

## “Potencial empleo de bioformulados de PGPRs en el proceso de germinación y desarrollo de balsa y melina en vivero”

### "Potential use of PGPR bioformulates in the germination process and development of balsa and melina in nursery"

#### **Mercedes Susana Carranza Patiño**

Ph.D. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Vicedecana de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Quevedo- Ecuador, mcarranza@uteq.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-0917-0415>

#### **Mayi Anahís Valdez López**

Ingeniera Forestal, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo- Ecuador, mayi.valdez2016@uteq.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0003-2458-8489>

#### **Victor Alexi Tubay Muñoz**

Ingeniero Agrónomo Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo- Ecuador, victor.tubay2016@uteq.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-0888-9364>

#### **Canchignia Martínez Hayron Fabricio**

Ph.D. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Profesor Investigador del Departamento de Microbiología Molecular, Quevedo-Ecuador, hcanchignia@uteq.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0003-1195-5446>

#### **Resumen**

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPRs) reducen el uso de fertilizantes químicos que perjudican el microbiota del suelo. Por lo tanto, éstas se han estudiado para determinar el potencial de aplicación de bioformulados de PGPRs en germinación a los 25 días y desarrollo germinativo a los 70 días, en balsa y melina en vivero. Se analizó el diámetro del basal, longitud radicular, peso del tallo, número de hojas, peso foliar, longitud del tallo y peso radicular. Se planteó cinco tratamientos: T1: CHA0, T2: RE4, T3: PM2-12, T4: PM3-8 y T5: control al 20%. Se empleó el bioformulado M3 Roc-Raq (BIOQPGPRs) sumergidas en las semillas e inoculada a plántulas cada 15 días por 45 días (20 ml por plántula). Es un hecho que estas bacterias estimulan el porcentaje germinativo, se diferenció en balsa T2 y T1 con 92.22% y 88.89% y, melina con T1 y T4 con 87.78% y 85.56%, en su orden. Mientras, que el desarrollo morfológico fue representativo en balsa T1 y T4 y en melina T3, T2 y T4. El estudio demuestra que la aplicación de PGPRs es una estrategia potencial de aplicación para inducir el proceso de germinación de las semillas y las características fenotípicas de estas especies.

**Palabras clave** Especies forestales, *Gmelina arborea*, inoculación, rizobacterias, *Ochroma pyramidale*

**Abstract**

Plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) reduce the use of chemical fertilizers that damage the soil microbiota. Therefore, these have been studied to determine the potential of PGPR bioformulates application in germination at 25 days and germination development at 70 days, in balsa and melina in nursery. Basal diameter, root length, stem weight, number of leaves, leaf weight, stem length and root weight were analyzed. Five treatments were used: T1: CHA0, T2: RE4, T3: PM2-12, T4: PM3-8 and T5: 20% control. The bioformulated M3 Roc-Raq (BIOQPGPRs) was used, submerged in the seeds and inoculated to seedlings every 15 days for 45 days (20 ml per seedling). It is a fact that these bacteria stimulate the germination percentage, it was differentiated in balsa T2 and T1 with 92.22% and 88.89% and, melina with T1 and T4 with 87.78% and 85.56%, in their order. Meanwhile, morphological development was representative in balsa T1 and T4 and in melina T3, T2 and T4. The study demonstrates that the application of PGPRs is a potential application strategy to induce the seed germination process and the phenotypic characteristics of these species.

**Keywords** Forest species, *Gmelina arborea*, inoculation, rhizobacteria, *Ochroma pyramidale*

**Introducción**

Ecuador es el mayor exportador de madera de balsa del mundo, siendo las zonas de mayor producción las provincias del Guayas, El Oro, Los Ríos y Pichincha (González *et al.*, 2010; Doumet, Ruiz y Sánchez, 2021). *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb., es un árbol nativo del trópico americano; frecuentemente se encuentra en áreas intervenidas y degradadas; siendo además una materia prima renovable con alta valoración económica (Whitmore y Wooi, 1983; Rojas, 2017; Jiménez *et al.*, 2017), con cerca de 18000 ha plantas repartidas principalmente en las provincias de la Costa (Soria, 2021). Por otra parte, *Gmelina arborea* Roxb., es una especie forestal exótica de rápido crecimiento, que se ha adaptado satisfactoriamente a las condiciones del trópico húmedo ecuatoriano (Meza, 2016), a tal punto que existen 11458 ha plantadas en todo el territorio ecuatoriano (Belezaca *et al.*, 2021).

En la actualidad, la agricultura intensiva se encuentra asociada con múltiples problemáticas ambientales que incluyen enfermedades, sequía, deficiencia de nutrientes, erosión, pérdidas de la biodiversidad, y fragmentación del paisaje, entre otros. Además, el uso masivo de compuestos químicos conlleva un incremento de los costos de producción para los agricultores y conduce a una importante contaminación ambiental; así como a la disminución a largo plazo de la productividad de los cultivos (Jewell, Campbell y Godwin, 2010; Posada *et al.*, 2021).

