Identidad (%)	Número de acceso
PH12-01	<i>Phytophthora palmivora</i>	5.8 S	EGPP	100	100	OR917912.1
PH12-02	<i>Phytophthora palmivora</i>		8 C	100	100	OR427309.1

4. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio confirmaron la eficacia de rizobacterias del género *Pseudomonas* como agentes de biocontrol y promotores del crecimiento vegetal en plántulas de *T. grandis* afectadas por *P. palmivora*. El aislamiento y caracterización de cepas nativas permitió evidenciar una amplia diversidad morfológica, bioquímica y funcional, lo cual es coherente con lo reportado por Muthiah et al. (2023), quienes destacan la plasticidad metabólica del género *Pseudomonas* y su habilidad para adaptarse a múltiples nichos ecológicos.

En la presente investigación, se demostró que varias cepas aisladas mostraron resultados positivos en pruebas de fluorescencia, ureasa, catalasa y oxidasa, excepto VL3, que presentó particularidades bioquímicas, incluida una tinción Gram positiva, algo inusual en *Pseudomonas* spp., que suelen ser Gram negativas (Wali et al., 2024). Esta variabilidad bioquímica sugiere la existencia de poblaciones bacterianas con rasgos fenotípicos atípicos, lo cual podría deberse a la presión ambiental específica de los suelos rizosféricos de las zonas productoras de teca en el litoral ecuatoriano. Tal variabilidad también ha sido documentada por Haque et al. (2024), quienes indican que incluso cepas taxonómicamente próximas pueden diferir en su expresión enzimática y capacidad antagonista.

La producción de ácido indolacético (AIA) se destacó como un rasgo diferencial entre cepas, siendo las cepas BZ1 y QV2 las que evidenciaron mayor síntesis de esta fitohormona. Aunque la cepa QV3 produjo menor AIA, sus resultados en el control de *P. palmivora* fueron superiores, lo cual demuestra que la eficacia en biocontrol no depende exclusivamente de la producción de AIA, sino de un conjunto de mecanismos que incluyen la producción de metabolitos secundarios, sideróforos, y enzimas hidrolíticas (Simamora et al., 2024). Hernández-Rodríguez et al. (2023), también observaron que algunas cepas de *Pseudomonas* con baja producción de AIA podían presentar gran capacidad de antagonismo debido a la síntesis de antibióticos como piocianina y fenazinas, que inhiben la germinación y crecimiento de hongos patógenos.

La capacidad inhibitoria de las cepas sobre el crecimiento de *P. palmivora in vitro* mostró diferencias notables. En particular, la cepa QV3 evidenció el mayor porcentaje de inhibición, lo que es consistente con las investigaciones de Anand et al. (2020), quienes reportaron cepas de *Pseudomonas* spp. capaces de inhibir más del 70 % del crecimiento de *Phytophthora* spp. en cultivos duales. Este antagonismo puede atribuirse a la producción de compuestos antifúngicos y a la competencia por espacio y nutrientes. Además, las bacterias pueden secretar enzimas como quitinasas y glucanasas, capaces de degradar las paredes celulares del hongo, mecanismo señalado también por Volynchikova y Kim (2023), en estudios sobre biocontrol de fitopatógenos del suelo.

Otro aspecto observado fue la disminución de la incidencia y severidad de la enfermedad en las plántulas tratadas con rizobacterias, especialmente con la cepa QV3. Aunque la producción de AIA de esta cepa no fue mayor, su impacto en la protección de las plántulas fue notoriamente superior. Esto confirma que la eficacia en biocontrol de *Pseudomonas* puede estar más relacionada con la producción de metabolitos antimicrobianos y con la inducción de resistencia sistémica en las plantas (Hajabdollahi et al., 2021). Este hallazgo coincide con lo señalado por Khaeruni et al. (2022), quienes documentan que cepas de *P. fluorescens* pueden activar genes de defensa en plantas hospederas, reduciendo significativamente los síntomas de enfermedades vasculares.

