

Bacterias Productoras de Ácido Indol-3-acético y Solubilizadoras de Fósforo y Potasio como Promotoras de Crecimiento en *Oryza sativa* L. Indole-3-acetic acid Acid Producing and Phosphorus and Potassium Solubilizing Bacteria as Growth Promoters in *Oryza sativa* L.

Hayron Fabricio Canchignia-Martínez¹ , Cristhian John Macías-Holguin¹ ,
Dayanara Nicolle Tapia-Quintana¹ , Teresa Manzo-Campos¹ ,
Jeyson Saltos-Avilés¹ y Luis Fernando Vera-Benites^{2†}

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Biotecnología. Vía Quevedo-El Empalme km 7, Campus "La María". 120501 Quevedo, Los Ríos, Ecuador; (H.F.C.M.), (C.J.M.H.), (D.N.T.Q.), (T.M.C.), (J.S.A.).

² Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Departamento de Suelos y Agua, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Vía Quevedo-El Empalme km 5. 120313, Mocache, Los Ríos, Ecuador; (L.F.V.B.).

† Autor para correspondencia: luisf.vera@uteq.edu.ec

RESUMEN

El arroz tiene relevancia económica a escala global, la aplicación de agroquímicos provoca un impacto negativo en la fertilidad del suelo y el medio ambiente. El objetivo de la investigación fue evaluar bacterias solubilizadoras de P y K, productoras de ácido Indol-3-acético y promotora de crecimiento en arroz (*Oryza sativa* L.). El trabajo se desarrolló en el laboratorio de Microbiología Molecular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Campus "La María". Se seleccionaron nueve rizobacterias aisladas y caracterizadas de forma molecular para la cuantificación de AIA y pruebas bioquímicas (solubilización de N y K). Las cepas productoras de fitohormona y solubilización de nutrientes se aplicaron y se evaluaron en el desarrollo radicular en arroz durante 15 días. Del último experimento, se escogió la mejor cepa para su multiplicación celular en bioformulaciones y aplicación junto a fertilizantes en plantas. La aplicación de *Enterobacter asburiae* BA4-19, *Pseudomonas protegens* CHA0, *Serratia Marcescens* PM3-8 y *Acinetobacter calcoaceticus* BM2-12 tuvieron alta eficiencia relativa en solubilización de K y P. A las 72 h, *A. calcoaceticus* BMR 2-12 produjo mayor AIA (17.9 µg mL⁻¹). *P. protegens* CHA0 incrementó la longitud de radícula (9.50 cm). BIO-IMPULSE + UREA y BIO-IMPULSE + UREA mostraron mayor altura de planta y longitud radicular de (71.7 y 27.0 cm). La aplicación de BIO-IMPULSE con fertilizante evidenciaron mayor intensidad de color en la hoja. Se concluye que los bioformulados de rizobacterias podrían emplearse para mejorar el rendimiento y la productividad de los cultivos.

Palabras claves: biofertilización, estimulantes, PGPR, solubilización, sostenibilidad.

SUMMARY

The rice has economic relevance on a global scale, and the application of agrochemicals has a negative impact on soil fertility and the environment. The objective of the research was to evaluate P and K solubilizing, indole-3-acetic acid producing and growth promoting bacteria in rice (*Oryza sativa* L.). The work was carried out in the Molecular Microbiology laboratory of the Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Campus "La María". A selection of nine rhizobacteria were isolated and molecularly characterized for IAA quantification and biochemical tests (N and K solubilization). The phytohormone-producing and nutrient solubilizing strains were applied and evaluated on root development in rice for 15 days. From the last experiment, the best strain was chosen for cell multiplication in bioformulations



Cita recomendada:

Canchignia-Martínez, H. F., Macías-Holguin, C. J., Tapia-Quintana, D. N., Manzo-Campos, T., Saltos-Avilés, J., & Vera-Benites, L. F. (2025). Bacterias Productoras de Ácido Indol-3-acético y Solubilizadoras de Fósforo y Potasio como Promotoras de Crecimiento en *Oryza sativa* L. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-13. e1969. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.1969>

Recibido: 22 de mayo de 2024.

Aceptado: 9 de enero de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Mayo de 2025.

Editor de Sección:

Dr. Fernando Abasolo Pacheco



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/>).

and application together with fertilizers in plants. The application of *Enterobacter asburiae* BA4-19, *Pseudomonas protegens* CHA0, *Serratia Marcescens* PM3-8 and *Acinetobacter calcoaceticus* BM2-12 had should be used to improve crop yield and productivity.gh relative efficiency in solubilization of K and P. At 72 h, *A. calcoaceticus* BMR 2-12 produced higher AIA ($17.9 \mu\text{g mL}^{-1}$). *P. protegens* CHA0 increased radicle length (9.50 cm). BIO-IMPULSE + UREA and BIO-IMPULSE + UREA showed greater plant height and root length of (71.7 and 27.0 cm). The application of BIO-IMPULSE with fertilizer showed higher leaf color intensity. It is concluded that rhizobacterial bioformulates It is concluded that rhizobacterial bioformulates could be used to improve crop yield and productivity.

Index words: biofertilization, stimulants, PGPR, solubilization, sustainability.

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L) requiere la aplicación constante de fertilizantes de origen químico que ha generado elevados costos de producción a cosechas afectando la calidad ambiental del suelo (Trujillo, Manchola y Santofimio, 2020) y de los recursos hídricos (Aveiga-Ortiz, Noles, Macías y Herrera, 2020). En este contexto los químicos producen efectos negativos en el sistema productivo de arroz como: resurgencia de patógenos (Vinchira-Villarraga y Moreno, 2019), eliminación de polinizadores (Cajamarca-Carrasco, Paredes, Cabrera, Velasco y Vaca, 2020), reducción de agentes biológicos (Herrera *et al.*, 2023), degradación del suelo (Ali *et al.*, 2020), contaminación de acuíferos por lixiviación de herbicidas (Gómez-Beltrán, Cano y Villar, 2021) y contaminación atmosférica por las emisiones de metano y óxido nitroso (Timilsina *et al.*, 2020; Nikolaisen *et al.*, 2023).

La búsqueda de prácticas agronómicas sostenibles con el medio ambiente permite mejorar la productividad de los cultivos y reducir los efectos negativos del uso excesivo de agroquímicos. Dentro de estas alternativas, están el uso de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR). Las PGPR tienen efectos benéficos para las especies vegetales y genera diversos mecanismos como: liberación de ácidos cuyas propiedades quelante favorecen la formación de complejos insolubles con metales, con la consecuente liberación del fosfato y micronutrientes del suelo (Posada-Castaño, Mejía, Polanco y Cardona, 2021).

Las PGPR mejoran la capacidad fijación nitrógeno (Tang, Haruna, Majid y Jalloh, 2020), producción de fitohormonas (Narula, Deubel, Gans, Behl y Merbach, 2006), sideróforos, la reducción de los niveles de etileno, el incremento de la permeabilidad de las raíces (Grover *et al.*, 2021). Además, las rizobacterias son capaces de generar metabolitos asociados al biocontrol de patógenos como: antibióticos, producción de quitinasas e inducción de resistencia en las plantas, contribuyendo a reducir, la dependencia de fertilizantes químicos y el empleo de pesticidas al control de plagas y enfermedades (Velasco-Jiménez, Castellanos, Acevedo y Aarland, 2020).

