



UNIVERSIDAD
DE LA GUAJIRA

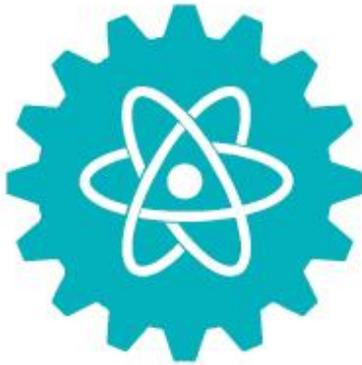
SHIKII EKIRAJIA
PÜLEE WAJIIRA

Vigilado Mineducación

Julio 2024

Diciembre

e-ISSN 2389-9484



Ciencia^e Ingeniería

Revista Interdisciplinaria de Estudios en
Ciencias Básicas e Ingenierías

Volumen 11 | Número 2

Ciencia e Ingeniería

Revista Interdisciplinaria de Estudios en Ciencias
Básicas e Ingenierías
ISSN 2389-9484

Año 2024, julio-diciembre, Vol. 11, N.º 2, e12809495
Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.
Universidad de La Guajira
La Guajira, Riohacha, Colombia
<http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei>
Este documento fue depositado en Zenodo. DOI:
<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.12809495>

Milagros Pérez

<https://orcid.org/0009-0002-1784-2039>
pmilagros891@gmail.com
Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá,
Panamá

Nayelis Domínguez

<https://orcid.org/0009-0001-8298-1417>
nayelisdominguez89@gmail.com
Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá,
Panamá

Alexis de la Cruz

<https://orcid.org/0000-0002-1938-6535>
alexisdela26@gmail.com
Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá,
Panamá

José Rogelio Fung Corro*

<https://orcid.org/0000-0002-3476-3765>
jose.fung@up.ac.pa
Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá,
Panamá

AISLAMIENTO Y USO DE MICROORGANISMOS DE LODOS ACTIVADOS PARA LA FORMACIÓN DE BIOFERTILIZANTES

Isolation and use of microorganisms from activated sludge for the formation of biofertilizers

RESUMEN

Este estudio investigó el potencial de los microorganismos aislados de lodos activados como biofertilizantes para *Phaseolus vulgaris*. Los lodos activados, subproductos del tratamiento de aguas residuales, fueron procesados para aislar y cuantificar microorganismos beneficiosos. Se comparó la eficacia de *Pseudomonas* sp. (aislada de los lodos), *Trichoderma* sp., *Rhizobium* sp., y una mezcla de los tres, frente a un control con agua destilada estéril. La fase experimental involucró 240 semillas de frijol distribuidas en 10 bandejas de 24 pocillos cada una. Los tratamientos se aplicaron cada dos días durante 15 días, evaluando parámetros como crecimiento del tallo, grosor del tallo y cantidad de hojas. Los resultados revelaron diferencias significativas entre los tratamientos. *Pseudomonas* sp. mostró el mayor efecto en el crecimiento del tallo (20,5 cm), mientras que *Trichoderma* sp. promovió el mayor desarrollo radicular (24,0 cm). La mezcla de microorganismos resultó en el mayor crecimiento de hojas (5,5 cm). Los tratamientos individuales con *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp. y *Trichoderma* sp. aumentaron el contenido de agua en las plantas al 90 %, comparado con el 80 % en el control y el mix. Este estudio demuestra el potencial de los microorganismos de lodos activados como biofertilizantes efectivos, ofreciendo una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos.

Palabras clave: biofertilizante, *Phaseolus vulgaris*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, suelos, *Trichoderma*.

ABSTRACT

This study investigated the potential of microorganisms isolated from activated sludge as biofertilizers for *Phaseolus vulgaris*. Activated sludge, a byproduct of wastewater treatment, was processed to isolate and quantify beneficial microorganisms. The efficacy of *Pseudomonas* sp. (isolated from the sludge), *Trichoderma* sp., *Rhizobium* sp., and a mixture of the three was compared against a control with sterile distilled water. The experimental phase involved 240 bean seeds distributed in 10 trays of 24 wells each. Treatments were applied every two days for 15 days, evaluating parameters such as stem growth, stem thickness, and number of leaves. The results revealed significant differences between treatments. *Pseudomonas* sp. showed the greatest effect on stem growth (20.5 cm), while *Trichoderma* sp. promoted the greatest root development (24.0 cm). The mixture of microorganisms resulted in the greatest leaf growth (5.5 cm). Individual treatments with *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp., and *Trichoderma* sp. increased the water content in plants to 90%, compared to 80% in the control and mixture. This study demonstrates the potential of microorganisms from activated sludge as effective biofertilizers, offering a sustainable alternative to chemical fertilizers.