La fertilidad del suelo consiste en una serie de interacciones químicas, biológicas y físicas. Los nutrientes y las condiciones ambientales le dan la capacidad a la planta de crecer y desarrollarse. La fertilización convencional consiste en la aplicación de compuestos químicos que contienen los macronutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio (Ramirez, 2019). En las últimas décadas, se ha comenzado a reconsiderar la implementación de los sistemas de fertilización, pues, el uso desmedido de insumos químicos, incluido fertilizantes y pesticidas han causado un aumento de la contaminación, disminución de la biodiversidad

microbiológica del suelo y degradación de ecosistemas frágiles (Ebrahimi, Kashani y Rohi, 2016; Delshadi, Ebrahimi y Shirmohammadi, 2017; Ramirez, 2019).

Los insumos químicos se han convertido en factores limitantes del crecimiento de las plantas. En el 2010, el uso de fertilizantes químicos en Europa incluyó alrededor de 10.4 millones de toneladas de nitrógeno, 2.4 millones de toneladas de fosfato y 2.7 millones de toneladas de potasio. Según las estadísticas, se esperó un aumento en el consumo de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos para 2019 y 2020 entre 10.8, 2.7 y 3.2 millones de toneladas (Delshadi, Ebrahimi y Shirmohammadi, 2017).

Los biofertilizantes son compuestos elaborados a base de microorganismos como bacterias, hongos, entre otros, que ayudan a la nutrición biológica de las plantas, manteniendo un ambiente rico en macronutrientes y micronutrientes (Núñez *et al.*, 2005). Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPRs) se definieron por primera vez por Kloepper y Schroth para describir las bacterias del suelo que colonizan las raíces de las plantas después de la inoculación a la semilla, y mejorar el crecimiento de las plantas (Herrera, 2012) a través de diferentes mecanismos, como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fósforo, la síntesis de fitohormonas como las auxinas, particularmente el ácido indol acético; la producción de exopolisacáridos; la hidrólisis de almidón y la producción de sideróforos. Las rizobacterias promueven no solo el crecimiento de las raíces y la proliferación de pelos radicales para una mayor absorción de agua y minerales del suelo, sino que un mayor desarrollo de la planta (Caballero, 2006; Crespo, 2019).

Las PGPRs pueden actuar sobre la planta de manera directa e indirecta. De manera directa promueven la síntesis de fitohormonas (auxinas, citocininas y giberelinas). Las bacterias le proporcionan a la planta compuestos sintetizados por ellas mismas, y le producen así un beneficio a la planta. Por el contrario de manera indirecta, en el mecanismo Biocontrol-PGPR, las bacterias se presentan como una barrera que permite la protección de las plantas con respecto a los microorganismos fitopatógenos. La aplicación de PGPRs suponen una alternativa potencial como método de control biológico y como herramienta biotecnológica parece una esperanzadora realidad que reducirá los impactos adversos de agroquímicos, además, permitirá la gestión más razonable y sostenible del suelo que beneficiará a los pequeños y medianos agricultores (Hernández y Escalona, 2003; Antoun y Prévost, 2006; Canchignia *et al.* 2015; Muñoz, 2019; Lugmania, 2020). La actividad de PGPR ha sido reportada por cepas de muchos géneros como: *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Gluconoacetobacter*, *Pseudomonas* y *Serratia* (Somers, Vanderleyden, y Srinivasan, 2004).

Ante el gran impacto negativo ocasionado al suelo, el medio ambiente y los recursos fitogenéticos por el alto uso de agroquímicos en los cultivos, es indispensable la búsqueda de alternativas que permitan remediar dichos impactos y mejorar la productividad al sector forestal que abarca pequeños, medianos y grandes productores, así como viveristas, e investigadores (Ramirez, 2019). Las rizobacterias aplicadas bajo un enfoque de fertilizante y potenciadoras de la germinación y del crecimiento en plantas altamente distribuidas por todo el territorio ecuatoriano, contribuyen a la mejora de la calidad y enriquecen la biodiversidad de los suelos, disminuyen el uso de pesticidas y fertilizantes, la contaminación de los cauces de agua la incidencia de ataques de plagas hacia los cultivos y otros.. La aplicación de bioformulados de PGPRs en especies de gran interés comercial como los *O. pyramidale* y *G. arborea*, tendría la capacidad de estimular y aumentar el crecimiento de las plántulas, la productividad vegetal y controlar fitopatógenos que causan pérdidas económicas en los cultivos de interés. El presente trabajo tiene como objetivo determinar el potencial de aplicación de bioformulados de PGPRs en la germinación y el desarrollo de balsa y melina en vivero.