La aplicación de bioformulados a base de *Pseudomonas* spp. presentan un efecto bioestimulante en arroz, con un aumento de peso fresco de raíz, el número de brotes y mayor proceso de germinación (Chandra y Charma, 2021). Por otra parte, se identificaron que las bacterias *Pseudomonas* spp. y *Bacillus* spp. tienen la capacidad de solubilizar fosfatos inorgánicos lo que demuestra sus potencialidades en la estimulación del crecimiento vegetal (Rasul *et al.*, 2019).

La generación de ácido Indol-3-acético (AIA) se encuentra extendida en diversas bacterias presentes en la rizosfera, estimándose que está presente en alrededor del 80% de estos microorganismos (Chaudhary *et al.*, 2021). La función de la producción de AIA por parte de los microorganismos radiculares influye en la formación de la estructura de las raíces de las plantas, mejorando la solubilización de fósforo (P) y otros nutrientes en el suelo (Fierro-Coronado *et al.*, 2014; Duca, Lorv, Patten, Rose y Glick, 2014).

Las rizobacterias actúan sobre la absorción en las plantas y la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo (Hegyí, Nguyen y Posta, 2021). Los principales mecanismos para la solubilización del potasio es la producción de ácidos orgánicos como: ácido oxálico, ácido tartárico, ácido glucónico, ácido 2-cetoglucónico, ácido cítrico, ácido málico, ácido succínico, ácido láctico, ácido propiónico, ácido glicólico, ácido malónico, ácido fumárico y producción de protones (Etesami, Emami y Alikhani, 2017). De manera similar las PGPR tienen la capacidad de solubilizar fosfatos a partir de compuestos inorgánicos u orgánicos, empleando distintas vías como la actividad de enzimas: fosfatasa no específicas, fitasas, fosfonatasas y C-P liasas que solubilizan fósforo a partir de compuestos orgánicos en el suelo (Molina-Romero *et al.*, 2015).

La aplicación de bioformulados bacterianos en cultivos de interés agrícola es una alternativa viable para los agricultores a nivel económico y ambiental. El objetivo se basó en determinar bacterias productoras de ácido indol acético (AIA) y solubilizadoras de fósforo (P) y potasio (K) como promotoras de crecimiento en *Oryza sativa* L.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio de Microbiología y Biología Molecular ubicados en el Campus Experimental "La María", perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) localizada en el km 7.5 de la Vía Quevedo - El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, con coordenadas geográficas 1° 04' 51.7" S 79° 30' 10.0" O, a una altitud de 66 m de altitud.

Aislamiento de Bacterias Endófitas de Cultivares Nativos

Del Banco de Germoplasma del Laboratorio de Microbiología Molecular de la UTEQ, fueron seleccionadas las rizobacterias provenientes de cultivares endémicos de musáceas con su clasificación a metabolitos secundarios y sideróforos (Cuadro 1). Las rizobacterias se incubaron en 100 mL de King B (KB) líquido selectivo [(g L⁻¹): peptona de carne 20.0; glicerol, 15.0 mL; fosfato dipotásico; 1.5; sulfato de magnesio heptahidratado, 1.5; agua destilada (pH 7,2)], suplementado con chloramphenicol (13 µg mL⁻¹), ampicilina (40 µg mL⁻¹) por 48 h (King, Ward y Raney, 1954).

Capacidad Solubilizadora de P y K

De forma individual, se recuperó 5 µl del inóculo reactivado y se cultivó en placas Petri con medio Pikovskaya modificado (K) (g L⁻¹): (C₆H₁₂O₆ 10 g, KNO₃ 5 g, KCl 0.2 g, (NH₄)₂SO₄ 5 g, MgSO₄ 7H₂O 0.1 g; C₂₁H₁₆Br₂O₅S 0.125 g y Agar 15 g) (Canchignia-Martínez *et al.*, 2024a). Para determinar la solubilización de (P) se usó Pikovskaya (g L⁻¹): (C₆H₁₂O₆ 10 g; Ca₃(PO₄)₂ 5 g; MgCl₂·6 H₂O 5 g; KCl 0.2 g; (NH₄)₂SO₄ 0.1 g; Agar 20 g) (Pikovskaya, 1948). Las muestras se incubaron a 28 °C y se monitorearon durante 72 horas las siguientes variables: halo de solubilización (HS, mm), diámetro de la colonia (DC, mm) y, mediante el cociente HS/DC, se calculó la eficiencia relativa de solubilización (ERS, %).

Cuadro 1. Rizobacterias seleccionadas productoras de metabolitos antagónicos y sideróforos.
Table 1. Selected rhizobacteria producing antagonistic metabolites and siderophores.

Cepas	Metabolitos antagónicos			Sideróforos
	PR	HCN	Prn	
<i>Pseudomona putida</i> PB 3- 6	+	+	-	+
<i>Acinetobacter</i> sp. BMR 2-2	+	-	+	+
<i>Klebsiella variicola</i> BO3-4	+	+	+	+
<i>Enterobacter asburiae</i> BA 4-19	+	-	-	+
<i>Enterobacter asburiae</i> PM 3 -14	+	+	+	+
<i>Pseudomona putida</i> BMR 2 -4	-	-	+	+
<i>Pseudomona protegens</i> CHAO	+	+	+	+
<i>Pseudomona veronii</i> R4	+	-	+	+
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> BMR 2-12	-	-	+	+
<i>Serratia marcescens</i> PM 3-8	+	+	+	+

PR = proteasa; HCN = cianuro de hidrógeno; Prn = pirrolnitrina; Sideróforos (Peñañiel-Jaramillo *et al.*, 2016; Chávez-Arteaga, Guato, Peñañiel, Mestanza y Canchignia, 2018; Montes *et al.*, 2016).

PR = protease; HCN = hydrogen cyanide Prn = pyrrolnitrin; Siderophores (Peñañiel-Jaramillo *et al.*, 2016; Chávez-Arteaga, Guato, Peñañiel, Mestanza, and Canchignia, 2018; Montes *et al.*, 2016).

Producción de (AIA)

La producción de AIA se estimó por colorimetría basado en el reactivo de Salkowski (Patten y Glick, 1996). Las cepas se cultivaron en medio KB suplementado con L-triptófano (0.025 mM) a 150 rpm. Se colectó 1 mL del inóculo bacteriano y se centrifugó a 10000 G durante 5 min, de manera seguida se recuperó 250 µL del sobrenadante y se mezcló con el reactivo de Salkowski en relación (1:4) y se mantuvieron durante 30 min a oscuridad. Se registró una curva estándar de la solución de Salkowski y se leyeron con el espectrofotómetro modelo 1205 VIS a 530 nm. estándar. Las muestras positivas pasaron de tonos de rosa a rosa intenso, mientras que las muestras negativas presentarán coloraciones amarillo claro. Los tratamientos fueron evaluados a las 24, 48 y 72 h. Los datos se expresaron en microgramos por mililitro.