Keywords: biofertilizer, *Phaseolus vulgaris*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, soils, *Trichoderma*.

Recibido: 4 de abril de 2024

Aceptado: 10 de julio de 2024

Publicado: 29 de julio de 2024



INTRODUCCIÓN

Los microorganismos desempeñan un papel fundamental en los sistemas agrícolas, cuya funcionalidad está influenciada por factores bióticos y abióticos. Entre los factores bióticos se encuentran la competencia microbiana, la composición biológica del suelo y las interacciones planta-microorganismo. Los factores abióticos incluyen las condiciones climáticas y las propiedades físico-químicas del suelo (Harman et al., 2004; Compant et al., 2005). Estos factores determinan el tipo de interacción entre los microorganismos y las plantas, influyendo en el desarrollo vegetal (Harman, 2006; Hoitink et al., 2006).

En la búsqueda de alternativas sostenibles para la fertilización agrícola, los lodos activados, subproductos del tratamiento de aguas residuales, han ganado atención como potencial fuente de nutrientes y microorganismos beneficiosos. El tratamiento de estos lodos con microorganismos específicos como *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp. y *Trichoderma* sp. podría potenciar sus propiedades como biofertilizantes (García-Fraile et al., 2015; Berendsen et al., 2012).

La interacción entre microorganismos rizosféricos, como los hongos formadores de micorrizas arbusculares, *Trichoderma* sp. y bacterias del género *Pseudomonas*, conocidos por su capacidad de control biológico y promoción del crecimiento vegetal, depende de complejos factores bióticos y abióticos (Barea et al., 2005; Whipps, 2001). Estas interacciones pueden resultar en efectos sinérgicos, antagónicos o neutros para la planta (Cano, 2011; Martínez et al., 2013).

Las actividades cotidianas del ser humano generan aguas residuales de origen doméstico o industrial. Cada municipio ha implementado diversos procesos tecnológicos para la remoción de los contaminantes presentes, procurando minimizar la cantidad de productos nocivos que puedan poner en riesgo al medio ambiente.

En la Región de Azuero, en la ciudad de Panamá; se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), que consta de varias etapas: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, desinfección y tratamiento de lodos (Martelo & Lara, 2012).

Los lodos activados, compuestos principalmente por agregados microbianos utilizados en la remoción de materia orgánica del agua, contienen una rica comunidad microbiana con potencial aplicación en la agricultura (Bucci et al., 2021). La degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad están estrechamente relacionadas, creando un ciclo de retroalimentación negativa que afecta tanto a los microorganismos del suelo como a su estructura y drenaje (Wall et al., 2015; Palomo et al., 2017).

Entre los microorganismos beneficiosos, *Trichoderma* sp. destaca por su capacidad de control biológico y promoción del crecimiento vegetal. Este hongo produce secreciones que inhiben patógenos, compite por recursos y estimula el desarrollo de las raíces, mejorando la absorción de nutrientes y aumentando la biomasa vegetal (Chirino-Valle et al., 2016; Topolovec-Pintarić, 2019).

La presente investigación se enfoca en evaluar el potencial de microorganismos aislados de lodos activados, específicamente *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp. y *Trichoderma* sp., como alternativa a los fertilizantes químicos en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Estos microorganismos se caracterizan por su capacidad para promover el crecimiento vegetal, mejorar la absorción de nutrientes y contribuir a la restauración del microbioma del suelo (Lugtenberg & Kamilova, 2009; Vessey, 2003; Harman, 2011).