## **Materiales y métodos**

El estudio se realizó en el laboratorio de Biotecnología y Microbiología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), localizado en el Campus Universitario “La María”, ubicado en el km 7 vía Quevedo – El Empalme, cuyas coordenadas geográficas son 79° 27” de longitud Oeste y 1° 06” de latitud Sur a una altitud de 67 msnm. Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), para evaluar el efecto de bioformulados de PGPRs en germinación y desarrollo de *O. pyramidale* y *G. arborea* en vivero, con cinco tratamientos, tres repeticiones y 30 unidades experimentales, sometidas a la prueba de Tukey ( $P \geq 0,05$ ) para establecer la diferencia entre las medias de los tratamientos. Las variables analizadas fueron porcentaje germinativo, diámetro basal, longitud de tallo, peso del tallo, número de hojas, peso foliar, longitud de la raíz y peso de la raíz.

### **Preparación de bioformulados**

Para el crecimiento bacteriano se utilizó el bioformulado Medio M3–Roc-Raq (BIOQPGPRs) propuesto por Rodríguez (2018) el cual consiste en melaza: 2.5% (P/V), harina de maíz: 20 g/l, sal en grano: 0,50%, glicerina: 15 ml/l, roca fosfórica: 1.5g/l, pH inicial: 6.5. Para los ensayos del efecto germinativo y desarrollo en las semillas se emplearon bioformulados de PGPRs de consorcios bacterianos de los géneros *Pseudomonas*, *Serratia* y *Acinetobacter* proporcionados por el Laboratorio de Biotecnología del campus “La María” de la UTEQ. Las cepas bacterianas que se implementaron por separado en los bioformulados fueron *Pseudomonas protegens*, cepa CHA0, *Pseudomonas veroni* cepa RE4, *Acinetobacter calcoaceticus* cepa PM2-12, *Serratia marcescens* cepa PM3-8.

### Proceso germinativo

Las semillas sanas de *O. pyramidale* y *G. arborea* se evaluaron mediante una prueba de flotabilidad para determinar su viabilidad. Las semillas fueron desinfectadas con una preparación de hipoclorito de sodio (NaClO) al 2% por 2 minutos y fungicida benomil por 1 minuto, luego lavadas dos veces con agua esterilizada con la ayuda de un agitador magnético. La inoculación de las semillas de *O. pyramidale* y *G. arborea* se realizó en matraces de 150 ml donde se separaron las semillas por tratamiento, luego fueron sumergidas por un día con sus respectivos tratamientos al 20% (20 ml). Después se trasladó las semillas a las bandejas germinadoras clasificándolas en 90 semillas por tratamiento separadas en una población de 30 semillas por repetición para posteriormente evaluar la respuesta germinativa de cada tratamiento. A partir de los 25 días se evaluó los efectos de la aplicación de los bioformulados de PGPRs en relación con el porcentaje germinativo.

### Evaluación de características morfológicas en plántulas

De las semillas germinadas se escogió un 30% de las plántulas con las mejores características fenológicas (aproximadamente 10 plántulas por bandeja), misma que fueron inoculadas con 20 ml de bioformulados de PGPRs al 20% (20 ml) cada 15 días por 45 días, dando un total de tres inoculaciones antes de la toma de muestras para la evaluación de las variables de desarrollo. Empleando un tubo falco graduado para aplicar el volumen correcto de bioformulado de PGPRs, a primeras horas de la mañana.

### Resultados

#### Porcentaje de germinación

A los 25 días de la inoculación de los bioformulados se evidenció que las aplicaciones individuales de las cepas T1: CHA0, T2: RE4, T3: PM2-12 y T4: PM3-8 potenciaron las respuestas germinativas en las especies estudiadas. En el caso de balsa el porcentaje germinativo más alto se obtuvo con los tratamientos T2: RE4 con 92.22% y T1: CHA0 con 88.89%, mientras, el promedio más bajo se presentó en T3: PM2-12 con 74.44%. En el caso de melina los tratamientos T1: CHA0 con 87.78% y T4: PM3-8 con 85.56% presentaron los valores germinativos más altos, difiriendo con T2: RE4 con 75.56% (Tabla 1).