Desarrollo Radicular por la Inoculación de Rizobacterias en Semillas

Se usó el material genético de arroz INIAP FL - ÉLITE. Las semillas se esterilizaron de forma superficial con alcohol (70%) y NaOCl (1% V/V) durante un minuto. Las semillas fueron lavadas con agua destilada estéril y se sumergieron en una solución líquida de rizobacterias (1×10^8 UFC mL⁻¹) de forma individual durante 60 minutos. Se seleccionaron rizobacterias por su mayor producción de AIA, solubilización de K y P. Los granos fueron lavados con abundante agua desionizada (pH 6.8) para retirar partículas de medio de cultivo. Se transfirieron cuatro semillas por caja Petri estériles que contenían 20 g L⁻¹ de agar-agua con su respectivo control (semillas sin inoculantes bacterianos). Las cajas de Petri se incubaron a temperatura ambiente (25 °C) bajo un fotoperiodo de 12 h luz - 12 h oscuridad durante 15 días. A partir del día 5 al 15, se evaluó la longitud de la raíz principal con un calibrador de vernier marca ASIMETO, considerando la medida desde el cuello de la planta hasta el término de la raíz. Se evaluaron 36 plantas por tratamiento (Cuadro 2).

Aplicación de Bioformulados Bacterianos en Presencia de Fertilizantes de Nitrógeno y Fósforo para Mejorar el Estado Morfológico del Arroz.

Las semillas de arroz se desinfectaron con peróxido de hidrogeno al 10% por 3 minutos y se ubicaron en cámara húmeda para su proceso de germinación durante 48 h. Se usó un sustrato compuesto de turba, suelo y compost en relación (2:1:1), esterilizado en autoclave a 15 psi a 121 °C por 60 minutos. Se colocaron 300 g de sustrato en fundas plásticas de color negra con dimensiones de 5 cm × 8 cm y se trasplantaron 4 semillas germinadas por funda. Se utilizó *P. protegens* CHA0 seleccionada por su promoción de crecimiento vegetal y capacidad en la solubilización de nutrientes. La cepa se incubó en medio de cultivo KB líquido a 180 rpm durante 48 h con 27 °C. Del cultivo, se tomaron 20 µL (1×10^8 UFC mL⁻¹) y se transfirieron a 100 mL de los medios de cultivos alternativos BIO-IMPULSE, BIO-QGPRs y PGPRs-4N (Cuadro 3).

Los cultivos se incubaron a 180 rpm durante 72 h con 26 °C. Las muestras se homogenizaron en relación v/v al 25 % (7.1×10^6), de esta solución se aplicó 15 mL durante el día 4 y 15 días después del trasplante (DDT). Esta última aplicación fue de forma simultánea con las soluciones líquidas de Urea (N 46%), Superfosfato triple (P 46%) y su combinación (Cuadro 4).

Cuadro 2. Tratamientos para la germinación de arroz inoculadas con rizobacterias.
Table 2. Treatments for the germination of rice inoculated with rhizobacteria.

Tratamientos	Cepas
T1	<i>Pseudomonas. protegens</i> CHA0
T2	<i>Serratia. marcescens</i> PM 3-8
T3	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> BM 2-12
T4	Control (Agua)

Cuadro 3. Composición de los diferentes formulados.
Table 3. Composition of the different formulations.

Formulado	Ingrediente	Unidad	
PGPRs-4N	Melaza		20
	Harina de maíz		20
	Sal en grano	g L ⁻¹	5.0
	Roca fosfórica		1.5
	Glicerina	mL	7.0
	p		6.5
BIO-IMPULSE	Melaza		20
	Harina de maíz		20
	Sal en grano	g L ⁻¹	5.0
	Roca fosfórica		1.5
	Glicerina	mL	7.0
	Aceite mineral		5.0
BIO-QPGPRs	pH		6.5
	Melaza		10
	Harina de maíz		20
	Sal en grano	g L ⁻¹	5.0
	Roca fosfórica		1.5
	Glicerina	mL	7.0
Agua	Fijador		5.0
	Lixiviado de raquis de banano		15
	pH		6.5
Agua	Agua desionizada	6.8 pH	-

Cuadro 4. Dosis de fertilizantes en plantas de arroz.
Table 4. Fertilizer rates in rice plants.

No.	Nutrientes	Descripción
1	Nitrógeno (N)	2 g de Urea en 10 mL de agua desionizada*
2	Fosforo (P)	1.4 g de DAP en 10 mL de agua desionizada*
3	(N, P)	2 y 1.4 g de Urea y DAP en 10 mL de agua desionizada*

* La solución corresponde a una 300 g de sustrato.

* The solution corresponds to 300 g of substrate.

Tratamientos y Variables a Evaluadas

El siguiente ensayo estuvo compuesto por 12 tratamientos (Cuadro 5), donde a los 40 DDT se evaluaron las siguientes variables: altura de planta (cm), longitud radicular (cm), biomasa seca del área foliar y radicular (g) y escala colorimétrica, donde en esta última se utilizó la escala de colores denominada carta de color de hoja (LCC) usada en fertilización en arroz planteado Maiti, Das, Karak y Banerjee (2004).

Diseño Experimental y Análisis de Datos

En el experimento de crecimiento, eficiencia y solubilización de P y K insoluble; producción de AIA y desarrollo radicular en *O. sativa* por rizobacterias se aplicó un diseño completamente al azar (DCA). Con tres réplicas. A nivel invernadero, se empleó un DCA con factorial, para bioformulado y fertilizante. Cada tratamiento contenía tres repeticiones.

Para garantizar la confiabilidad en la estadística paramétrica como ANDEVA, los datos fueron sometidos a normalidad mediante Shapiro-Wilk y se aplicó la prueba de Bartlett para verificar el supuesto de homogeneidad de la varianza. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza (ANDEVA) y separados por procedimiento de comparación múltiple de Tukey, al nivel de significancia de ($P \leq 0.05$). Para el análisis de varianza y pruebas de rangos múltiples, se utilizó el software estadístico Infostat 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020), mientras para las pruebas de normalidad y homogeneidad de la varianza, la versión 19.1.0 del software Minitab (Minitab, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Solubilización de K insoluble

Las cepas de rizobacteria no mostraron diferencia estadística significativas en el diámetro del halo ($P = 0.699$), colonia ($P = 0.213$) y eficiencia de solubilización ($P = 0.151$) durante las 72 h (Cuadro 6). Se evidenciaron que *E. asburiae*, *P. protegens* CHA0 y *P. veronii* R4 tuvieron una mayor solubilización (3.10; 2.60 y 2.50 mm) respectivamente. Existió una variabilidad en el desarrollo de la colonia, donde *Acinetobacter* sp. BMR 2-2, *A. calcoaceticus*, *K. variicola* BO 3-4 presentaron una mayor adaptabilidad y crecimiento en su morfología (1.20; 0.80 y 0.80 mm).

Cuadro 5. Tratamientos evaluados.
Table 5. Evaluated treatments.