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Aislamiento de microorganismos

Los lodos se recolectaron de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y se procesaron para aislar microorganismos beneficiosos. Se maceró 1 g de lodo y se diluyó en agua destilada estéril, realizando diluciones seriadas. Estas diluciones se sembraron en Se utilizaron medios de cultivo selectivos para el aislamiento y crecimiento de cada microorganismo: Agar Cetrimide para *Pseudomonas* sp., Agar Papa Dextrosa (PDA) para *Trichoderma* sp., y Agar Extracto de Levadura Manitol (YMA) para *Rhizobium* sp. (Figura 1).



Figura 1. Aislamiento de microorganismos a partir del lodo activado de la PTAR.

2.2 Desarrollo del bioensayo

La preparación de los biofertilizantes se llevó a cabo utilizando microorganismos aislados de lodos activados. Se evaluaron cuatro tratamientos: *Pseudomonas* sp., *Trichoderma* sp., *Rhizobium* sp. y una mezcla de los tres microorganismos, comparándolos con un control de agua destilada estéril (Pérez et al., 2018).

Para cada tratamiento, se inocularon los microorganismos en tubos falcón con 50 mL de caldo nutritivo estéril ($\text{pH } 7,0 \pm 0,2$) y se incubaron a $28\text{ }^\circ\text{C}$ durante 72 horas en un agitador orbital a 150 rpm (García-Fraile et al., 2015). Después de la incubación, cada cultivo se diluyó en 450 mL de solución salina estéril (0,85 % NaCl) para obtener una concentración final de aproximadamente 10^8 UFC mL^{-1} , verificada mediante recuento en placa (Vessey, 2003).

El experimento inicial se realizó en condiciones de invernadero controladas, con una temperatura diurna de $25 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ y nocturna de $18 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$, humedad relativa del 60-70 %, y un fotoperíodo de 16 horas de luz y 8 de oscuridad (Martínez et al., 2018). Se utilizaron semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) desinfectadas superficialmente con hipoclorito de sodio al 2 % durante 3 minutos y enjuagadas con agua destilada estéril (Lugtenberg & Kamilova, 2009).

Las semillas se sembraron en semilleros plásticos de 20x20x20 cm, con una mezcla de sustrato estéril compuesto por turba, vermiculita y perlita (2:1:1 v/v/v) (Figura 2). Se aplicaron 50 mL de cada tratamiento de biofertilizante por cubetas dos veces por semana durante las primeras 2 semanas (Cano, 2011).



Figura 2. Siembra de semillas de *Phaseolus vulgaris*.

Después de 15 días de la etapa experimental en invernadero, se seleccionaron 8 plantas de cada tratamiento, incluyendo el control, para su trasplante al campo. Se preparó una parcela de 1 x 1,5 metros, arando el suelo para asegurar condiciones óptimas de crecimiento. Las plantas seleccionadas se trasplantaron a esta área para observar su desarrollo en condiciones de campo (Chirino-Valle et al., 2016) (Figura 3)



Figura 3. Plantas de *Phaseolus vulgaris* en terreno.

Durante toda la fase experimental, tanto en invernadero como en campo, se evaluaron parámetros de crecimiento como altura de la planta, número de hojas, área foliar, longitud de raíz, y biomasa seca de la parte aérea y raíz (Wall et al., 2015). La fase de campo permitió evaluar el desempeño de las plantas tratadas con los diferentes biofertilizantes en condiciones más cercanas a las de cultivo real.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El experimento mostró un desarrollo generalmente positivo en las plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) bajo los diferentes tratamientos de biofertilizantes. De las 240 semillas sembradas inicialmente, 217 (90,4 %) germinaron y se desarrollaron hasta la etapa de evaluación.

La distribución del crecimiento entre los diferentes tratamientos mostró variaciones notables. El tratamiento control, utilizando agua destilada estéril, resultó en 33 plantas supervivientes, lo que representa una tasa del 68,75 %. En contraste, los tratamientos individuales con *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp., y *Trichoderma* sp. exhibieron un rendimiento óptimo, con 48 plantas cada uno, alcanzando una tasa de supervivencia del 100 %. Esto sugiere un efecto positivo significativo de estos microorganismos en el desarrollo de las plantas de frijol. La mezcla de los tres microorganismos produjo un resultado intermedio, con 40 plantas supervivientes, equivalente a una tasa de supervivencia del 83,33 %. Estos resultados indican que, si bien todos los tratamientos con microorganismos superaron al control, los tratamientos individuales fueron más efectivos que la mezcla en términos de supervivencia de las plantas.