**Tabla 1.** Porcentaje germinativo en semillas de balsa y melina:

Tratamiento	balsa		melina	
T1 (CHA0)	88,89	a	87,78	a
T2 (R4)	92,22	a	75,56	a
T3 (2/12)	74,44	a	77,78	a
T4 (3/8)	81,11	a	80	a
T5 (Control)	87,78	a	85,56	a

Nota: T1: CHA0 (*Pseudomonas protegens*), T2: RE4 (*Pseudomonas veroni*), T3: PM2-12 (*Acinetobacter calcoaceticus*), T4: PM3-8 (*Serratia marcescens*), T5: Control letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

## Desarrollo morfológico

En el caso de balsa, el mayor promedio de diámetro basal se observó en el T1: CHA0 con 0.38 cm; en comparación con el T5: Control (0.26 cm). Respecto a la longitud del tallo el T1: CHA0 con 11.72 cm demostró el mayor tamaño a diferencia de T5: Control con un promedio menor de 6.39 cm. El tratamiento T1: CHA0 fue significativo con un peso de tallo de 1.30 g. No obstante, el T5: Control, presentó el menor peso promedio de 0.46 g. En la variable número de hojas, a los 70 días de la toma de datos en la balsa se evidenció ( $p < 0.05$ ) en el T4: PM3-8 obtuvo 5.3 hojas promedio y T2: RE4 5.1 hojas promedio; a diferencia de T5: Control con 4.2 hojas promedio que demostró tener el promedio más bajo en cantidad de hojas. El peso foliar en comparación del tratamiento control a los 70 días se pudo evidenciar que los tratamientos T1: CHA0 con 2.06 g y T4: PM3-8 con 2.00 g presentaron valores superiores ( $p < 0.05$ ) a diferencia del T5: Control con 1.08 g. El mayor crecimiento radicular fue significativo ( $p < 0.05$ ) para el T3: PM2-12 con 19.75 den la balsa; a diferencia de T5: Control con 14.85 cm que tuvo menor relevancia. Referente al peso de raíz los tratamientos T1: CHA0 con 3.79 g y T4: PM3-8 con 3.68 g presentaron las mejores características fenológicas; a diferencia de T5: Control con 2.5 g en donde se observó el menor peso promedio (Tabla 2).

Tabla 2. Desarrollo morfológico en plantas de balsa a los 70 días de establecido el ensayo

TRATAMIENTO	DIÁMETRO BASAL	LARGO DEL TALLO	PESO DEL TALLO	NÚMERO DE HOJAS	PESO DE HOJAS	LARGO DE RAÍZ	PESO DE RAÍZ
T1 (CHA0)	0,38	a 2	a 1,3	a 4,9	ab 2,06	a 17,3	b 9
T2 (R4)	0,32	b 8	b 0,87	c 5,1	a 1,65	b 18,5	b 3,5
T3 (2/12)	0,31	bc 9,32	b 0,59	d 4,9	ab 1,57	b 5	a 2
T4 (3/8)	0,31	b 6	b 0,93	c 5,3	a 2	a 6	b 8
T5 (Control)	0,26	c 6,39	c 0,46	d 4,2	b 1,08	b 5	b 2,5

Nota: T1: CHA0 (*Pseudomonas protegens*), T2: RE4 (*Pseudomonas veroni*), T3: PM2-12 (*Acinetobacter calcoaceticus*), T4: PM3-8 (*Serratia marcescens*), T5: Control.; letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

En la especie forestal melina sobresalieron los tratamientos T3: PM2-12 con 0.42 cm, T2: RE4 con 0.41 cm, T1: CHA0 con 0.38 y T4: PM3-8 con 0.37 cm con promedios más altos; mientras

que, el promedio más bajo presentó el T5: Control con 0.29 cm. En referencia a la longitud del tallo los tratamientos T1: CHA0 con 31.74 cm, T3: PM2-12 con 29.55 cm, T2: RE4 con 29.12 cm y T4: PM3-8 con 27.82 superaron el largo del tallo frente al Control con 21.97 cm. Entre tanto el peso de tallo el T4: PM3-8 fue superior con 1.72 g, T3: PM2-12 con 1.71 g y T2: RE4 con 1.68 g, diferenciable con el T5: Control con 1.21 g. El tratamiento T1: CHA0 con 11.1 el número de hojas promedio demostró ser el tratamiento más significativo; contrario al caso de T5: Control con 8.6 hojas promedio. En la variable peso foliar los tratamientos T4: PM3-8 con 2.17 g, T3: PM2-12 con 2.12 g, T1: CHA0 con 2.08 g y T2:RE4 con 2.07 g demostraron promedios superiores al T5: Control con 1.43 g. En el caso de del largo de raíz los tratamientos T3: PM2-12 con 23.88 cm y T1: CHA0 con 22.99 presentaron promedios superiores, difiriendo de T5: Control con 17.90 cm. La melina en cuanto al peso de raíz demostró diferencias significancia ( $p < 0.05$ ) en el tratamiento T3: PM2-12 con 8.21 g; mientras que T5: Control con 2.5 g tuvo el menor promedio (Tabla 3).