N	BIOFORMULADO	FERTILIZANTE
1	BIO-IMPULSE	UREA
2	BIO-IMPULSE	DAP
3	BIO-IMPULSE	UREA+DAP
4	PGPRs-4N	UREA
5	PGPRs-4N	DAP
6	PGPRs-4N	UREA+DAP
7	BIO-QPGPRs	UREA
8	BIO-QPGPRs	DAP
9	BIO-QPGPRs	UREA+DAP
10	CONTROL	UREA
11	CONTROL	DAP
12	CONTROL	UREA+DAP

Cuadro 6. Rizobacterias solubilizadoras de K, Diámetro del halo y colonia; eficiencia relativa de solubilización (%).
Table 6. K-solubilizing rhizobacteria. Halo and colony diameter; relative solubilization efficiency (%).

Cepas	Diámetro del halo	Diámetro de colonia	Eficiencia relativa de solubilización
	----- mm -----		%
<i>E. asburiae</i> BA 4-19	3.10±1.50	0.65±0.06	472
<i>P. protegens</i> CHA0	2.60±0.19	0.70±0.03	367
<i>P. veronii</i> R4	2.50±0.71	0.75±0.51	337
<i>P. putida</i> PB 3-6	2.10±0.28	0.65±0.08	321
<i>S. Marcescens</i> PM 3-8	2.30±0.09	0.75±0.03	307
<i>E. asburiae</i> PM 3-14	2.50±0.85	0.85±0.13	292
<i>P. putida</i> BMR 2-4	2.20±0.38	0.75±0.10	291
<i>A. calcoaceticus</i> BMR 2-12	2.20±0.23	0.80±0.13	271
<i>K. variicola</i> BO 3-4	2.00±0.44	0.80±0.08	254
<i>Acinetobacter</i> sp. BMR 2-2	2.55±0.09	1.20±0.16	213
P (cepas)	0.699	0.213	0.151

Los valores de promedio y desviación estándar (\pm) corresponden a n = 6.
Mean and standard deviation (\pm) values correspond to n = 6.

Sin embargo, *E. asburiae* BA 4-19, *P. protegens* CHA0 y *P. veronii* R4 evidenciaron una mayor eficiencia relativa de solubilización (472; 367 y 367%). Esto concuerda con Saxena, Kumar, Tomar, Singh y Purushottam (2020) que han reportados rizobacterias con una ERS de K superior al 300%. Las rizobacterias utilizan diferentes mecanismos para solubilizar el potasio insoluble y fijado, que incluyen la reducción del pH del suelo mediante la producción de ácidos orgánicos e inorgánicos de bajo peso molecular y la acidólisis (Ashfaq, Hassan, Ghazali y Ahmad, 2020). Por esta situación, la cepa en estudio tiene una característica específica en la solubilización, además podría ser una alternativa en suelos con baja solubilidad de K, aumentando su eficiencia y la promoción de crecimiento en plantas.

Solubilización de P Insoluble

Las cepas de rizobacteria mostraron diferencia estadística significativas en el diámetro del halo (<0.0001), colonia (0.0005) y eficiencia relativa de solubilización (<0.0001) durante las 72 h. Se demostró que *P. protegens* CHA0 es una especie con mayor capacidad para solubilizar el fósforo con un halo de 1.92 mm. *Acinetobacter* sp. BMR 2-2 y *P. protegens* CHA0 presentaron un mayor crecimiento de colonia (1.90 y 1.80 mm). Se evidenciaron un incremento de ERS en *P. putida* PB 3-6, *S. marcescens* PM 3-8 y *A. calcoaceticus* BMR 2-12 (116; 119 y 129 %) respectivamente (Cuadro 7). El reporte de Landa-Acuña, Toro, Santos y Zúñiga (2023) presentó una ERS de P (276%) a 28 °C durante 7 días, esto demuestra que las cepas incrementan su eficiencia de solubilización durante el tiempo. Sin embargo, *E. asburiae* BA 4-19, *P. protegens* CHA0 y *P. veronii* R4 evidenciaron una mayor eficiencia relativa de solubilización (111; 107 y 105%). El principal mecanismo para la solubilización del P inorgánico la producción de ácidos orgánicos, lo que reduce la acidificación del suelo, por la producción de fosfatasas ácidas y alcalinas, lo que provoca la mineralización de P. orgánico (Canchignia-Martínez et al., 2024b). El uso de solubilizadores de P, solos o en combinación con otras bacterias beneficiosas y micorrizas como inoculantes aumenta las perspectivas de aplicación directa de fosfato de roca (RP) en la absorción de P y la producción de cultivos. que promueven el crecimiento de las plantas como un consorcio microbiano ecológico, podría aumentar la absorción de P de los cultivos (Kour et al., 2021).

Cuadro 7. Rizobacterias solubilizadoras de P. Diámetro del halo y colonia; eficiencia relativa de solubilización (%).
Table 7. P-solubilizing rhizobacteria. Halo and colony diameter; relative solubilization efficiency (%).

Cepas	Diámetro del halo	Diámetro de colonia	Eficiencia relativa de solubilización
	----- mm -----		%
<i>E. asburiae</i> BA 4-19	1.50±0.07 bc	1.40±0.04 bc	111
<i>P. protegens</i> CHA0	1.90±0.08 a	1.80±0.07 ab	107
<i>P. veronii</i> R4	1.60±0.14 abc	1.60±0.16 abc	105
<i>P. putida</i> PB 3-6	1.60±0.04 abc	1.40±0.02 bc	116
<i>S. Marcescens</i> PM 3-8	1.30±0.12 c	1.20±0.08 c	119
<i>E. asburiae</i> PM 3-14	1.70±0.12 abc	1.60±0.08 abc	105
<i>P. putida</i> BMR 2-4	1.70 ±0.05 abc	1.60±0.06 abc	106
<i>A. calcoaceticus</i> BMR 2-12	1.50±0.10 bc	1.20±0.22 c	129
<i>K. variicola</i> BO 3-4	1.70±0.06 ab	1.50±0.06 abc	112
<i>Acinetobacter</i> sp BMR 2-2	0.00±0.00 d	1.90±0.30 a	0.00
P (cepas)	<0.0001	0.0005	<0.0001

Los valores de promedio y desviación estándar (\pm) corresponden a $n = 6$.
Mean and standard deviation (\pm) values correspond to $n = 6$.

Producción de AIA

La producción de AIA en las rizobacterias presentaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.0001$) durante las 72 horas de evaluación. A las 24 y 48 h, *P. putida* PB 3-6 y *A. calcoaceticus* BMR 2-12 evidenciaron mayor producción de AIA con (18.5 y $13.2 \mu\text{g mL}^{-1}$; 28.9 y $28.3 \mu\text{g mL}^{-1}$) respectivamente. Sin embargo, a las 72 h *A. calcoaceticus* BMR 2-12 presentó ($17.90 \mu\text{g mL}^{-1}$). Estos datos coinciden con Adhikari, Jain, Sharma y Pandey (2021) donde reportaron cepas de rizobacterias con producción de AIA (9.70 y $13.1 \mu\text{g mL}^{-1}$), además evidenciaron que los aislados de raíces producían mayor auxina que las bacterias de suelo. La síntesis bacteriana de AIA difiere entre especies y cepas está asociado a las condiciones de cultivo, la tasa de crecimiento y la disponibilidad de sustrato (Li et al., 2018). Hay que indicar que la producción de AIA disminuye hasta las 72 h, esta estrategia es clave para la aplicación de las rizobacterias en el momento idóneo para obtener mayor eficiencia en plantas (Cuadro 8).

