



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS

AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

**IDENTIFICACIÓN DE DIVERSAS CEPAS DEL GÉNERO
TRICHODERMA POR SU CAPACIDAD COMO
SOLUBILIZADORAS DE POTASIO, FÓSFORO Y FIJADORAS DE
NITRÓGENO MEDIANTE TÉCNICAS BIOQUÍMICAS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

AUTOR: CRESPO TROYA GONZALO GENARO

DIRECTOR: Biol., SALAZAR ORELLANA MARJORIE JAZMIN

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS**

CARRERA DE AGRONOMÍA

IDENTIFICACIÓN DE DIVERSAS CEPAS DEL GÉNERO
TRICHODERMA POR SU CAPACIDAD COMO SOLUBILIZADORAS
DE POTASIO, FÓSFORO Y FIJADORAS DE NITRÓGENO
MEDIANTE TÉCNICAS BIOQUÍMICAS

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

AUTOR: CRESPO TROYA GONZALO GENARO

DIRECTOR: Biol., SALAZAR ORELLANA MARJORIE JAZMIN

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Identificación de diversas cepas del género *Trichoderma* por su capacidad como solubilizadoras de Potasio, Fósforo y fijadoras de Nitrógeno mediante técnicas bioquímicas

Gonzalo Genaro Crespo Troya

Universidad Católica de Cuenca

Unidad de titulación

Biol., Marjorie Jazmin Salazar Orellana

20 de agosto de 2024

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Gonzalo Genaro Crespo Troya**, declaro bajo juramento que el artículo denominado **“Identificación de diversas cepas del género Trichoderma por su capacidad como solubilizadoras de Potasio, Fósforo y fijadoras de Nitrógeno mediante técnicas bioquímicas”**, es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

En consecuencia, este trabajo es de mi autoría

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Cuenca, agosto de 2024



Gonzalo Genaro Crespo Troya

CERTIFICACIÓN

Yo, **Marjorie Jazmin Salazar Orellana**, certifico que el artículo titulado “**Identificación de diversas cepas del género Trichoderma por su capacidad como solubilizadoras de Potasio, Fósforo y fijadoras de Nitrógeno mediante técnicas bioquímicas**”, fue desarrollado por **Gonzalo Genaro Crespo Troya**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad Católica de Cuenca.

Debido que es una investigación particular con el propósito de cumplir un requisito previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo.

Cuenca, agosto de 2024



Firmado
digitalmente
por MARJORIE
JAZMIN
SALAZAR
ORELLANA

Biol., Marjorie Jazmin Salazar Orellana

Tutora

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

RESUMEN

Este estudio evaluó el potencial de diferentes cepas de *Trichoderma* para solubilizar potasio (K) y fósforo (P), así como su capacidad para fijar nitrógeno (N), con el objetivo de desarrollar aplicaciones agrícolas sostenibles y regenerativas. Las cepas se cultivaron en medios específicos (Pikovskaya y NBRIP), y los resultados mostraron que *Trichoderma* sp se destacó por su alta capacidad de solubilización de K y P ($r = 0,85$, $p < 0,01$), aunque su capacidad de fijación de N fue leve. Por otro lado, *T. neokoningii* y *T. harzianum* exhibieron una buena capacidad de solubilización de K y P, pero una limitada capacidad de fijación de N. Mientras que *T. neokoningii* sobresalió en la solubilización de K en el medio Pikovskaya, *T. atroviride* mostró una notable capacidad para solubilizar P en el medio NBRIP y una capacidad de fijación de N de leve a moderada. El análisis de datos estadísticos se dio mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis reveló diferencias significativas entre las cepas en su capacidad de solubilización de K y P ($p < 0,05$). En general, el estudio demostró que las cepas de *Trichoderma* poseen un alto potencial para solubilizar nutrientes y fijar nitrógeno, aunque es necesario evaluar cuidadosamente la composición del medio y las condiciones de cultivo para optimizar su función. La implementación de estas cepas en la agricultura puede tener un impacto positivo en la mejora de la calidad edáfica y reducir la necesidad de insumos fertilizantes sintéticos.

Palabras clave: *Trichoderma*, solubilización, nutrientes, nitrógeno, potasio, fósforo.