Tabla 3. Desarrollo morfológico de melina a los 70 días de establecido el ensayo

TRATAMIENTO	DIÁMETRO BASAL	LARGO DEL TALLO	PESO DEL TALLO	NÚMERO DE HOJAS	PESO DE HOJAS	LARGO DE RAÍZ	PESO DE RAÍZ					
T1 (CHA0)	0,38	a	31,7	a	11,1	ab	2,08	a	22,9	a	3,9	b
T2 (R4)	0,41	a	29,1	a	10,8	ab	2,07	a	20,5	a	5,5	b
T3 (2/12)	0,42	a	29,5	a	13,2	a	2,12	a	23,8	a	8,2	a
T4 (3/8)	0,37	a	27,8	a	10,7	ab	2,17	a	21,4	b	5,4	b
T5 (Testigo)	0,29	b	21,9	b	8,6	b	1,43	b	17,9	b	2,5	c

Nota: T1: CHA0 (*Pseudomonas protegens*), T2: RE4 (*Pseudomonas veroni*), T3: PM2-12 (*Acinetobacter calcoaceticus*), T4: PM3-8 (*Serratia marcescens*), T5: Control.; letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

## Discussion

La aplicación de los distintos bioformulados bacterianos (T1: CHA0, T2: RE4, T3: PM2-12, T4: PM3-8) evidenciaron mejores resultados fenológicos en cada una de las variables analizadas, la inoculación de PGPRs potencian la actividad rizosférica poniendo a disposición de la planta minerales solubilizados por las bacterias, lo que permite una germinación y un desarrollo fenológico más rápido, con un menor tiempo de permanencia en el vivero. Atribuible a la relación de sinergismo existente entre plantas y microorganismos (Hernández, 2019).

El porcentaje de germinación obtenido en esta investigación a una concentración del 20% de PGPRs concuerda a los presentados por Ponce (2021) mediante la utilización de bioproductos de consorcios bacterianos de PGPRs. Las semillas de balsa usadas presentaron germinaciones del 55% al 20% aplicando los bioproductos. Barreto *et al.* (2007) reportaron el efecto de microorganismos rizosféricos sobre la germinación de *Anacardium excelsum* inoculadas con bacterias del género *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas putida* y *Pseudomonas fluorescens* donde las semillas presentaron porcentajes germinativos del 70% con la aplicación de T1 (*B. licheniformis*) a los 12 días, en comparación con T2 (*P. fluorescens*) con un 66% de la germinación, T3 (*P. putida*) con un 58% de la germinación. Otros autores como Galindo *et al.* (2006) expresan que los resultados muestran un efecto positivo de germinación en las semillas con los biopreparados que contenían bacterias, observándose un aumento progresivo del inicio de la germinación a diferencia de las semillas que solo les suministró caldo nutritivo y el tratamiento control. Esto explica que el *B. licheniformis* actúa como biocatalizador orgánico natural, asegurando una rápida colonización de la rizósfera, acelerando el crecimiento, vigor y sano desarrollo de la planta. Por otra parte, una de las características de la *P. fluorescens* es su alta capacidad de solubilización del fósforo lo cual genera una mayor cantidad de fosfato para ser absorbido por las raíces de las plantas. Un aspecto destacable es la posibilidad de que *P. fluorescens* produzca sustancias estimuladoras del crecimiento. En diversos estudios se ha encontrado que *Pseudomonas* sp. posee la propiedad de producir estas sustancias, cuyas principales ventajas son: estimular la germinación de las semillas, acelerar el crecimiento de las plantas especialmente en sus primeros estadios, inducir la iniciación radicular e incrementar la formación de raíces y pelos radiculares (Campbell y Greaves, 1990; Barreto *et al.*, 2007). Un factor que redundaría en la promoción de crecimiento por parte de los microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF) es la producción de reguladores de crecimiento vegetal. En cultivos de MSF (*Pseudomonas* sp.) encontraron una producción de ácido indolacético, AIA, entre 51 mg/L y 23 mg/L, a las 72 horas de incubación (Sánchez, Valencia y Valero, 2005).

Los resultados obtenidos en la variable diámetro basal concuerdan con los expuestos por Ponce (2021), mediante la inoculación de PGPRs al 20% con un promedio de 0.43 cm, fue comparativamente superior a las plantas con tratamiento químico y sin inoculante bacteriano (Control) inferiores los 0.30 cm de diámetro. Ramírez *et al.* (2018) mediante la inoculación de HFMA en melina a las 14 semanas, demostró que todos los tratamientos excepto el Control alcanzaron los 5 mm de diámetro. Estos resultados, reflejan la ventaja del uso de PGPRs, en estados iniciales de las plantas en vivero. Aldaz (2019) en su estudio en *Citrus reshni* bajo la

inoculación de microorganismos eficientes, midió la altura de las plántulas después de 25 días, siendo T2 (BCM6, RIZ11) superior a los demás tratamientos con un 3.63 cm de altura. La inoculación de PGPRs puede afectar la disponibilidad de nutrientes por la intervención directa en los ciclos biogeoquímicos. En el caso de la fijación biológica de nitrógeno y la solubilización de nutrientes tan importantes como el fósforo. Indirectamente las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal pueden contribuir mediante la inducción de la resistencia sistémica a fitopatógenos, el control biológico de enfermedades, la producción de antibióticos y de sideróforos (Camelo, Vera y Bonilla 2011). La fijación biológica de N<sub>2</sub> reduce el problema de pérdida de N en comparación con los fertilizantes de N reactivo, ya que al producirse dentro de organismos vivos el N fijado es asimilado rápidamente en constituyentes celulares (Reyes 2019).