Además, la reducción en la severidad y la incidencia de la enfermedad en los tratamientos bacterianos indica una interacción positiva planta-microorganismo, donde las rizobacterias no solo actúan como barrera física o química contra el patógeno, sino que además modifican la respuesta inmune de la planta (Yang & Hong, 2020). Sheng et al. (2024), destacan que esta activación de defensas inducidas puede involucrar vías como el ácido salicílico y el ácido jasmónico, promoviendo la producción de proteínas PR (*Pathogenesis Related Proteins*) y fitoalexinas, que refuerzan las barreras estructurales y químicas de la planta contra el avance del patógeno.

La influencia de las rizobacterias sobre las variables morfofisiológicas de las plántulas de *T. grandis* constituye uno de los hallazgos más relevantes del presente estudio, dado que se observó un incremento significativo en altura, diámetro, biomasa aérea y radicular, contenido de clorofila y volumen radicular en las plantas tratadas, especialmente en aquellas inoculadas con la cepa QV3. Este resultado refleja el efecto bioestimulante de las rizobacterias, fenómeno que ha sido ampliamente documentado en la literatura, donde se reporta que cepas de *Pseudomonas* pueden liberar compuestos promotores del crecimiento, tales como ácido indolacético (Zboralski & Filion, 2020), sideróforos, citoquininas (Costa-Gutierrez et al., 2022) y ácido giberélico, los cuales influyen directamente en la morfogénesis vegetal (Cochard et al., 2022).

En particular, la mejora en el contenido de clorofila registrada en las plantas tratadas sugiere un mejor estado fisiológico y una mayor capacidad fotosintética, lo que repercute en la producción de biomasa. Esto coincide con lo descrito por Aslani et al. (2024), quienes señalan que rizobacterias como *P. fluorescens* pueden modular el metabolismo del nitrógeno y la síntesis de pigmentos fotosintéticos, contribuyendo así a un vigor vegetal superior. Adicionalmente, las bacterias pueden estimular la síntesis de proteínas y enzimas asociadas al proceso fotosintético, generando plantas con mayor potencial de crecimiento y adaptación a condiciones adversas (Anwar et al., 2024).

Por otro lado, el incremento observado en el volumen radicular de las plantas tratadas con QV3 podría estar vinculado a la capacidad de ciertas cepas de *Pseudomonas* spp. para solubilizar fosfatos y otros nutrientes esenciales,

mejorando así la absorción mineral por las raíces (Sanclemente et al., 2017). Este mecanismo ha sido descrito por Chalaraca-Vélez y Gaviria (2020), quienes destacan que bacterias rizosféricas pueden liberar ácidos orgánicos que movilizan fosfatos insolubles en el suelo, haciéndolos disponibles para la planta. La mayor disponibilidad de nutrientes no solo favorece el desarrollo radicular, sino que potencia el crecimiento general de la planta, reforzando su tolerancia a factores bióticos y abióticos (Muthiah et al., 2023; Maleki et al., 2017; Park et al. 2009).

Asimismo, es importante considerar que las rizobacterias pueden inducir cambios en la arquitectura radicular, promoviendo una mayor ramificación y longitud de raíces finas, lo que incrementa el volumen de exploración del suelo y facilita la captación de agua y nutrientes (Gupta et al., 2021; Kashyap et al., 2021). Esto coincide con el incremento observado en las plántulas tratadas en este estudio, particularmente con QV3, lo cual refleja una interacción simbiótica efectiva entre la rizobacteria y la planta hospedera (Ali et al., 2021).

La presente investigación aporta evidencia sólida sobre el potencial de las rizobacterias del género *Pseudomonas*, particularmente la cepa QV3, como herramientas biotecnológicas para el manejo de la muerte descendente en *T. grandis*. No solo se confirma su efecto antagonista contra *P. palmivora*, sino que se destaca su capacidad para promover el crecimiento vegetal, consolidando su perfil como agente de biocontrol y bioestimulante. Sin embargo, para su implementación a gran escala, resulta imprescindible validar estos resultados en campo y desarrollar estrategias de formulación que aseguren la viabilidad y eficacia de estas bacterias bajo condiciones ambientales variables.