ABSTRACT

This study evaluated the potential of different strains to solubilize potassium (K) and phosphorus (P), as well as their ability to fix nitrogen (N), to develop sustainable and regenerative agricultural applications. The strains were cultivated in specific media (Pikovskaya and NBRIP), and the results showed that *Trichoderma* sp. excelled in its high capacity for K and P solubilization ($r = 0.85$, $p < 0.01$); however, its N fixation ability was mild. On the other hand, *T. neokoningii* and *T. harzianum* demonstrated a good capacity for K and P solubilization but limited ability for N fixation. While *T. neokoningii* excelled in K solubilization in the Pikovskaya medium, *T. atroviride* showed a remarkable ability to solubilize P in the NBRIP medium and exhibited a light to moderate N fixation capacity. The statistical data analysis using the non-parametric Kruskal-Wallis test revealed significant differences among the strains in their ability to solubilize K and P ($p < 0.05$). Overall, the study demonstrated that *Trichoderma* strains have a high potential to solubilize nutrients and fix nitrogen, although it is necessary to carefully evaluate the medium composition and cultivation conditions to optimize their function. Implementing these strains in agriculture can positively impact soil quality and reduce the need for synthetic fertilizer inputs.

Keywords: *Trichoderma*, solubilization, nutrients, nitrogen, potassium, phosphorus.

1. INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo es un problema importante a nivel mundial, que se produce como resultado de perturbaciones tanto naturales como humanas. Estos procesos pueden manifestarse en forma de agotamiento de nutrientes y materia orgánica, erosión, acidificación, desertificación y contaminación, lo que implica una pérdida de calidad y su capacidad productiva (Zhao *et al.*, 2021). Además, el cambio climático puede exacerbar estos problemas al incrementar la ocurrencia y severidad de sequías e inundaciones, lo que puede acelerar la degradación de los suelos agrícolas (Nearing *et al.*, 2004).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), más de dos mil millones de hectáreas de tierras que alguna vez fueron productivas se han degradado (FAO, 2020). La FAO identificó la degradación del suelo como un desafío importante que requiere acciones urgentes, especialmente en un escenario de creciente necesidad de alimentos, piensos, fibras y su efecto en la productividad de la tierra. El Ecuador es conocido por su gran variedad y riqueza de recursos naturales, incluyendo suelos volcánicos con gran capacidad agrícola y una variedad de climas en un área relativamente pequeña. Desde temprano, los humanos han sabido aprovechar estas condiciones favorables para desarrollar una agricultura próspera, caracterizada por una diversidad de producciones que van desde productos tropicales hasta productos de clima templado (Mora, 2021).

La erosión ha ido afectando gradualmente a los suelos agrícolas del Ecuador, un problema que ha sido descuidado por los seres desde la conquista hispánica. La estabilidad geomorfológica del territorio ecuatoriano, que ya es vulnerable en su estado natural debido a las condiciones climáticas agresivas y la configuración geográfica irregular, ha experimentado una creciente perturbación alterada por las actividades agrícolas humanas (Toledo *et al.*, 2023).

En Ecuador, esta erosión es un problema importante, con dos áreas principales que experimentan diferentes tipos de degradación. La primera área es la vegetación natural que cubre alrededor del 60% de la superficie terrestre del país, lo que conlleva una disminución significativa de los recursos naturales, incluyendo la biodiversidad, el agua y la calidad del suelo. Esta pérdida

de biodiversidad tiene un impacto directo en la regeneración y continuidad de los ciclos y servicios ecológicos. La segunda área son los paisajes agrícolas y urbanos, que cubren alrededor del 40% de la superficie terrestre del país y están sujetos a degradación inducida por el hombre debido a malas prácticas de gestión (Segarra, 2017).

Álvarez *et al.*, (2023) en su estudio mostraron una expansión de la superficie agrícola en la región andina en un 15%, especialmente por encima de los 3500 msnm, y en la región amazónica en un 57% durante el período analizado, reflejando un crecimiento continuo de la explotación del suelo con propósito agrícola.

Para abordar este problema, la FAO ha establecido la iniciativa RECSOIL: Recarbonización de suelos globales, cuyo objetivo es apoyar a los agricultores en la implementación de prácticas sostenibles de gestión del suelo y mejorar las reservas de carbono orgánico del suelo (Tudela, 2021). La adaptabilidad de *Trichoderma* a diversas condiciones ambientales y su capacidad para aumentar la tolerancia de las plantas a estrés térmico e hídrico lo convierten en una herramienta clave para fortalecer la agricultura en respuesta a los desafíos climáticos. La colonización de la rizosfera por *Trichoderma* desencadena respuestas de defensa en las plantas a nivel local y sistémico, lo que contribuye a mitigar los procesos de degradación edáfica y potenciar la resistencia de las plantas a los estresores bióticos (Asghar *et al.*, 2024).