Cedeño (2018) en su proyecto investigativo analizó los efectos de *Theobroma cacao* variedad CCN-51 bajo la aplicación de PGPRs, donde evidenció que los tratamientos con inoculante bacteriano presentaron un promedio de 10-8 hojas, difiriendo del tratamiento control, que debido a la infección por patógenos mostró un menor número de hojas por defoliación con promedios de 3.67 hojas. También pudo demostrar que los tratamientos con inoculación bacteriano correspondiente a RE4, MPM2-12, PM3-8 y CHA0 que superaron estadísticamente en la variable peso foliar sobre el control con valores correspondiente a 4.21, 3.89, 3.60, 4.08 g respectivamente, mientras que el control mostró un promedio de 0.30 g. Las PGPRs tienen la capacidad de solubilización de P mineral, este se produce por la producción y liberación de ácidos orgánicos por las rizobacterias a la rizósfera provoca su acidificación y esto directamente incrementa la solubilización del P en el suelo, permitiendo que se encuentre disponible para la planta hospedera (Hariprasad y Niranjana, 2009).

Las plántulas de balsa y de melina demostraron tener características radiculares superiores bajo la aplicación de PGPRs; resultados similares fueron reportados por Ponce (2021) en los tratamientos T2, T3, T1 con promedios de 19.50 18.80 y 16.77 cm respectivamente. Los tratamientos con aplicaciones químicas y sin inoculante bacteriano presentaron valores promedios inferiores de 12.89 y 7.89 cm. El peso radicular en las especies forestales estudiadas presentó características significativas en comparación a las plántulas sin aplicación de bioformulados. Bravo *et al.* (2016) en su trabajo en Palma aceitera obtuvieron resultados bajo la inoculación de *Trichoderma asperellum* un crecimiento de raíces de 636 cm (20% de incremento con relación a los otros tratamientos) a los 6 meses y 1,384 cm (27,5% de incremento con respecto al segundo tratamiento) a los 18 meses. En relación con el peso seco de raíces, el mismo tratamiento registró 105 g. Determinaron que *T. asperellum*, tiene un efecto positivo en la longitud y peso seco de raíces de la palma aceitera. El buen desarrollo de las características fenológicas de balsa y melina lo explican Canchignia *et al.* (2015) que las rizobacterias lideran una serie de mecanismo en el sistema radicular en plantas que favorecen en aspectos fisiológicos como: desarrollo radicular por la producción de auxinas y promueven el mecanismo de defensa a nivel sistémico. Las rizobacterias del género *Pseudomonas* spp demuestran tener capacidad de producir ácido indolil-3-acético (AIA), en presencia del precursor Triptófano, bajo condiciones *in vitro*. En contacto con las raíces de la planta, estas rizobacterias utilizan los exudados de aminoácidos proteínico triptófano precursor para síntesis de AIA, esto incrementa la producción del fitoregulador que favorecen el desarrollo y

proliferación de la biomasa radicular adventicias. La aplicación de microorganismo con el objetivo de mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas es una práctica importante y necesaria para la agricultura sostenible. Durante las últimas dos décadas, el uso de inoculantes microbianos para la agricultura sostenible ha aumentado enormemente en varias partes del mundo, por tanto la selección *in vitro* de estas rizobacterias con capacidad para fijar N<sub>2</sub>, solubilizar P y K, sirve para generar en un futuro el desarrollo de biofertilizantes y contribuir al desarrollo ambiental (Reyes, 2019).

### Conclusiones

El empleo de PGPRs permite evidenciar un alto porcentaje de germinación y desarrollo morfológico de las plántulas de balsa y melina. La inoculación de bioformulados en especies forestales da lugar a un menor tiempo de permanencia de las plántulas en vivero, lo cual es ideal para los productores. Los PGPRs son una alternativa eficaz que puede resultar no solo en una mejora de la producción de las plántulas; sino también de las condiciones del suelo. Los tratamientos que demostraron capacidad para potenciar las características fenológicas tanto en las variables germinativas como de desarrollo fueron T1: CHA0 con balsa y T2: RE4 con melina.