5. Conclusiones

La presente investigación demostró que la rizósfera de *Tectona grandis* constituye un reservorio relevante de rizobacterias con alta diversidad morfológica, bioquímica y funcional, capaces de interactuar activamente con el desarrollo vegetal y con fitopatógenos del suelo. La caracterización integral de los aislados permitió identificar cepas con perfiles funcionales diferenciados, particularmente en la producción de metabolitos promotores del crecimiento, lo que confirmó el cumplimiento del objetivo orientado a la selección de microorganismos con potencial bioestimulante y fitoprotector.

Se comprobó que las cepas bacterianas evaluadas ejercieron un efecto antagonista efectivo frente a *Phytophthora palmivora*, tanto en condiciones in vitro como in situ, evidenciando su capacidad para limitar el desarrollo del patógeno y reducir la expresión de la enfermedad en plántulas de teca. Estos resultados validaron la hipótesis de que rizobacterias nativas pueden interferir en los procesos de infección y colonización del oomiceto, destacando su potencial

para integrarse en estrategias de manejo biológico de enfermedades de origen edáfico.

Asimismo, la aplicación de rizobacterias permitió mitigar los efectos negativos del patógeno sobre el crecimiento de las plántulas, promoviendo mejoras consistentes en variables morfofisiológicas clave. Este comportamiento evidenció un efecto dual de las cepas más eficientes, al combinar mecanismos de biocontrol con la estimulación del desarrollo vegetal, lo que resulta especialmente relevante en etapas tempranas del establecimiento de plantas forestales, donde la susceptibilidad a patógenos es elevada.

Contribución de los autores: Conceptualización, F-A-P, J-J-Q-Z; análisis formal, J-J-Q-Z, C-S-B-F, J-C-G-C; investigación J-J-Q-Z, C-S-B-F; recursos F-A-P, J-J-Q-Z; redacción del borrador original, F-A-P, D-B-C-Q; redacción, revisión y edición F-A-P, J-C-G-C, D-B-C-Q; supervisión, F-A-P. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Agradecimientos: Agradecemos a la Facultad de Posgrado de la UTEQ y a SENESCYT por la beca otorgada, que hizo posible el desarrollo de esta investigación. Extendemos nuestro agradecimiento al personal técnico de los laboratorios de Microbiología y Química, Ing. Ángel Cedeño e Ing. Erick García, respectivamente, por su valioso apoyo durante la ejecución del estudio.

Financiamiento: Esta investigación no ha recibido financiación externa

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia:

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Referencias Bibliográficas

- Ali Salim, H., Kadhum, A. A., Fadhil Ali, A., Nayef Saleh, U., Hameed Jassim, N., Rahim Hamad, A., Abdulrahman Attia, J., Jumaa Darwish, J., Falih Hassan, A., & Author, C. (2021). Response of Cucumber Plants to PGPR Bacteria (*Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus megaterium*) and Bread Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Systematic Reviews in Pharmacy*, 12(1).
- Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215(3), 403–410. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2)
- Álvarez-García, A., Santoyo, G., & del Carmen, M. (2020). *Pseudomonas fluorescens: Mecanismos y aplicaciones en la agricultura sustentable*.

- Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 16(1), 1–10.
<https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/286>
- Anand, A., Chinchilla, D., Tan, C., Mène-Saffrané, L., L'haridon, F., & Weisskopf, L. (2020). Contribution of hydrogen cyanide to the antagonistic activity of *Pseudomonas* strains against *Phytophthora infestans*. *Microorganisms*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081144>
- Anwar, T., Qureshi, H., Gull, S., Siddiqi, E. H., Chaudhary, T., & Ali, H. M. (2024). Enhancing *Zea mays* growth and drought resilience by synergistic application of Rhizobacteria-Loaded Biochar (RBC) and externally applied Gibberellic Acid (GA). *Environmental Technology and Innovation*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103517>
- Arguedas-Gamboa, M. (2004). La roya de la teca *Olivea tectonae* (Rac.): Consideraciones sobre su presencia en Panamá y Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 1(1), 1–96.
<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/600/2818>
- Aslani, Z., Hassani, A., Mandoulakani, B. A., Barin, M., & Maleki, R. (2024). The symbiotic association with *Piriformospora indica* and *Pseudomonas fluorescens* improves salt tolerance in sage (*Salvia officinalis*) plants. *Plant and Soil*, 495(1–2). <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06334-7>
- ASOTECA. (2020). *Teca ecuatoriana*. Asociación Ecuatoriana de Productores y Comercializadores de Teca y Maderas Tropicales. <https://iila.org/wp-content/uploads/2021/04/Teca-Ecuador-Asoteca.pdf>
- Balla, A., Silini, A., Cherif-Silini, H., Chenari Bouket, A., Moser, W. K., Nowakowska, J. A., & Belbahri, L. (2021). The threat of pests and pathogens and the potential for biological control in forest ecosystems. *Forests*, 12(11), 1579. <https://doi.org/10.3390/f12111579>
- Bashan, Y., Holguín, G., & Ferrera-Cerrato, R. (1996). Interacciones entre las plantas y los microorganismos benéficos. *Terra*, 14(2), 159–192.
- Bonaterrea, A., Badosa, E., Daranas, N., Francés, J., Roselló, G., & Montesinos, E. (2022). Bacteria as biological control agents of plant diseases. *Microorganisms*, 10(9), 1759. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091759>
- Chalaraca-Vélez, J. R., & Gaviria, D. (2020). Modelamiento por homología in silico de la quinoproteína glucosa deshidrogenasa unida a membrana en *Pseudomonas fluorescens*. *Revista de La Academia Colombiana de*

- Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(173).
<https://doi.org/10.18257/raccefyn.1154>
- Cochard, B., Giroud, B., Crovadore, J., Chablais, R., Arminjon, L., & Lefort, F. (2022). Endophytic PGPR from Tomato Roots: Isolation, *In Vitro* Characterization and In Vivo Evaluation of Treated Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Microorganisms*, 10(4).
<https://doi.org/10.3390/microorganisms10040765>
- Corrales, L., Sánchez, L., Arévalo, Z., & Moreno, V. (2014). *Bacillus*: Género bacteriano que demuestra ser un importante solubilizador de fosfato. *Nova*, 12(22), 165–178.
- Costa-Gutierrez, S. B., Adler, C., Espinosa-Urgel, M., & de Cristóbal, R. E. (2022). *Pseudomonas putida* and its close relatives: mixing and mastering the perfect tune for plants. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 106, Numbers 9–10). <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11881-7>
- Dimkić, I., Janakiev, T., Petrović, M., Degrassi, G., & Fira, D. (2022). Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms: A review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 117, 101754.
<https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101754>
- Gamazo, C., Gómez, S., & Peiro, A. (2013). *Microbiología basada en la experimentación*. Elsevier Health Sciences.
- Guo, L. Y., & Ko, W. H. (1993). Two widely accessible media for growth and reproduction of *Phytophthora* and *Pythium* species. *Applied and Environmental Microbiology*, 59(7), 2323–2325.
<https://doi.org/10.1128/aem.59.7.2323-2325.1993>
- Gupta, S., Stirk, W. A., Plačková, L., Kulkarni, M. G., Doležal, K., & Van Staden, J. (2021). Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and a seaweed extract on the growth and physiology of *Allium cepa* L. (onion). *Journal of Plant Physiology*, 262.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153437>
- Hajabdollahi, N., Saberi Riseh, R., Khodaygan, P., Moradi, M., & Moslemkhani, K. (2021). Differentially expressed genes in resistant and susceptible *Pistacia vera* L. Cultivars in response to *Pseudomonas fluorescens* and *Phytophthora parsiana*. *Biocontrol Science and Technology*, 31(5).
<https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1867706>
- Haque, S., Ahmed, A., Islam, N., & Haque, F. K. M. (2024). High Prevalence of Multidrug-Resistant Bacteria in the Trachea of Intensive Care Units