El hongo *Trichoderma* se perfila como una solución prometedora para abordar la degradación del suelo en Ecuador debido a sus múltiples beneficios al mejorar la calidad y productividad del suelo. Aumentando la disponibilidad lo convierten en un valioso aliado para la implementación de prácticas de gestión sostenible del suelo (Tyśkiewicz, 2022). Para evaluar su potencial, es necesario investigar su capacidad para solubilizar nutrientes y fijar Nitrógeno en diferentes medios de cultivo. En este estudio en particular, se busca identificar la capacidad de solubilización de Potasio (K) y Fósforo (P) y fijación de Nitrógeno (N) de 6 diferentes cepas de *Trichoderma* en medios de cultivo específicos.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

El género *Trichoderma* pertenece al reino Fungi y se clasifica dentro de la división *Ascomycota*, que comprende a los hongos ascomicetos los cuales establecen simbiosis con plantas, caracterizándose por ser oportunistas y no patógenos. (Hjeljord *et al.*, 1998). Presentan una relevancia ecológica significativa en la cadena trófica, dado que catalizan.

Presentan una relevancia ecológica significativa en la cadena trófica, dado que catalizan la biodegradación de los productos desecho del carbono en suelos oligotróficos, lo que facilita la liberación de nutrientes. (Vinale *et al.*, 2008). La determinación taxonómica de *Trichoderma* y sus congéneres se ve obstaculizada por la notable heterogeneidad morfológica y la variabilidad genética que caracteriza a este grupo de hongos, lo que dificulta la delimitación precisa de las especies y la inferencia de sus relaciones filogenéticas (Druzhinina & Kubicek, 2005).

Se necesita una identificación concreta de los hongos para todas las investigaciones y aplicaciones micológicas. La identificación es una herramienta que nos permite predecir propiedades beneficiosas o patógenas de cepas de hongos individuales, monitorear su distribución y establecer medidas de seguridad (Schoch *et al.*, 2012).

Hace seis décadas atrás una cepa de *Trichoderma* obtuvo un alto reconocimiento por ser una cepa con una alta eficiencia de enzimas degradantes de biomasa vegetal. Un par de décadas después (*T. atroviride*, *T. virens*, *T. harzianum* entre otros) fueron identificados como potentes bioefectores (Harman *et al.*, 2004).

Estudios como el de Tandon *et al.*, (2020) han demostrado que ciertas cepas de *Trichoderma* tienen la habilidad de liberar Potasio y fosfatos en el sustrato, lo que puede mejorar la accesibilidad de estos nutrientes para el crecimiento vegetal, destacando la importancia de la solubilización de P en la agricultura sostenible, especialmente en condiciones de estrés abiótico como sequía, salinidad, alcalinidad y sodicidad.

En la actualidad, las diversas cepas de *Trichoderma* han demostrado habilidades multifuncionales, incluyendo la solubilización y fijación de nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal. En términos de biotecnología, el estudio de *Trichoderma* spp implica la preparación de matrices de crecimiento, el aislamiento, la caracterización de cepas y la evaluación

de sus propiedades funcionales. Bononi *et al.*, (2020) en su artículo demostró que el *Trichoderma* posee un potencial significativo para solubilizar fósforo en el suelo, con un porcentaje del 19.5% de las cepas aisladas capaces de llevar a cabo este proceso. Además, estas cepas producen diferentes ácidos orgánicos durante la solubilización, lo que ayuda a incrementar la biodisponibilidad de Fósforo para el desarrollo vegetal, promoviendo así el crecimiento de la soja de manera efectiva.

La eficacia de las especies de *Trichoderma* para fijar nitrógeno en diferentes suelos depende de la cepa específica y de las condiciones edáficas específicas, ya que algunas cepas de *Trichoderma* han demostrado ser más efectivas en suelos con déficit de nitrógeno (Eman *et al.*, 2021). Oljira *et al.*, (2020) menciona que los aislados de *Trichoderma* pueden producir enzimas hidrolíticas, lo que puede ayudar a liberar nutrientes inorgánicos del suelo y hacerlos disponibles para las plantas. También los aislados de *Trichoderma* pueden influir en la actividad biogeoquímica en el suelo, lo que puede afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

2.1 Generalidades

El hongo *Trichoderma* ha ganado reconocimiento en el ámbito de la agricultura sostenible debido a su capacidad para actuar como agente de control biológico contra una amplia gama de patógenos y promotor de crecimiento vegetal, Este hongo, presente en suelos de todo el mundo, son reconocidos por sus mecanismos de acción, su interacción con las plantas-patógenos, su potencial para mejorar la salud de los cultivos y el rendimiento agrícola (Sood *et al.*, 2020).