### Referencias

- Aldaz, N. 2019. "Microorganismos eficientes de especies forestales de la provincia de Los Ríos y su efecto en el desarrollo de *Citrus reshni* (Mandarina Cleopatra)." Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Antoun, Hani, and Danielle Prévost. 2006. "Ecology of Plant Growth Promoting Rhizobacteria." Pp. 1–38 in *PGPR: Biocontrol and Biofertilization*. Springer Netherlands.
- Barreto, D., N. Valero, A. Muñoz, y A. Peralta. 2007. "Efecto de microorganismos rizosféricos sobre germinación y crecimiento temprano de *Anacardium excelsum*." *Zonas Áridas* 11(1):240–50.
- Barros-Bastidas, C., & Turpo, O. (2020). La formación en investigación y su incidencia en la producción científica del profesorado de educación de una universidad pública de Ecuador. *Publicaciones*, 50(2), 167–185. doi:10.30827/publicaciones.v50i2.13952
- Barros, C., & Turpo, O. (2017). La formación en el desarrollo del docente investigador: una revisión sistemática. *Revista Espacios*, 38(45).
- Belezaca, Carlos, Edison Solano, Rolando López, y Mariela Macías. 2021. "Problemas

- forestales e incidencias en el ser humano: Experiencia de *Gmelina arborea* en Ecuador.” *Revista de Ciencias Sociales* 27(3):309–22.
- Bravo, V., M. Ronquillo, M. Martínez, y G. Quezada. 2016. “Efecto enraizador de *Trichoderma asperellum* en el cultivo de palma aceitera.” *Ecuador es Calidad: Revista Científica Ecuatoriana* 4(1):20–27.
- Caballero, Jesús. 2006. “Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas.” *Revista Latinoamericana de Microbiología* 48(2):154–61.
- Camelo, Mauricio, Sulma Vera, y Ruth Bonilla. 2011. “Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.” *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* 12(2):159–66. doi: 10.21930/rcta.vol12\_num2\_art:227.
- Campbell, R., and M. P. Greaves. 1990. “Anatomy and Community Structure of the Rhizosphere.” *The Rhizosphere*. 11–34.
- Canchignia, Hayron, María Peñafiel, Carlos Belezaca, Mercedes Carranza, Oscar Prieto, y Ramiro Gaibor. 2015. “Respuesta de poblaciones microbianas que lideran el crecimiento en raíces y resistencia sistémica inducida” *Ciencia y Tecnología* 8(2):1–11.
- Cedeño, A. 2018. “Identificación molecular de *Phytophthora* Spp, mediante el empleo de marcadores moleculares (ITS)., y efecto antagonista de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR).” Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Crespo, Jorge. 2019. “Actividad antagonista de PGPR en nematodos fitoparásitos *Pratylenchus* Spp. y *Radopholus similis* en *Musa acuminata* (Cavendish).” Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Delshadi, S., M. Ebrahimi, and E. Shirmohammadi. 2017. “Effectiveness of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on *Bromus Tomentellus* Boiss Seed Germination, Growth and Nutrients Uptake under Drought Stress.” *South African Journal of Botany* 113:11–18. doi: 10.1016/j.sajb.2017.07.006.
- Doumet, Adib, Angelica Ruiz, and Aracely Sánchez. 2021. “Cadena de valor del cultivo del árbol de balsa.” *Dominio de Las Ciencias* 7(3):539–51.
- Ebrahimi, Mahdiah, Samaneh Kashani, and Ainullah Rohi. 2016. “El efecto de cambiar el uso de las tierras de pastoreo a la agricultura sobre la fertilidad del suelo en la región de Taftan.” *Conocimiento Del Agua y El Suelo* 26(2.1):31–44.
- Galindo, Tania, Jaime Polanía, Jimena Sánchez, Nubia Moreno, Javier Vanegas, y Gina Holguín. 2006. “Efecto de inoculantes microbianos sobre la promoción de crecimiento de plántulas de mangle y plántulas de *Citrullus vulgaris* San Andrés Isla, Colombia.” *Acta Biológica Colombiana* 11(1):83–97.
- González, Betty, Ximena Cervantes, Emma Torres, Carlos Sánchez, y Luis Simba. 2010. “Caracterización del cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en la provincia de Los Ríos-