- Admitted Patients: Evidence from a Bangladeshi Hospital. *Antibiotics*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/antibiotics13010062>
- Hartman, D. (2011). Perfecting your spread plate technique. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 12(2), 204–205. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3577269/>
- Hernández-Rodríguez, A., Miguelez-Sierra, Y., Acebo-Guerrero, Y., Díaz de la Osa, A., & Casanova, M. A. (2023). A practical guide to isolation of fluorescent *Pseudomonas* antagonistic to *Phytophthora palmivora* (Butler) in *Theobroma cacao* L. In *Physiological and Molecular Plant Pathology* (Vol. 127). <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102061>
- Jung, T., Horta Jung, M., Webber, J. F., Kageyama, K., Hieno, A., Masuya, H., & Brasier, C. M. (2021). The destructive tree pathogen *Phytophthora ramorum* originates from the laurosilva forests of East Asia. *Journal of Fungi*, 7(3), 226. <https://doi.org/10.3390/jof7030226>
- Kalyan, R. (2018). *Common biochemical tests used in microbiology*. Microbiology Practical Manual (E-book).
- Kashyap, A. S., Manzar, N., Rajawat, M. V. S., Kesharwani, A. K., Singh, R. P., Dubey, S. C., Pattanayak, D., Dhar, S., Lal, S. K., & Singh, D. (2021). Screening and biocontrol potential of rhizobacteria native to gangetic plains and hilly regions to induce systemic resistance and promote plant growth in chilli against bacterial wilt disease. *Plants*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/plants10102125>
- Khaeruni, A., Hariyani, Hisein, W. S. A., Satrah, V. N., Wijayanto, T., Sutariati, G. A. K., & Taufik, M. (2022). Viability and Inhibition of Endophytic Bacteria *Pseudomonas fluorescens* 4RS1 Against *Phytophthora palmivora* in Flour Formula. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 18(4). <https://doi.org/10.14692/jfi.18.4.145-152>
- Healey, S. P., Raymond, C. L., Lockman, I. B., Hernández, A. J., Garrard, C., & Huang, C. (2016). Root disease can rival fire and harvest in reducing forest carbon storage. *Ecosphere*, 7(11), e01569. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1569>
- Lalucat, J., Gomila, M., Mulet, M., Zaruma, A., & García-Valdés, E. (2022). Past, present and future of the boundaries of the *Pseudomonas* genus: Proposal of *Stutzerimonas* gen. nov. *Systematic and Applied Microbiology*, 45(1), 126289. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2021.126289>

- Macpherson, M. F., Kleczkowski, A., Healey, J. R., & Hanley, N. (2018). The effects of disease on optimal forest rotation. *Environmental and Resource Economics*, 70, 565–588. <https://doi.org/10.1007/s10640-016-0077-4>
- Magaña-Álvarez, A., Quijano-Ramayo, A., Nexticapan-Garcéz, A., Cibrián-Tovar, J., Guardia-Chalé, S., Sánchez-Rodríguez, Y., & Pérez-Brito, D. (2022). Design of species-specific primers for early detection of *Kretzschmaria zonata*, the causal agent of root and neck rot of teak (*Tectona grandis*). *Forests*, 13(8), 1175. <https://doi.org/10.3390/f13081175>
- Maleki, S., Hrudikova, R., Zotchev, S. B., & Ertesvåg, H. (2017). Identification of a new phosphatase enzyme potentially involved in the sugar phosphate stress response in *Pseudomonas fluorescens*. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(2). <https://doi.org/10.1128/AEM.02361-16>
- Mascarenhas, A. R. P., Scoti, M. S. V., Melo, R. R. D., Corrêa, F. L., Souza, E. F., & Pimenta, A. S. (2021). Quality assessment of teak (*Tectona grandis*) wood from trees grown in a multistratified agroforestry system established in an Amazon rainforest area. *Holzforschung*, 75(5), 409–418. <https://doi.org/10.1515/hf-2020-0082>
- Matarrita-Díaz, L., Sandoval-Islas, J., & Arguedas-Gamboa, M. (2012). Prevalencia de la roya *Olivea tectonae* (Rac.) de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 3(9), 12–23. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/504/431>
- Mushineni, A., Yagavachintapalli Narayanaswamy, V., & Yadav, A. (2024). The outbreak of teak leaf blight disease caused by *Alternaria alternata* in the semi-arid Bundelkhand region of India. *Forest Pathology*, 54(4). <https://doi.org/10.1111/efp.12875>
- Muthiah, A., Advinda, L., Anhar, A., Leilani Eka Putri, I., & Alicia Farma, S. (2023). *Pseudomonas fluorescens* as Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) *Pseudomonas fluorescens* sebagai Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). *Jurnal Serambi Biologi*, 8(1).
- Park, K. H., Lee, C. Y., & Son, H. J. (2009). Mechanism of insoluble phosphate solubilization by *Pseudomonas fluorescens* RAF15 isolated from ginseng rhizosphere and its plant growth-promoting activities. *Letters in Applied Microbiology*, 49(2). <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2009.02642.x>
- Parthasarathy, S., Thiribhuvanamala, G., Muthulakshmi, P., & Angappan, K. (2021). *Diseases of forest trees and their management*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003173861>