2.1.1 Mecanismos de Acción de *Trichoderma*

Emplea diversos mecanismos directos e indirectos para suprimir patógenos y fomentar el desarrollo y la vitalidad vegetal. Entre estos mecanismos se incluyen la antibiosis, mediante la cual producen metabolitos secundarios con propiedades antifúngicas; el micoparasitismo, que implica el ataque directo y la degradación de patógenos; la rivalidad por recursos y nutrientes, limitando así los nutrientes esenciales para la supervivencia de los patógenos; la activación de mecanismos de defensa en las plantas, mejorando su capacidad para defenderse contra futuros ataques de patógenos (Johnson, 2019).

Woo *et al.*, (2023) señala que *Trichoderma* puede solubilizar fosfatos minerales, teniendo

disponibles para la absorción de las plantas, y que también puede producir sideróforos, que son compuestos que quelan el hierro y lo ponen a disposición de las plantas. Además, *Trichoderma* puede formar asociaciones mutualistas con los sistemas radiculares de las plantas, conocidas como micorrizas. En estas asociaciones, *Trichoderma* proporciona nutrientes y protección a la planta, a cambio, la planta proporciona carbohidratos y otros nutrientes al hongo. Estas asociaciones pueden mejorar la asimilación de nutrientes y el desarrollo vegetal.

2.1.2 Importancia ecológica

Trichoderma posee una amplia gama de enzimas capaces de descomponer eficientemente diversos tipos de residuos orgánicos. Estas enzimas incluyen celulasas, hemicelulasas, ligninasas, pectinasas, entre otras, que actúan sinérgicamente para degradar los principales componentes de la biomasa vegetal (Castiglia, 2016). Este hongo puede mejorar la fertilidad del suelo y la salud de las plantas mediante la degradación de residuos orgánicos y la solubilización de nutrientes, lo que contribuye a sistemas de producción agrícola más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

2.2 Reciclaje de nutrientes

La calidad del suelo es un factor crítico para la producción agrícola y la seguridad alimentaria. Sin embargo, la degradación del suelo y la disminución de la calidad del suelo son problemas crecientes. La deficiencia de nutrientes esenciales como el Potasio (K), Fósforo (P) y Nitrógeno (N) en el suelo puede restringir el desarrollo vegetal y reducir la producción agrícola. *Trichoderma* puede liberar nutrientes esenciales como Nitrógeno, Fósforo, Potasio y micronutrientes, que quedan disponibles para ser absorbidos por las plantas (Hoitink & Boehm, 2001). Este fenómeno de liberación de nutrientes es crucial para preservar la calidad y la salud del suelo, previniendo la escasez de nutrientes (Altomare *et al.*, 1999).

2.2.1 Mejora de la estructura del suelo y aumento de la aireación

La descomposición de estructuras de los residuos orgánicos por *Trichoderma* genera compuestos húmicos y polisacáridos que mejoran la estructura y textura del terreno. Lo que mejora la permeabilidad, la capacidad de retención de agua y la biodiversidad de otros organismos edáficos beneficiosos (Harman *et al.*, 2006).

El desarrollo de estructuras sólidas en el terreno gracias a la actividad de *Trichoderma* forma una matriz de poros y cavidades que optimiza la circulación de aire y agua (Hoitink & Boehm, 2001). La mejora de la ventilación del terreno fomenta la actividad microbiana y previene la compactación, lo que beneficia el desarrollo de las raíces (Harman *et al.*, 2004).

2.3 Aplicaciones en Agricultura Sostenible

El uso de *Trichoderma* en la agricultura sostenible se ha intensificado gracias a su eficacia en su habilidad para estimular el desarrollo vegetal. Su aplicación no solo ayuda a reducir la dependencia de productos químicos sintéticos, sino que también contribuye a la mejora de la calidad del terreno y la riqueza ecológica (Companioni *et al.*, 2019).

2.4 Medios, tratamientos para solubilización por *Trichoderma*.

El medio de Pikovskaya contiene fosfatos insolubles dentro de su composición que permiten detectar la capacidad de solubilización de estos compuestos mediante un viraje colorimétrico del indicador de pH, de tonalidad rosada, amarilla. Aunque no está diseñado específicamente para evaluar la solubilización de Potasio (K) (Mehta & Nautiyal, 2001). Por otro lado, el medio NBRIP (National Botanical Research Institute's Phosphate growth médium) contiene fosfatos insolubles, como la Fosfato tricálcico (TCP), y un indicador de pH, como el azul de bromotimol, el cual da un cambio de color de azul a amarillo, acreditado a la solubilización de los fosfatos. Permitiendo la capacidad de los microorganismos para solubilizar estos compuestos mediante un viraje colorimétrico (Nautiyal, 1999).