Estos resultados sugieren que los tratamientos con microorganismos individuales (*Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp., y *Trichoderma* sp.) tuvieron un impacto positivo significativo en la supervivencia y desarrollo de las plantas de frijol en comparación con el control. Este hallazgo está en línea con estudios previos que han demostrado los efectos beneficiosos de estos microorganismos en el crecimiento de las plantas (Vessey, 2003; Lugtenberg & Kamilova, 2009).

La tasa de supervivencia del 100 % observada en los tratamientos con microorganismos individuales podría atribuirse a varios factores. *Pseudomonas* sp. es conocida por su capacidad para producir sideróforos y solubilizar fosfatos, mejorando la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Compant et al., 2005). *Rhizobium* sp., por su parte, forma nódulos en las raíces de las leguminosas, facilitando la fijación de nitrógeno atmosférico (García-Fraile et al., 2015). *Trichoderma* sp. ha demostrado mejorar el crecimiento de las raíces y la resistencia a enfermedades en diversas especies de plantas (Harman, 2006).

Curiosamente, la mezcla de los tres microorganismos resultó en una tasa de supervivencia ligeramente menor (83,33 %) que los tratamientos individuales, pero aún superior al control. Esta observación podría sugerir posibles interacciones complejas entre los microorganismos cuando se aplican en conjunto, como han señalado estudios anteriores (Cano, 2011; Martínez et al., 2013).

El grupo control mostró la menor tasa de supervivencia (68,75 %), lo que resalta el impacto positivo de los biofertilizantes derivados de lodos activados en el desarrollo de las plantas de frijol.

Estos resultados preliminares son prometedores y sugieren que los microorganismos aislados de lodos activados, particularmente *Pseudomonas* sp., así como las cepas comerciales de *Rhizobium* sp. y *Trichoderma* sp., tienen un potencial significativo como biofertilizantes para mejorar el crecimiento y la supervivencia de las plantas de frijol. Sin embargo, se requieren análisis estadísticos más detallados y la evaluación de parámetros adicionales de crecimiento y rendimiento para confirmar estas observaciones iniciales.

Los resultados del experimento revelaron efectos variados de los diferentes tratamientos microbianos en el crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris*. El análisis de los datos de crecimiento del tallo, largo de las hojas y cantidad de hojas, representados en gráficas de caja y bigotes (Figura 4), no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Sin embargo, se observaron tendencias interesantes que merecen un análisis más detallado.