- Ecuador.” *Ciencia y Tecnología* 3(2):7–11.
- Hariprasad, P., and S. R. Niranjana. 2009. “Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Rhizobacteria to Improve Plant Health of Tomato.” *Plant and Soil* 316(1–2):13–24. doi: 10.1007/S11104-008-9754-6.
- Hernández, L., and M. Escalona. 2003. “Microorganismos que benefician a las plantas: Las bacterias PGPR.” *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de La Universidad Veracruzana* 16(1):Online.
- Hernández R., Monica. 2019. “Evaluación de la colonización de *Bacillus subtilis* LPM1 mediante un marcador fluorescente en raíces de tomate (*Solanum lycopersicum* Cv. Micro-Tom) a nivel *in vitro* e *in planta*.” Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo.
- Herrera P., Guido. 2012. “Empleo de rizobacterias como promotores de crecimiento vegetal en la asociación del pasto brachiaria (*Brachiaria decumbens*) con kudzu (*Pueraria phaseoloides*) y clitora (*Clitoria ternatea*).” Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Jewell, Margaret C., Bradley C. Campbell, and Ian D. Godwin. 2010. “Transgenic Plants for Abiotic Stress Resistance.” *Transgenic Crop Plants* 2:67–132. doi: 10.1007/978-3-642-04812-8\_2.
- Jiménez, Edwin, Luis Garcías, Mercedes Carranza, Helen Carranza, Jaime Morante, Malena Martínez, and José Cuásquer. 2017. “Germination and Growth of *Ochroma Pyramidale* (Cav. Ex Lam.) Urb. in Ecuador.” *Scientia Agropecuaria* 8(3):243–50. doi: 10.17268/sci.agropecu.2017.03.07.
- Lugmania, Martha. 2020. “Determinación del efecto de la aplicación de bacillus subtilis a tres dosis y tres frecuencias sobre la productividad de la remolacha.” Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Meza B., Fabricio. 2016. “Hongos micorrizicos de plantaciones de melina y su potencial como biofertilizantes en plantulas a nivel de vivero, Año 2015.” Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Muñoz M., Byron. 2019. “Rizobacterias Promotoras de Crecimiento (PGPR) en el biocontrol del nematodo *Meloidogyne incognita* y *Fusarium oxysporum* f. Sp. Lycopersici en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*).” Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Núñez S., Dania, Ramón Liriano G., and Carlos López C. 2005. “Evaluación de biofertilizantes (Azospirillum y Micorrizas) y diferentes niveles de materia orgánica en bolsa y organopónico, en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.).” Universidad de Matanzas

“Camilo Cienfuegos,” Matanzas.

- Ponce, J. 2021. “Aplicación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) En plantas de balsa *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam.) Urb.” Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Posada, Anny, Diana Durango, Diana Polanco, y Jaiberth Cardona. 2021. “Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019.” *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 12(2):161–76. doi: 10.22490/21456453.4040.
- Ramírez, M., A. Peñaranda, U. Pérez, y D. Serralde. 2018. “Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (Hfma) en especies forestales en vivero.” *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial* 16(2):15–25.
- Ramirez Z., Edgar. 2019. “Efecto de consorcios PGPR sobre el desarrollo de plantas de *Plukenetia volubilis* y *Moringa oleifera* hasta fase vegetativa en comparación a fertilización convencional y orgánica en campo.” Universidad De Santander, Bucaramanga.
- Reyes, Altagracia. 2019. “Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y su aporte en la nutrición mineral de tomate (*Lycopersicon sculentum* L.)” Universidad de Concepción, Chillan.
- Rodríguez A., Jorge. 2018. “Evaluación de la cinética de crecimiento de PGPR y su actividad antagonista hacia *Meloidogyne incognita* ‘in vitro.’” Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Rojas, Alicia. 2017. “Flora urbana del área metropolitana de Bucaramanga.” *Innovaciencia* 5(1):13. doi: <https://doi.org/10.15649/2346075X.454>.
- Sánchez, J., H. Valencia, y N. Valero. 2005. “Producción de ácido indolacético por microorganismos solubilizadores de fosfatos presentes en la rizósfera de *Espeletia grandiflora* y *Calamagrostis effusa* del páramo El Granizo. - Buscar Con Google.” Pp. 177–96 in *Estrategias adaptativas de plantas del páramo y del bosque alto andino en la cordillera Oriental de Colombia*. Bogotá: En: MA, Bonilla.
- Somers, E., J. Vanderleyden, and M. Srinivasan. 2004. “Rhizosphere Bacterial Signalling: A Love Parade beneath Our Feet.” *Critical Reviews in Microbiology* 30(4):205–40. doi: 10.1080/10408410490468786.
- Soria, Ronald. 2021. “La balsa, El Nuevo Oro de la discordia.” *Expreso*, April 25.
- von Feigenblatt, Otto Federico (2007). *Japan and Human Security: 21st Century ODA Policy Apologetics and Discursive Co-optation* (2nd ed.). Delray Beach: Academic Research International.
- von Feigenblatt, Otto Federico (2009a). *Anomie, Racial Wage, and Critical Aesthetics:*

Understanding the Negative Externalities of Japanese and Thai Social Practices. *Journal of Asia Pacific Studies*, 1(1), 69-75.

Whitmore, T. C., and G. Wooi. 1983. "Growth Analysis of the Seedlings of balsa, *Ochroma Lagopus*." *New Phytologist* 95(2):305–11. doi: 10.1111/J.1469-8137.1983.TB03497.X.