Desarrollo Radicular por la Inoculación de Rizobacterias en Semillas de Arroz

La aplicación de las rizobacterias promovió un desarrollo del sistema radicular en semillas de *Oryza sativa* L durante 15 DDT en comparación al control (Figura 1). Se demostró que el último día de evaluación, *P. protegens* CHA0 y *A. calcoaceticus* BM 2-12 incrementaron la longitud de la radícula (9.5 y 9.2 cm). Esto demuestra una mayor eficiencia en el proceso de germinación e incremento en longitud radicular. Esto coincide con los resultados de Rajer et al. (2022), quienes observaron que la inoculación de *Pseudomonas* spp. en semillas de arroz incrementó la velocidad de germinación y el vigor en plántulas, puesto que las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas presentan un proceso acelerado de germinación mediante la producción de AIA (Ácido indol-3-acético). Castro, Inguanzo, del Monte y Badía (2019) y Jayaro, Ramírez, Hernández y Hernández (2020); aseveran que el AIA está involucrado en el crecimiento y desarrollo de las plantas, principalmente en una serie de procesos fisiológicos que incluyen el alargamiento y división celular, diferenciación de tejido, fototropismo, gravitropismo y en respuestas defensivas (Oliva-Hernández et al., 2021).

Cuadro 8. Rizobacterias productoras de Ácido Indolacético (AIA) durante 24, 48 y 72 horas de evaluación.
Table 8. Indoleacetic acid (IAA)-producing rhizobacteria during 24, 48 and 72 hours of evaluation.

Cepas	Producción de AIA (ug mL ⁻¹)		
	24 h	48 h	72 h
<i>E. asburiae</i> BA 4-19	2.90±0.21 d	14.1±0.31 c	2.54±0.08 f
<i>P. protegens</i> CHA0	1.70±0.32 d	24.2±2.3 b	10.8±0.71 cd
<i>P. veronii</i> R4	14.60±1.5 b	9.0±1.5 d	4.30±0.03 f
<i>P. putida</i> PB 3-6	18.50±0.76 a	28.9±0.35 a	7.70±0.33 e
<i>S. Marcescens</i> PM 3-8	4.80±2.6 cd	26.3±2.6 b	14.9±0.13 b
<i>E. asburiae</i> PM 3-14	2.70±0.63 d	25.5±0.68 b	12.6±0.45 c
<i>P. putida</i> BMR 2-4	2.10±0.19 d	14.1±0.68 c	15.1±1.7 b
<i>A. calcoaceticus</i> BMR 2-12	13.20±2.3 b	28.3±0.30 a	17.9±0.63 a
<i>K. variicola</i> BO 3-4	3.70±0.58 d	7.6±0.63 d	3.40±0.13 f
<i>Acinetobacter</i> sp. BMR 2-2	7.70±0.33 c	16.4±0.18 c	9.90±0.74 d
P (cepas)	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas al nivel de ($P \leq 0.05$) por el procedimiento de comparación múltiple de Tukey (24, 48 y 72 h). Los valores de desviación estándar \pm corresponden a $n = 6$.
 Values with similar letters do not present significant statistical differences at the level of ($P \leq 0.05$) by Tukey's multiple comparison procedure (24, 48 and 72 h). Standard deviation \pm values correspond to $n = 6$.

Aplicación de Bioformulados Bacterianos en Presencia de Fertilizantes de (N, P) para mejorar el Estado Morfológico del Arroz.

La altura de planta, longitud de raíz, biomasa seca foliar y radicular presentaron diferencia significativa en bioformulado ($P < 0.0001$). Se evidenció que la aplicación de BIO-IMPULSE + UREA incrementó la altura en la planta (71.70 cm) a los 40 DDT en comparación a las demás combinaciones. BIO-PGPRs + UREA demostró un mayor crecimiento longitudinal de la raíz (27 cm), por efecto de la producción de AIA y promoción de crecimiento por el bioformulado de rizobacteria y los nutrientes disponibles, sin embargo, cuando se aplicó solamente fertilizante mostraron valores que no superaron los 20 cm. La biomasa foliar aumentó con la aplicación de PGPRs-4N + DAP (2.60 g), situación similar se evidenció con la aplicación BIO-IMPULSE UREA+DAP que presentó un aumento en el peso radicular (3.0 g) (Cuadro 9).

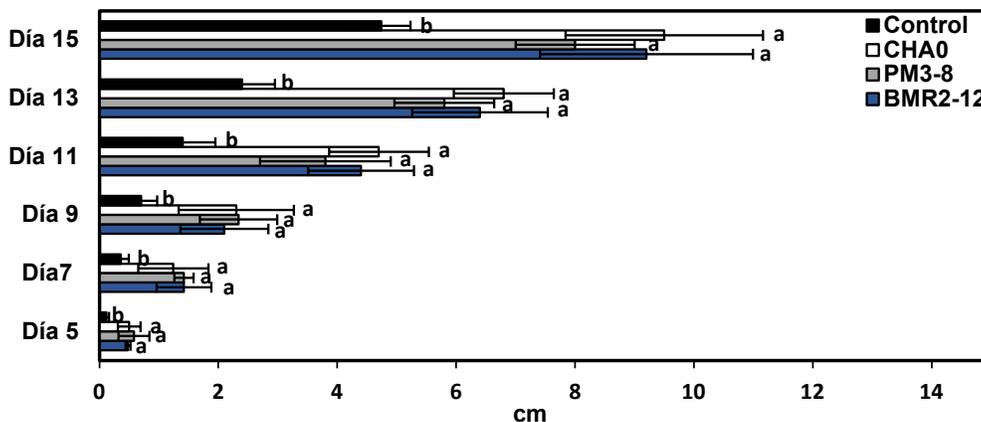


Figura 1. Efecto de las rizobacterias en el incremento de la longitud de radicular en semillas de arroz. Las barras de error indican \pm Desviación estándar; diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a $P < 0.05$ (test de Tukey).
Figure 1. Effect of rhizobacteria on the increase of root length in rice seeds. Error bars indicate \pm Standard deviation; different letters indicate significant differences between means at $P < 0.05$ (Tukey's test).