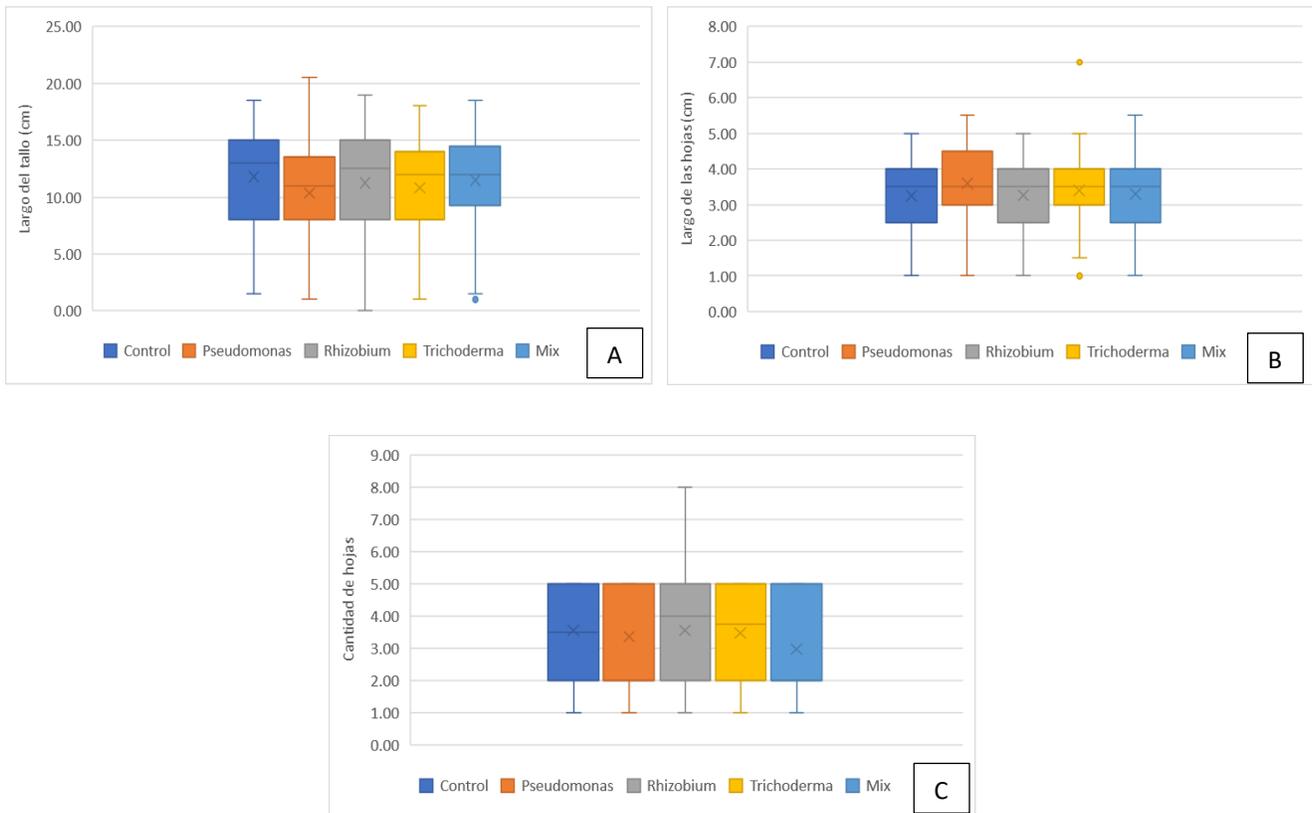


Figura 4. Análisis de los datos del bioensayo, de crecimiento y desarrollo de las plantas de *Phaseolus vulgaris*. (A) largo del tallo, (B) largo de las hojas y (C) cantidad de hojas.

En cuanto al crecimiento del tallo, aunque las medianas fueron similares entre los tratamientos, se observó una mayor variabilidad en algunos grupos. Esta variabilidad podría atribuirse a la respuesta diferencial de las plantas individuales a los microorganismos, un fenómeno que ha sido documentado en estudios previos (Vessey, 2003). El largo de las hojas mostró una tendencia similar, con una mayor variación en los tratamientos con *Pseudomonas* sp. y la mezcla de microorganismos. Esto sugiere que estos tratamientos podrían tener un efecto más pronunciado en el desarrollo foliar, posiblemente debido a la producción de fitohormonas o la mejora en la absorción de nutrientes (Lugtenberg & Kamilova, 2009).

La cantidad de hojas presentó una distribución interesante, con *Rhizobium* sp. mostrando un rango significativamente más amplio que los demás tratamientos. Este resultado podría estar relacionado con la capacidad de *Rhizobium* sp. para fijar nitrógeno, proporcionando así un suministro adicional de este nutriente esencial para el crecimiento foliar (García-Fraile et al., 2015).

Los datos cuantitativos presentados en la Tabla 1 proporcionan una visión más detallada de los efectos de los tratamientos. El tratamiento con *Pseudomonas* sp. resultó en el mayor crecimiento del tallo (20,5 cm), mientras que *Trichoderma* sp. promovió el mayor crecimiento de las raíces (24,0 cm). Estos resultados son consistentes con estudios previos que han demostrado los efectos beneficiosos de *Pseudomonas* sp. en el crecimiento de la parte aérea y de *Trichoderma* sp. en el desarrollo radicular (Harman, 2006; Compant et al., 2005).

Tabla 1. Comparación del crecimiento de tallos, hojas y raíces de *Phaseolus vulgaris* bajo diferentes tratamientos.