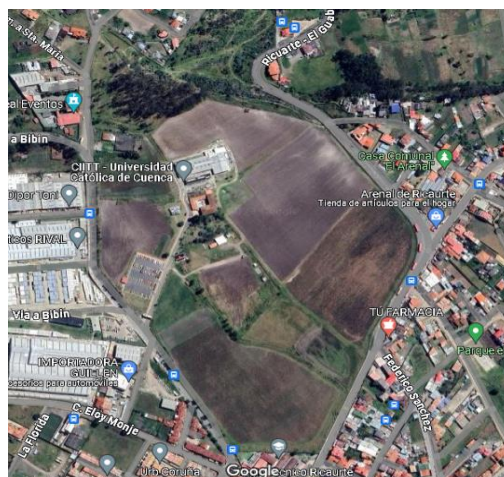
Jamauca (2023) ha demostrado que medios como Pikovskaya y NBRIP pueden emplearse para explorar nuevas aplicaciones más allá de sus usos tradicionales. Descubriendo que el medio Pikovskaya, puede ser utilizado para evaluar la solubilización de Potasio en cepas de *Trichoderma*.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Zona de estudio

La investigación se realizó en el laboratorio de Ecología Microbiana y Principios Activos del Centro de Investigación, Innovación, y Transferencia de Tecnología (CIITT), Universidad Católica de Cuenca. Campus ubicado en la parroquia de Ricaurte del Cantón Cuenca en las siguientes coordenadas 2° 51' 20" S, 78° 57' 57" O Figura 1.

Figura 1. Ubicación del Centro de Innovación Investigación y Transferencia de Tecnología (CIITT) (Google Maps, 2023).



B. Método de estudio

El estudio empleó un enfoque experimental que combinó técnicas de cultivo de cepas de *Trichoderma* con pruebas bioquímicas para evaluar su potencial en la solubilización de nutrientes Fósforo (P), Potasio (K) y fijación de Nitrógeno. Se utilizaron seis cepas de *Trichoderma* procedentes de la Micoteca para la Conservación de la Biodiversidad Ruth Moore del CIITT, las cuales se sometieron a pruebas en tres medios específicos: Ashby, Pikovskaya y NBRIP.

El método de recopilación de datos es mixto, ya que combina un enfoque cualitativo y cuantitativo. En el caso del medio NBRIP se midió el radio del halo de solubilización cada 2 días por 16 días, mientras que para Pikovskaya se midió el radio del halo de solubilización durante 7 días diariamente. Por otro lado, en el caso del medio Ashby, se evaluó la capacidad de fijar Nitrógeno (N) de manera cualitativa por las cepas de *Trichoderma*, registrando si la cepa es capaz de crecer en el medio. Se diseñó un experimento con un diseño completamente al azar, con 4

repeticiones para 6 cepas de *Trichoderma*. Este diseño permitió evaluar la significancia estadística de los resultados

Las variables independientes son las cepas de *Trichoderma*, mientras que las variables dependientes son la capacidad de solubilización de K y P, por el radio del halo; y la fijación de N medido de forma dicotómica (presencia/ausencia).

Esta premisa permitió realizar un análisis el radio del halo y la medición para cada una de las cepas, se realizó una prueba no paramétrica Kruskal Wallis entre cepa, halo y comparación de a pares por medición para ambos tratamientos cuantitativos, posteriormente se realizó un análisis de media de tratamiento buscando determinar la cepa de *Trichoderma* con mayor potencial de solubilización para cada medio evaluado y la correlación entre estas.

3.1 Procedimiento

A. Selección de cepas de *Trichoderma*, Origen micoteca

Se seleccionaron las cepas *T. atroviride*, *T. neokoningii*, *T. harzianum*, *T. koningiopsis*, *T. trixiae* y *Trichoderma*. sp. preservadas en la Micoteca para la Conservación de la Biodiversidad Ruth Moore del CIITT.

B. Inoculación e incubación de cepas y evaluación de crecimiento

Se evaluó el crecimiento de las cepas de *Trichoderma* en un medio PDA estéril, incubadas a 25 °C durante 7 días. Se observó el crecimiento de cada cepa y se registró la viabilidad de la propagación, determinando el crecimiento o no del hongo, permitiendo seleccionar cepas de *Trichoderma* con capacidad de crecimiento.