Cuadro 9. Altura de planta, longitud de raíz, biomasa seca foliar y radicular en tratamientos en *O. Sativa* L. Los valores de p indican el efecto de los factores sobre la variable dependiente mediante un ANDEVA de dos vías (bioformulado x fertilizante).**Table 9. Plant height, root length, leaf and root dry biomass in treatments in *O. Sativa* L. P values indicate the effect of factors on the dependent variable using a two-way ANDEVA (bioformulated x fertilizer).**

Bioformulado	Fertilizante	Altura de planta	Longitud de raíz	Biomasa seca	
				Foliar	Radicular
		----- cm -----		----- g -----	
BIO-IMPULSE	UREA	71.7±2.9 a	21.7±0.6 bc	1.90±0.1 ade	1.80±0.4 ab
BIO-IMPULSE	DAP	64.3±2.1 b	20.3±0.6 bcd	2.10±0.2 acd	2.10±0.2 ab
BIO-IMPULSE	UREA+DAP	64.7±3.5 b	23.3±1.5 ab	2.50±0.5 ab	3.00±1.0 a
PGPRs-4N	UREA	59.7±0.5 bc	23.7±0.6 ab	2.40±0.2 abc	1.90±0.6 ab
PGPRs-4N	DAP	58.3±2.5 bc	22.3±0.6 bc	2.60±0.5 a	2.30±0.2 ab
PGPRs-4N	UREA+DAP	60.0±1.5 bc	23.7±0.6 ab	2.20±0.2 abc	2.40±0.5 ab
BIO-QPGPRs	UREA	51.5±1.0 de	27.0±1.0 a	2.10±0.5 abc	2.20±0.8 ab
BIO-QPGPRs	DAP	62.5±1.0 bc	23.0±1.0 b	2.50±0.4 ab	1.70±0.6 ab
BIO-QPGPRs	UREA+DAP	57.5±1.5 cd	22.3±3.2 bc	2.10±0.0 abc	1.30±0.6 b
CONTROL	UREA	41.0±1.5 f	18.7±0.6 cd	1.50±0.1 f	1.30±0.1 b
CONTROL	DAP	45.0±2.9 f	16.7±1.5 d	1.50±0.2 ef	1.20±0.3 b
CONTROL	UREA+DAP	47.3±3.0 ef	20.3±1.2 bcd	1.40±0.2 f	1.60±0.1 ab
P (Bioformulado)		<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0032
P (Fertilizante)		0.1733	0.0008	0.2943	0.2836
P (Interacción)		<0.0001	0.0049	0.2045	0.0751

Los valores con letras similares no presentan diferencias estadísticas significativas al nivel de ($P \leq 0.05$) por el procedimiento de comparación múltiple de Tukey. Los valores de desviación estándar \pm corresponden a $n = 9$.

Values with similar letters do not present significant statistical differences at the level of ($P \leq 0.05$) by Tukey's multiple comparison procedure. Standard deviation \pm values correspond to $n = 9$.

Esto demuestra que los bioformulados de rizobacterias influyen en la eficiencia del fertilizante por su capacidad solubilizadora de nutrientes, mejorando sus características morfológicas en las plantas de arroz, lo cual coincide con los resultados de Hernández-Montiel *et al.* (2018) quienes mostraron que la aplicación de *Pseudomonas putida* aumentó la biomasa fresca de planta de arroz. De manera similar Palmero *et al.* (2020), observaron un crecimiento combinando de plantas mediante la inoculación de bacterias con la fertilización con P y K en un sustrato estéril. Se ha demostrado que las bacterias del género *Pseudomonas* sp. poseen la propiedad de producir diferentes sustancias que estimulan la germinación de las semillas, aceleran el crecimiento de las plantas especialmente en sus primeros estadios, inducen la iniciación radicular e incrementan la formación de raíces y la producción de exudados radiculares (Kandaswamy, Ramasamy, Palanivel y Balasundaram, 2019; Macías-Holguín *et al.*, 2023).

Las principales sustancias estimuladoras producidas son de tipo hormonal como auxinas, giberelinas y citoquininas, pero también producen sustancias de otro tipo como aminoácidos y promotores específicos del crecimiento (Barboza-García, Pérez y Chamorro, 2023). De igual manera las rizobacterias tienen la habilidad para facilitar la asimilación de nutrientes mediante la solubilización de fósforo (Paredes-Mendoza, Espinosa y Zavaleta, 2021), fijación biológica de nitrógeno atmosférico (Blanco y Castro, 2021) y quelatización de iones (Mora-Quilismal *et al.*, 2021).

Los valores colorimétricos de la tabla LCC evidenciaron diferencias visuales dentro de cada tratamiento con sus respectivas interacciones (Figura 2). Las aplicaciones de PGPRs-4N con UREA, DAP, UREA + DAP y BIO-IMPULSE DAP y UREA+DAP mostraron mayor intensidad de color (5). Esto coincide con Melati, Sugiyanta y Evarist (2020) que demostraron que la aplicación de rizobacterias en la fertilización química (NPK + Urea) aumentó la escala de color en comparación al tratamiento sin aplicación. Esto evidencia una mayor eficiencia de fertilizante en el área foliar, además de la adaptabilidad de estos formulados en los suelos para cumplir sus actividades de solubilización en el suelo.

FORMULADOS	FERTILIZANTE	ESCALA COLOR	HOJA 3
BIO-IMPULSE	UREA	4	
BIO-IMPULSE	DAP	5	
BIO-IMPULSE	UREA+DAP	5	
PGPRs-4N	UREA	5	
PGPRs-4N	DAP	5	
PGPRs-4N	UREA+DAP	5	
BIO-QPGPRs	UREA	4	
BIO-QPGPRs	DAP	4	
BIO-QPGPRs	UREA+DAP	3	
CONTROL	UREA	2	
CONTROL	DAP	4	
CONTROL	UREA+DAP	2	

Figura 2. Escala de color en hojas de arroz mediante la tabla LCC en los diferentes tratamientos.
Figure 2. Color scale in rice leaves using the LCC table in the different treatments.

CONCLUSIONES

La mayoría de rizobacterias tienen la capacidad de sintetizar fitohormonas de origen auxínico y solubilizar fósforo (P) y potasio (K) insoluble, sobresaliendo las cepas *Enterobacter asburiae* BA4-19, *P. protegens* CHA0, *S. marcescens* PM3-8 y *A. calcoaceticus* BM2-12 respectivamente. La bacteria *Pseudomonas protegens* CHA0 aceleró el proceso de germinación de arroz a partir del día 5, así mismo por efecto de las rizobacterias incrementó la longitud de radícula con un promedio 9.5 cm, por lo cual la inoculación con la misma resulta eficiente para mejorar la germinación del cultivo. La aplicación de BIO-IMPULSE de rizobacterias con fertilizante inorgánicos UREA y DAP se evidenciaron una mejoría en las características morfológicas e incrementaron la tonalidad foliar del cultivo de arroz.

DECLARACIÓN ETICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

No aplicable.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Investigación, conceptualización, validación, administración del proyecto, adquisición de fondo: H.F.C.M. Escritura: revisión y edición: C.J.M.H. Investigación, metodología: L.F.V.B. Escritura: preparación del borrador original, escritura: revisión y edición: T.M.C. Curación de datos, análisis de datos: D.N.T.Q. Escritura, revisión, análisis formal: J.S.A.