- Sanclemente, O., Yacumal, V., & Patiño, C. (2017). Solubilización de fosfatos por bacterias nativas aisladas en tres agroecosistemas del Valle del Cauca (Colombia). *Temas Agrarios*, 22(2). <https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.945>
- Sheng, J., Qin, X., Yang, X., Liu, Q., & Ma, Z. (2024). The biocontrol roles of cyclic lipopeptide putisolvin produced from *Pseudomonas capeferrum* HN2-3 on the *Phytophthora* blight disease in cucumbers. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131(2). <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00874-5>
- Silk, T. M., Kornacki, J. L., & Ryser, E. T. (2024). Media and dilution water preparation. En *Standard methods for the examination of dairy products* (Cap. 6). APHA Press. <https://doi.org/10.2105/9780875533438ch06>
- Simamora, A. V., Hahuly, M. V., Kana, Y. R., Benggu, Y. I., Mudita, I. W., Kasim, M., Hosang, E. Y., Londingkene, J. A., & Mahayasa, I. N. W. (2024). Exploring the antagonist potential of indigenous *Trichoderma* spp., *Bacillus*, and *Pseudomonas* against *Phytophthora palmivora* of Soe mandarin in East Nusa Tenggara, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1302(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1302/1/012017>
- Thakur, M., Khushboo, Shah, S., Kumari, P., Kumar, M., Vibhuti, R., & Kumar, D. (2024). Unlocking the secrets of rhizosphere microbes: A new dimension for agriculture. *Symbiosis*, 92(3), 305–322. <https://doi.org/10.1007/s13199-024-00980-w>
- Vargas, T., & Kuno, A. (2014). Morfología bacteriana. *Revista de Actualización Clínica Investiga*, 49, 2594–2601.
- Venkatesh, Y. N., Ashajyothi, M., Uma, G. S., Rajarajan, K., Handa, A. K., & Arunachalam, A. (2023). Diseases and insect pests challenge to meet wood production demand of *Tectona grandis* (L.), a high-value tropical tree species. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 130(5), 929–945. <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00758-0>
- Volynchikova, E., & Kim, K. D. (2023). Anti-Oomycete Activity and Pepper Root Colonization of *Pseudomonas plecoglossicida* YJR13 and *Pseudomonas putida* YJR92 against *Phytophthora capsici*. *Plant Pathology Journal*, 39(1). <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.01.2023.0001>
- Wali, S., Zahra, M., Okla, M. K., Wahidah, H. A., Tauseef, I., Haleem, K. S., Farid, A., Maryam, A., Abdelgawad, H., Adetunji, C. O., Akhtar, N., Akbar, S., Rehman, W., Yasir, H., & Shakira, G. (2024). *Brassica oleracea* L. (Acephala Group) based zinc oxide nanoparticles and their efficacy as

antibacterial agent. *Brazilian Journal of Biology*, 84.
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.259351>

White, T. J., Bruns, T., Lee, S., & Taylor, J. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. En M. A. Innis et al. (Eds.), *PCR protocols: A guide to methods and applications* (pp. 315–322). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1>

Yang, X., & Hong, C. (2020). Biological control of *Phytophthora* blight by *Pseudomonas* protegens strain 14D5. *European Journal of Plant Pathology*, 156(2). <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01909-6>

Zboralski, A., & Filion, M. (2020). Genetic factors involved in rhizosphere colonization by phytobeneficial *Pseudomonas* spp. In *Computational and Structural Biotechnology Journal* (Vol. 18). <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.11.025>

Zhang, Q.X., Kong, X.W., Li, S.Y. et al. Antibiotics of *Pseudomonas protegens* FD6 are essential for biocontrol activity. *Australasian Plant Pathol.* 49, 307–317 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13313-020-00696-7>