C. Preparación de medios, tratamientos de solubilización y fijación de nutrientes

Para llevar a cabo la determinación del hongo *Trichoderma* como organismo solubilizador de Potasio y Fósforo, se emplearon dos medios de cultivo específicos; Pikovskaya (K) Tabla 1, NBRIP (P) Tabla 2.

Tabla 1. Composición del medio de cultivo *Pikovskaya*.

Componentes	500 ml
Glucosa	5 g
Nitrato de potasio	2.5 g
Cloruro de potasio	0.1 g
Sulfato de amonio	0.05 g
Sulfato de magnesio	0.05 g
Púrpura de bromocrisol	0.0618 g
Sulfuro de magnesio	0.5 g
Agar bacteriano	7.5 g

Nota. *Pikovskaya*, componentes y cantidades (K).

Tabla 2. Composición del medio de cultivo *NBRIP*.

Componentes	500 ml
Glucosa	5 g
Cloruro de magnesio hexahidratado	0.25 g
Sulfato de magnesio heptahidratado	0.125 g
Cloruro de potasio	0.1 g
Sulfato de amonio	0.05 g
Fosfato tricálcico	2.5 g
Azul de bromotimol	0.1 g
Agar bacteriano	7.5 g

Nota. *NBRIP*, componentes y cantidades (P).

En ambos medios, *Pikovskaya* y *NBRIP* la solución se calentó a 80°C, posteriormente, se enfrió la solución a 50°C y se ajustó el pH a 7 utilizando hidróxido de sodio al 0.1 M. La solución se transfirió a un matraz Erlenmeyer y se esterilizó en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

Para el medio *Ashby* (Tabla 3) por su composición es un medio de cultivo selectivo que evalúa la capacidad de microorganismos como *Trichoderma* para fijar Nitrógeno atmosférico. La solución se calienta a 80°C, se enfría a 50°C, se esteriliza en autoclave a 121°C durante 15

minutos.

Tabla 3. Composición del medio de cultivo Ashby.

Componentes	500 ml
Glucosa	1.055 g
Fosfato dipotásico	0.1 g
Carbonato de calcio	2.5 g
Sulfato de magnesio	2.5 g
Sulfato de potasio	0.05 g
Agar bacteriológico	9 g

Nota. Ashby, componentes y cantidades (N).

D. Inoculación del hongo Trichoderma en los medios (Pikovskaya, NBRIP y Ashby)

La inoculación del hongo *Trichoderma* se realizó mediante la técnica de pozo en los medios Pikovskaya y NBRIP solidificados, depositando una porción del micelio de cada cepa en un orificio central realizado en cada caja Petri. En el medio Ashby, se utilizó un instrumento estéril para cortar fragmentos de micelio de cada cepa, los cuales se colocaron individualmente en la caja con el medio solidificado.

E. Evaluación y registro de los medios Pikovskaya, NBRIP y Ashby.

Se realizó un seguimiento fotográfico del crecimiento y desarrollo morfológico de las colonias de *Trichoderma* en cada medio de cultivo. Las frecuencias de captura de imágenes fueron: diaria para Pikovskaya, cada 2 días para NBRIP y semanal para Ashby. Adicionalmente, se midió el radio de los halos de solubilización en Pikovskaya Figura 2 y NBRIP Figura 3 utilizando un calibrador Pie de Rey, con mediciones durante 7 días en Pikovskaya y durante 16 días en NBRIP.

Figura 2. Medición de radio halo de solubilización, Pikovskaya

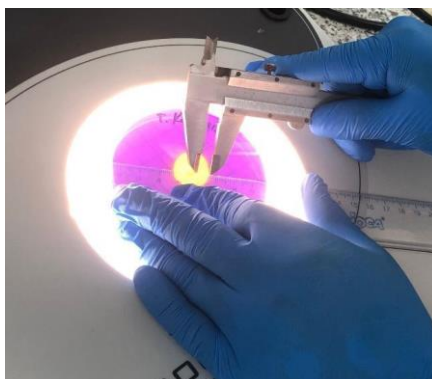
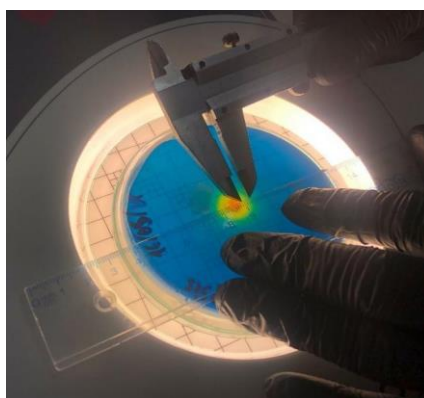