Tratamiento	Largo del tallo (cm)	Largo de las hojas (cm)	Largo de las raíces (cm)
Control	16,8	5,0	18,0
<i>Pseudomonas</i> sp.	20,5	5,3	22,0
<i>Rhizobium</i> sp.	18,5	5,1	21,0
<i>Trichoderma</i> sp.	18,0	5,2	24,0
Mix	17,8	5,5	19,0

El análisis del peso fresco y seco de las plantas (Tabla 2) reveló que, aunque el peso seco fue constante entre los tratamientos, el peso fresco fue mayor en las plantas tratadas con *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp. y *Trichoderma* sp. en comparación con el control y la mezcla. Esto sugiere que estos microorganismos podrían estar mejorando la capacidad de las plantas para absorber y retener agua, un factor crucial para el crecimiento vegetal (Vessey, 2003).

 Tabla 2. Peso de las plantas de *Phaseolus vulgaris* bajo diferentes tratamientos.

Peso de las plantas					
	Control	<i>Pseudomonas</i> sp.	<i>Rhizobium</i> sp.	<i>Trichoderma</i> sp.	MIX
Peso húmedo	1,0 g	2,0 g	2,0 g	2,0 g	1,0 g
Peso seco	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Los datos de contenido de agua y materia seca (Tabla 3) corroboran esta observación, mostrando un 90% de contenido de agua en las plantas tratadas con *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp. y *Trichoderma* sp., en comparación con el 80 % en la mezcla frente al control. Este aumento en el contenido de agua podría estar relacionado con la producción de exopolisacáridos por parte de estos microorganismos, que pueden mejorar la retención de agua en la rizosfera (Sandhya et al., 2009).

 Tabla 3. Porcentaje de agua y de materia seca en la planta de *Phaseolus vulgaris* bajo diferentes tratamientos

Peso de las plantas					
	Control	<i>Pseudomonas</i> sp.	<i>Rhizobium</i> sp.	<i>Trichoderma</i> sp.	MIX
Contenido de agua	80 %	90 %	90 %	90 %	80 %
Materia seca	20 %	10 %	10 %	10 %	20 %

Es interesante notar que el tratamiento con la mezcla de microorganismos no mostró un rendimiento superior a los tratamientos individuales en varios parámetros. Esto podría deberse a interacciones complejas entre los microorganismos, que podrían estar compitiendo por recursos o produciendo compuestos que inhiben mutuamente sus efectos beneficiosos (Martínez et al., 2013).

En conjunto, estos resultados subrayan el potencial de los microorganismos derivados de lodos activados como biofertilizantes para mejorar el crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris*. Sin embargo, se requieren más estudios para comprender completamente los mecanismos subyacentes a estos efectos y optimizar las formulaciones de biofertilizantes para su uso en la agricultura sostenible.

Los resultados de este estudio demuestran el potencial de los microorganismos aislados de lodos activados como biofertilizantes efectivos para *Phaseolus vulgaris*. El tratamiento con *Pseudomonas* sp. mostró un impacto positivo en el crecimiento general de la planta, presentando el mayor crecimiento del tallo (20,5 cm) y un desarrollo significativo de las raíces (22,0 cm). Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas que destacan los beneficios de *Pseudomonas* sp. en la promoción del crecimiento vegetal y la supresión de patógenos (Lugtenberg & Kamilova, 2009; Gouda et al., 2018).

Trichoderma sp. demostró ser particularmente efectivo en la promoción del crecimiento radicular, alcanzando la mayor longitud de raíces (24,0 cm) entre todos los tratamientos. Esto respalda estudios anteriores sobre la capacidad de *Trichoderma* sp. para mejorar el desarrollo radicular y la salud general de las plantas (Harman, 2006; López-Bucio et al., 2015).

Es interesante notar que, aunque el tratamiento mixto no superó a los tratamientos individuales en el crecimiento del tallo y las raíces, sí mostró el mayor crecimiento en el largo de las hojas (5,5 cm). Esto sugiere que la combinación de microorganismos puede tener efectos sinérgicos en ciertos aspectos del desarrollo vegetal, aunque también podría implicar interacciones complejas que requieren mayor investigación (Martínez et al., 2013; Woo et al., 2014).