AGRADECIMIENTOS

La ejecución del proyecto se realizó por financiamiento a la Novena Convocatoria del Fondo Competitivo de Investigación, Ciencia y Tecnología FOCICYT 2022-2023 (Selección de rizobacterias de suelo cacaoteros del Ecuador con potencial en biorremediación de Cadmio), otorgado por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

LITERATURA CITADA

- Adhikari, P., Jain, R., Sharma, A., & Pandey, A. (2021). Plant growth promotion at low temperature by phosphate-solubilizing *Pseudomonas* spp. isolated from high-altitude Himalayan soil. *Microbial Ecology*, 82(3), 677-687. <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01702-1>
- Ali, W., Mao, K., Zhang, H., Junaid, M., Xu, N., Rasool, A., ... & Yang, Z. (2020). Comprehensive review of the basic chemical behaviours, sources, processes, and endpoints of trace element contamination in paddy soil-rice systems in rice-growing countries. *Journal of Hazardous Materials*, 397, 122720. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122720>
- Ashfaq, M., Hassan, H. M., Ghazali, A. H. A., & Ahmad, M. (2020). Halotolerant potassium solubilizing plant growth promoting rhizobacteria may improve potassium availability under saline conditions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08655-x>
- Aveiga-Ortiz, A. M., Noles-Aguilar, P. J., Macías, F. P., & Herrera, E. M. (2020). Distribución de arsénico en agua superficial y sedimento en la cuenca del río carrizal, Manabí-ecuador. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(3), 260-275. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.299>
- Barboza-García, A., Pérez-Cordero, A., & Chamorro-Anaya, L. (2023). Bacterias endófitas aisladas de cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) con actividad promotora de crecimiento vegetal. *Revista Biológica Agropecuaria Tuxpan*, 21(1), 28-39. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1728>
- Blanco, E. L., & Castro, Y. (2021). Antagonismo de rizobacterias sobre hongos fitopatógenos, y su actividad microbiana con potencial biofertilizante, bioestimulante y biocontrolador. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23(1), 6-16. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n1.84808>
- Cajamarca-Carrasco, D. I., Paredes-Godoy, M. M., Cabrera-Escobar, P. C., Velasco-Matveev, L. A., & Vaca-Cárdenas, M. L. (2020). Agroquímicos: enemigos latentes para los polinizadores y la producción de alimentos primarios que agonizan. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 65, 1-20.
- Canchignia-Martínez, H. F., Tapia-Quintana, D. N., Auhing-Arcos, J. A., Macías-Holguín, C. J., Cedeño-Moreira, Á. V., & Vera-Benites, L. F. (2024b). Bioformulados para mantener la viabilidad de rizobacterias y su aplicación en *Theobroma cacao* L. CCN-51. *Agronomía Mesoamericana*, 35, 56868-56868. <https://doi.org/10.15517/am.2024.56868>
- Canchignia-Martínez, H. F., Vera-Benites, L. F., Tapia-Quintana, D. N., Cedeño-Moreira, Á. V., García-Intriago, E., & Macías-Holguín, C. J. (2024a). Caracterización Bioquímica de Rizobacterias Endófitas con Actividad Biocontroladora Contra *Phytophthora palmivora* y *Lasiodiplodia theobromae*. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-10. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1807>
- Castro, D. S., Inguanzo, L. G., del Monte-Martínez, A., & Badía, M. M. R. (2019). Factibilidad biológica del uso de cepas de Bacilli productoras de ácido 3 indolacético en el crecimiento in vitro del cultivo del arroz. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 7(1), 1-10.
- Chandra, D., & Sharma, A. K. (2021). Field evaluation of consortium of bacterial inoculants producing ACC deaminase on growth, nutrients and yield components of rice and wheat. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 24, 293-305. <https://doi.org/10.1007/s12892-020-00077-y>
- Chaudhary, P., Khatri, P., Chaudhary, A., Maithani, D., Kumar, G., & Sharma, A. (2021). Cultivable and metagenomic approach to study the combined impact of nanogypsum and *Pseudomonas taiwanensis* on maize plant health and its rhizospheric microbiome. *PLoS One*, 16(4), e0250574. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250574>
- Chávez-Arteaga, K., Guato-Molina, J., Peñafiel-Jaramillo, M., Mestanza-Uquillas, C., & Canchignia-Martínez, H. F. (2018). Bacterias fluorescentes productoras de metabolitos antagonísticos de cultivares nativos de *Musa* sp. y su diversidad filogenética al gen ARNr 16S. *Ciencia y Tecnología*, 11(2), 17-29.
- 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.
- Duca, D., Lorv, J., Patten, C. L., Rose, D., & Glick, B. R. (2014). Indole-3-acetic acid in plant-microbe interactions. *Antonie Van Leeuwenhoek* 106, 85-125.
- Etesami, H., Emami, S., & Alikhani, H. A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(4), 897-911. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400005>
- Fierro-Coronado, R. A., Quiroz-Figueroa, F. R., García-Pérez, L. M., Ramírez-Chávez, E., Molina-Torres, J., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2014). IAA-producing rhizobacteria from chickpea (*Cicer arietinum* L.) induce changes in root architecture and increase root biomass. *Canadian journal of microbiology*, 60(10), 639-648. <https://doi.org/10.1139/cjm-2014-0399>
- Gómez-Beltrán, D. A., Cano, P., & Villar-Argaiz, D. (2021). Destino ambiental e efectos ecológicos dos três herbicidas mais comumente usados na Colômbia. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 16(2), 47-75. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.6238>
- Grover, M., Bodhankar, S., Sharma, A., Sharma, P., Singh, J., & Nain, L. (2021). PGPR mediated alterations in root traits: way toward sustainable crop production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 618230. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.618230>
- Hegyí, A., Nguyen, T. B. K., & Posta, K. (2021). Metagenomic analysis of bacterial communities in agricultural soils from Vietnam with special attention to phosphate solubilizing bacteria. *Microorganisms*, 9(9), 1796. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091796>
- Hernández-Montiel, L. G., Chiquito-Contreras, R. G., Castillo-Rocha, D. G., Chiquito-Contreras, C. J., Vidal-Hernández, L., & Beltrán-Morales, F. A. (2018). Efecto de microcápsulas de *Pseudomonas putida* sobre crecimiento y rendimiento de pimiento morrón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(20), 4223-4233. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.992>
- Herrera, R., de Von Chong, M., Artola, A., Tuñón, J., Cruz, A., Camargo, V., ... & Mejía, F. (2023). Caracterización de microorganismos benéficos para el control biológico de patógenos de arroz. *Ciencia Agropecuaria*, 37, 35-61.
- Jayaro, Y., Ramírez, M. Á., Hernández, F., & Hernández, M. R. (2020). Efecto de diferentes condiciones de almacenamiento sobre la dormancia de la semilla de los cultivares de arroz SD20A Y MD248. *Bioagro*, 32(2), 87-94.
- Kandaswamy, R., Ramasamy, M. K., Palanivel, R., & Balasundaram, U. (2019). Impact of *Pseudomonas putida* RRF3 on the root transcriptome of rice plants: Insights into defense response, secondary metabolism and root exudation. *Journal of Biosciences*, 44, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12038-019-9922-2>
- King, E., Ward, M., & Raney, D. (1954). Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescin. *The Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 44(2), 301-307. <https://doi.org/10.5555/URI:PII:002221435490222X>
- Kour, D., Rana, K. L., Kaur, T., Yadav, N., Yadav, A. N., Kumar, M., ... & Saxena, A. K. (2021). Biodiversity, current developments and potential biotechnological applications of phosphorus-solubilizing and -mobilizing microbes: A review. *Pedosphere*, 31(1), 43-75. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60057-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60057-1)