Figura 3. Medición de radio halo de solubilización, NBRIP



Esta etapa de evaluación y registro permitió generar información detallada sobre el desempeño del hongo *Trichoderma* en los diferentes medios de cultivo y obtener información para su posterior análisis estadístico.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta etapa de evaluación y registro permitió generar información detallada sobre el desempeño del hongo *Trichoderma* en los diferentes medios de cultivo y obtener información para su posterior análisis estadístico.

4.1 Propagación de cepas puras de *Trichoderma* obtenidas a partir de aislamientos reactivados

Se obtuvieron cultivos puros de seis cepas de *Trichoderma*, incluyendo *Trichoderma atroviride*, *Trichoderma neokoningii*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis*, *Trichoderma trixiae* y *Trichoderma* sp. mediante la reactivación de cepas conservadas en la micoteca.

4.2 Solubilización de Potasio (K)

4.2.1 Evaluación de la actividad solubilizadora de K en medio de cultivo Pikovskaya

Al finalizar el periodo de una semana de medición del medio Pikovskaya se registra el halo Figura 4 y Figura 5, donde las cepas *T. harzianum*, *T. neokoningii* y *T. koningiopsis* y *Trichoderma* sp presentaron el diámetro máximo del halo de solubilización en la cuarta medición, mientras que *T. trixiae* y *T. atroviride* lo hicieron en la quinta medición.

Figura 4. *Trichoderma* sp, medio Pikovskaya



Figura 5. *T. trixiae*, medio Pikovskaya



Para el cálculo de regresiones existen diferentes métodos, siendo uno de los más conocidos el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), sin embargo, resulta ser un método menos robusto por ser sensible ante la prese

El experimento busco evaluar el desempeño de seis cepas distintas de *Trichoderma* a lo largo del tiempo en un medio de cultivo Pikovskaya. Las mediciones se realizaron en siete momentos diferentes, permitiendo observar la dinámica de la actividad de cada cepa Tabla 4. Durante las primeras tres mediciones (I, II y III), los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las cepas evaluadas ($p \leq 0.05$). Destacó particularmente la cepa *T. neokoningii*, la cual presentó los mayores valores de actividad en estos puntos temporales. Por otro lado, *T. atroviride* fue la cepa que exhibió el peor desempeño, manteniendo los niveles más bajos a lo largo de todo el experimento.

Las cepas *T. trixiae*, *T. koningiopsis*, *T. harzianum* y *Trichoderma* sp, presentaron valores intermedios similares entre sí durante las primeras tres mediciones. Esto sugiere que, si bien no alcanzaron los niveles máximos obtenidos por *T. neokoningii*, estas cepas lograron un buen

desarrollo en el medio de cultivo. Posteriormente, en las mediciones IV, V, VI y VII, no se hallaron diferencias estadísticas significativas. Esto indica que, a medida que avanzó el experimento, las distintas cepas de *Trichoderma* lograron alcanzar niveles de actividad similares en el medio Pikovskaya. En conjunto, estos resultados proporcionan información relevante sobre el potencial de las diferentes cepas de *Trichoderma* evaluadas. La cepa *T. neokoningii* destaca por su sobresaliente desempeño, mientras que *T. atroviride* presenta la menor actividad.

Tabla 4. Análisis de varianza Kruskal Wallis, medio Pikovskaya.

Medición	<i>T. trixiae</i>	<i>T. koningiopsis</i>	<i>T. neokoningii</i>	<i>T. harzianum</i>	<i>T. atroviride</i>	<i>Trichoderma</i> sp	Valor p
I	0.61 ^{ab}	0.46 ^{ab}	1.15 ^c	0.78 ^{bc}	0.21 ^a	0.60 ^{ab}	0.003
II	1.66 ^{ab}	1.71 ^{ab}	2.47 ^c	2.61 ^c	0.98 ^a	2.21 ^{bc}	0.002
III	2.62 ^{ab}	2.64 ^{ab}	3.50 ^c	3.28 ^{bc}	1.82 ^a	3.29 ^c	0.003
IV	3.70 ^a	3.61 ^a	4.08 ^a	3.82 ^a	2.50 ^a	4.00 ^a	0.123
V	4.10 ^a	4.08 ^a	4.08 ^a	3.98 ^a	3.01 ^a	4.00 ^a	0.104
VI	4.10 ^a	4.08 ^a	4.08 ^a	4.05 ^a	3.21 ^a	4.00 ^a	0.389
VII	4.10 ^a	4.08 ^a	4.08 ^a	4.05 ^a	3.23 ^a	4.00 ^a	0.389

Nota: Literales diferentes presentan diferencias estadísticas.