Los datos de peso fresco y contenido de agua revelan que los tratamientos con *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp. y *Trichoderma* sp. resultaron en un mayor contenido de agua en las plantas (90 %) en comparación con el control y el tratamiento mixto (80 %). Esto indica una mejora en la capacidad de las plantas para absorber y retener agua, un factor crucial para el crecimiento vegetal (Vessey, 2003; Sandhya et al., 2009).

En general, este estudio proporciona evidencia del potencial de los microorganismos aislados de lodos activados como biofertilizantes efectivos para *Phaseolus vulgaris*. Cada microorganismo mostró beneficios específicos: *Pseudomonas* sp. en el crecimiento del tallo, *Trichoderma* sp. en el desarrollo radicular, y la mezcla en el crecimiento foliar. El uso de estos microorganismos podría representar una alternativa sostenible y económica a los fertilizantes químicos, contribuyendo a la mejora de la productividad agrícola y la reducción del impacto ambiental (Bhardwaj et al., 2014; Malusá et al., 2016). Sin embargo, se requieren más investigaciones para optimizar las combinaciones de microorganismos y comprender completamente los mecanismos subyacentes a sus efectos beneficiosos (Timmusk et al., 2017).

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra el potencial de los microorganismos aislados de lodos activados como biofertilizantes para *Phaseolus vulgaris*. Los resultados obtenidos resaltan la eficacia de diferentes tratamientos microbianos en la promoción del crecimiento y desarrollo de las plantas.

Pseudomonas sp. mostró un efecto particularmente positivo en el crecimiento del tallo, alcanzando la mayor longitud (20,5 cm) entre todos los tratamientos.

Trichoderma sp. demostró ser altamente efectivo en la promoción del crecimiento radicular, logrando la mayor longitud de raíces (24,0 cm).

El tratamiento con la mezcla de microorganismos resultó en el mayor crecimiento de las hojas (5,5 cm), sugiriendo posibles efectos sinérgicos entre los diferentes microorganismos en ciertos aspectos del desarrollo vegetal.

Los tratamientos con *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp. y *Trichoderma* sp. individualmente resultaron en un mayor contenido de agua en las plantas (90 %) en comparación con el control y el tratamiento mixto (80 %), indicando una mejora en la capacidad de las plantas para absorber y retener agua.

A pesar de los prometedores resultados obtenidos en condiciones controladas, es crucial reconocer la necesidad de futuras investigaciones para validar y expandir estos hallazgos. Se requieren estudios que evalúen el desempeño de estos biofertilizantes en condiciones de campo, considerando diversos factores ambientales y tipos de suelo. Además, es importante profundizar en las interacciones entre los microorganismos presentes en los lodos activados, optimizar las formulaciones y métodos de aplicación para su uso práctico, e investigar los mecanismos moleculares subyacentes a los efectos beneficiosos observados.

LITERATURA CITADA

- Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcón, R. & Azcón-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 56(417), 1761-1778.
- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K. & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13(1), 66.
- Berendsen, R. L., Pieterse, C. M. & Bakker, P. A. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*, 17(8), 478-486.
- Bucci, P. L. (2021). Remoción simultánea de nitrógeno y carbono orgánico en SBR usando la tecnología de granulación aeróbica (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 15-31.
- Chirino-Valle, I., Kandula, D., Littlejohn, C., Hill, R., Walker, M., Shields, M. & Hampton, J. (2016). Potential of the beneficial fungus *Trichoderma* to enhance ecosystem-service provision in the biofuel grass *Miscanthus × giganteus* in agriculture. *Plant and Soil*, 403(1), 409-424.
- Chirino-Valle, I., Kandula, D., Littlejohn, C., Hill, R., Walker, M., Shields, M., Cummings, N., Hettiarachchi, D. & Wratten, S. (2016). Potential of the beneficial fungus *Trichoderma* to enhance ecosystem-service provision in the biofuel grass *Miscanthus × giganteus* in agriculture. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep25109>

- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C. & Barka, E. A. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 4951-4959.
- García-Fraile, P., Menéndez, E. & Rivas, R. (2015). Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. *AIMS Bioengineering*, 2(3), 183-205.
- Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H. S. & Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, 206, 131-140.
- Harman, G. E. (2006). Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, 96(2), 190-194.
- Harman, G. E. (2011). Multifunctional fungal plant symbionts: new tools to enhance plant growth and productivity. *New Phytologist*, 189(3), 647-649.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I. & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43-56.
- Hoitink, H. A. J., Madden, L. V. & Dorrance, A. E. (2006). Systemic resistance induced by *Trichoderma* spp.: Interactions between the host, the pathogen, the biocontrol agent, and soil organic matter quality. *Phytopathology*, 96(2), 186-189.
- Hoitink, H. A. J. (1993). Mechanisms of suppression of soilborne plant pathogens in compost amended substrates. *Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects*, 601-621.
- López-Bucio, J., Pelagio-Flores, R. & Herrera-Estrella, A. (2015). *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. *Scientia Horticulturae*, 196, 109-123.
- Lugtenberg, B. & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541-556.
- Malusá, E., Sas-Paszt, L. & Ciesielska, J. (2012). Technologies for beneficial microorganisms inocula used as biofertilizers. *The Scientific World Journal*, 2012.
- Martínez, L. B., Araque, Y. & Bautista, D. M. (2013). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 449-457.
- Martelo, J. & Lara Borrero, J. A. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y ciencia*, 8(15), 221-243.
- Palomo, I. (2017). Climate change impacts on ecosystem services in high mountain areas: a literature review. *Mountain Research and Development*, 37(2), 179-187.
- Pérez, A., Rojas, J. & Vale, H. (2018). Biofertilización en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferentes dosis de fertilizante microbiológico en condiciones de campo. *Centro Agrícola*, 45(1), 27-33.
- Topolovec-Pintarić, S. (2019). *Trichoderma*: Invisible Partner for Visible Impact on Agriculture. *IntechOpen*, 20.

- Sandhya, V., Ali, S. Z., Grover, M., Reddy, G. & Venkateswarlu, B. (2009). Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by the exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain GAP-P45. *Biology and Fertility of Soils*, 46(1), 17-26.
- Timmusk, S., Behers, L., Muthoni, J., Muraya, A. & Aronsson, A. C. (2017). Perspectives and challenges of microbial application for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, 8, 49.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571-586.
- Wall, D. H., Nielsen, U. N. & Six, J. (2015). Soil biodiversity and human health. *Nature*, 528(7580), 69-76.
- Whipps, J. M. (2001). Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 52(suppl_1), 487-511.
- Woo, S. L., Ruocco, M., Vinale, F., Nigro, M., Marra, R., Lombardi, N., Pascale, A., Lanzuise S., Manganiello G. & Lorito, M. (2014). *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. *The Open Mycology Journal*, 8(1).

BIODATA

Milagros Pérez: Licenciada en Biología de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología en la Universidad De Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá.

Nayelis Domínguez: Licenciada en Biología de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología en la Universidad De Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá.

Alexis de la Cruz: Docente investigador en Microbiología. coordinador de la Escuela de Microbiología en el Centro Regional Universitario de Azuero, Universidad de Panamá. Se desempeñó como Jefe del Departamento de Calidad de Agua En el Ministerio de Salud, Los Santos, Panamá. Doctorado en Investigación, mención Ciencias Ambientales (Microbiología y Parasitología).

José Rogelio Fung Corro: Docente investigador del Centro de Tecnologías Aplicadas Shen Kuo. Fundador del grupo de Investigación Ciencia, Tecnología y Sistemas Informáticos. Investigador en Lenguajes de Programación, Nomenclatura de Ciencia y Tecnología de la UNESCO. Investigación y conocimientos en Sistemas de Información en entornos empresariales, ingeniería y tecnología, inteligencias de negocios, computación móvil en salud, tecnologías en educación, calidad de software. Instructor académico en la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Madrid. Presidente de la Comisión de Plataformas Virtuales y Tecnologías de Información y Comunicación con la Universidad de Panamá, ciudad de Panamá, Panamá. Master en las Tic's, Universidad Especializada de Américas, Panamá.