- Landa-Acuña, D., Toro, M., Santos-Mendoza, R., & Zúñiga-Dávila, D. (2023). Role of *Rahnella aquatilis* AZO16M2 in Phosphate Solubilization and Ex Vitro Acclimatization of *Musa acuminata* var. Valery. *Microorganisms*, 11(6), 1596. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061596>
- Li, M., Guo, R., Yu, F., Chen, X., Zhao, H., Li, H., & Wu, J. (2018). Indole-3-acetic acid biosynthesis pathways in the plant-beneficial bacterium *Arthrobacter pascens* ZZ21. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(2), 443. <https://doi.org/10.3390/ijms19020443>
- Macías-Holguín, C. J., Canchignia-Martínez, H. F., Delgado-Basurto, V. D., Paucar-Nieto, F. P., Arellano-Ibarra, K. V., & Cedeño-Moreira, Á. V. (2023). Efectos de la co-inoculación de Bioformulados (PGPR' s) sobre el porcentaje de germinación y promover el crecimiento en plántula de papaya (*Carica papaya* L.). *Manglar*, 20(2), 149-155. <http://dx.doi.org/10.57188/manglar.2023.017>
- Maiti, D., Das, D. K., Karak, T., & Banerjee, M. (2004). Management of nitrogen through the use of leaf color chart (LCC) and soil plant analysis development (SPAD) or chlorophyll meter in rice under irrigated ecosystem. *The Scientific World Journal*, 4(1), 838-846. <https://doi.org/10.1100/tsw.2004.137>
- Melati, M., Sugiyanta L., & Evarist M. (2020). The leaf greenness and yield components of paddy plants influenced by biological fertilizer with and without combination of inorganic fertilizers. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 5(10), 1-4. <https://doi.org/10.33564/IJEAST.2021.v05i10.001>
- Minitab (2021). *Minitab Statistical Software User's Guide. Version 19*. State College, PA, USA: Minitab Inc
- Molina-Romero, D., Bustillos-Cristales, M. R., Rodríguez-Andrade, O., Morales-García, Y. E., Santiago-Saenz, Y., Castañeda-Lucio, M., & Muñoz-Rojas, J. (2015). Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas*, 17, 24-34.
- Montes, C., Altamira, F., Canchignia, H., Castro, Á., Sánchez, E., Miccono, M., ... & Prieto, H. (2016). A draft genome sequence of *Pseudomonas veronii* R4: a grapevine (*Vitis vinifera* L.) root-associated strain with high biocontrol potential. *Standards in Genomic Sciences*, 11, 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40793-016-0198-y>
- Mora-Quilismal, S. R., Cuaical-Galárraga, E. T., Aguila-Alcantara, E., Puetate-Mejía, L. M., Revelo-Ruales, V. W., Ruiz-Sánchez, M., & García-Bolívar, J. (2021). Biofertilización con bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de la papa. *Cultivos Tropicales*, 42(2), 1-13.
- Narula, N., Deubel, A., Gans, W., Behl, R. K., & Merbach, W. P. S. E. (2006). Paranodules and colonization of wheat roots by phytohormone producing bacteria in soil. *Plant Soil and Environment*, 52(3), 1-11. <https://doi.org/10.17221/3355-PSE>
- Nikolaisen, M., Cornulier, T., Hillier, J., Smith, P., Albanito, F., & Nayak, D. (2023). Methane emissions from rice paddies globally: A quantitative statistical review of controlling variables and modelling of emission factors. *Journal of Cleaner Production*, 409, 137245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137245>
- Oliva-Hernández, A. A., Quiroz-Velásquez, J. D. C., García-Olivares, J. G., García-León, I., Lizarazo-Ortega, C., & Hernández-Mendoza, J. L. (2021). Detection of auxinic compounds in germinating seedlings. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 38(2), 63-74. <https://doi.org/10.22267/rcia.213802.162>
- Palmero, F., Hang, S. B., Lucini, E. I., Bigattón, E. D., Davidenco, V., & Díaz-Zorita, M. (2020). Modificaciones en el crecimiento temprano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en presencia de *Azospirillum brasilense* y de *Pseudomonas psychrophila*. *AgriScientia*, 37(1), 53-62. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v37.n1.27564>
- Paredes-Mendoza, M., Espinosa-Victoria, D., & Zavaleta-Mancera, H. A. (2021). Estudio de metabolitos producidos por bacterias que solubilizan fosfato aislado de la raíz y rizoplasma de gramíneas. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 4944-4949.
- Patten, C. L., & Glick, B. R. (1996). Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(8), 3795-3801. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002>
- Peñañiel-Jaramillo, M., Barrera-Álvarez, A. E., Torres-Navarrete, E. D., Canchignia-Martínez, H. F., Prieto-Encalada, H., & Morante-Cariel, J. (2016). Producción de ácido indol-3-acético por *Pseudomonas veronii* R4 y formación de raíces en hojas de vid "Thompson seedless" in vitro. *Ciencia y Tecnología*, 9, 31-36. <https://doi.org/10.18779/cyt.v9i1.158>
- Pikovskaya, R. (1948). Mobilization of phosphorus in soil in connection with vital activity of some microbial species. *Microbiology*, 17, 362-370.
- Posada-Castaño, A. M., Mejía-Durango, D. P., Polanco-Echeverry, D., & Cardona-Arias, J. A. (2021). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y ambiental*, 12(2), 161-178. <https://doi.org/10.22490/21456453.4040>
- Rajer, F. U., Samma, M. K., Ali, Q., Rajar, W. A., Wu, H., Raza, W., ... & Gao, X. (2022). *Bacillus* spp.-Mediated growth promotion of rice seedlings and suppression of bacterial blight disease under greenhouse conditions. *Pathogens*, 11(11), 1251. <https://doi.org/10.3390/pathogens11111251>
- Rasul, M., Yasmin, S., Zubair, M., Mahreen, N., Yousaf, S., Arif, M., ... & Mirza, M. S. (2019). Phosphate solubilizers as antagonists for bacterial leaf blight with improved rice growth in phosphorus deficit soil. *Biological Control*, 136, 103997. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.05.016>
- Saxena, S., Kumar, R., Tomar, A., Singh, J., & Purushottam, DBP (2020). Isolation, biochemical characterization and potassium solubilization efficiency of different microbial isolates. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(6), 2667-2680. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.906.325>
- Tang, A., Haruna, A. O., Majid, N. M. A., & Jalloh, M. B. (2020). Potential PGPR properties of cellulolytic, nitrogen-fixing, phosphate-solubilizing bacteria in rehabilitated tropical forest soil. *Microorganisms*, 8(3), 442. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030442>
- Timilsina, A., Bizimana, F., Pandey, B., Yadav, R. K. P., Dong, W., & Hu, C. (2020). Nitrous oxide emissions from paddies: understanding the role of rice plants. *Plants*, 9(2), 180. <https://doi.org/10.3390/plants9020180>
- Trujillo, A. T., Manchola, L. V. C., & Santofimio, E. M. J. (2020). Metales en suelos productores de arroz del Distrito Juncal, Huila-Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 50(1y2), 1-12.
- Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., & Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-345. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>
- Vinchira-Villarraga, D. M., & Moreno-Sarmiento, N. (2019). Control biológico: Camino a la agricultura moderna. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 2-5. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.80860>