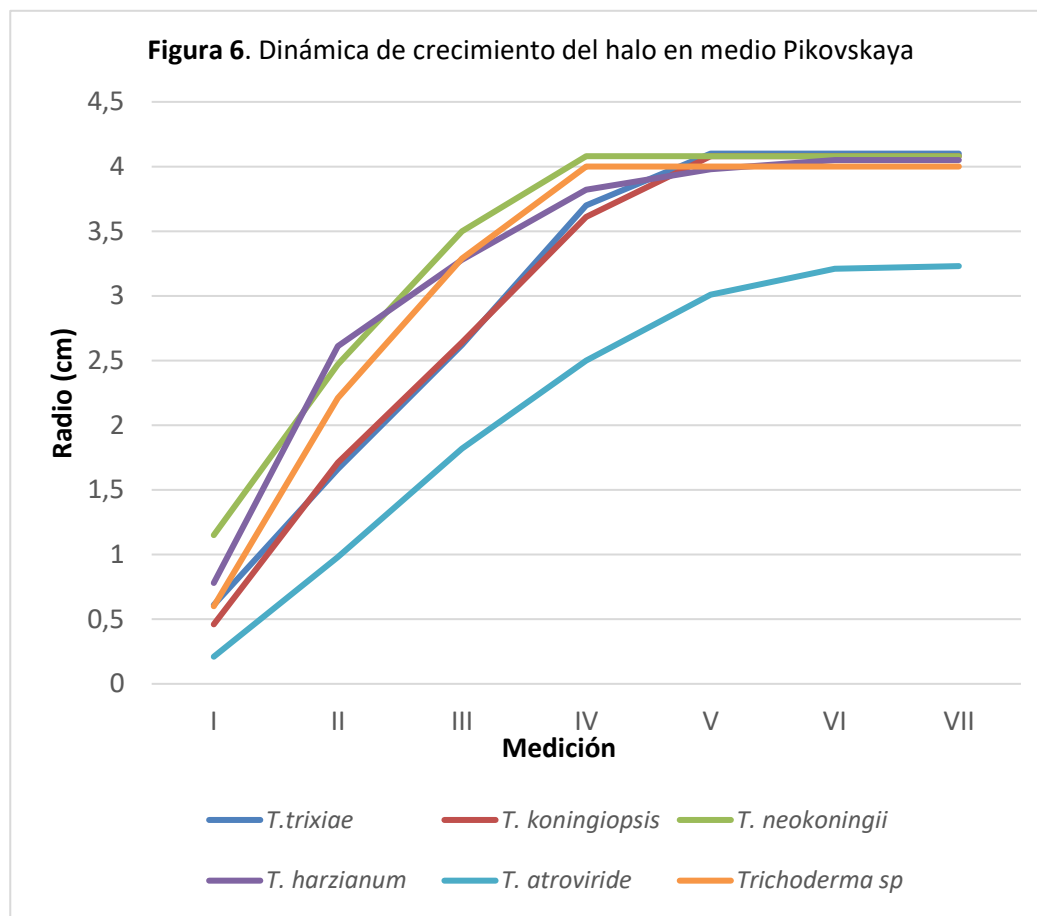
4.2.2 Comparación y análisis de datos sobre el índice de solubilización de K entre las 6 cepas de *Trichoderma*

En la Figura 6 se puede observar que durante las primeras tres mediciones existieron variaciones estadísticamente significativas en la tasa de actividad de las cepas. *T. neokoningii* y *Trichoderma* sp. presentaron los mayores radios, alcanzando valores cercanos a 3.5 cm y 3.3 cm, respectivamente, en la tercera medición.

En contraste, *T. atroviride* mostró los menores radios en las primeras mediciones, con valores alrededor de 1.8 cm en la tercera medición. Las otras cepas (*T. trixiae*, *T. koningiopsis* y *T. harzianum*) exhibieron un desempeño intermedio durante este período inicial. Sin embargo, a partir de la cuarta medición, el crecimiento se estabilizó, llegando al diámetro máximo limitado por la propia caja Petri, alcanzando valores máximos de actividad, con radios cercanos a 4.0 cm.

Estos resultados indican que, si bien existieron diferencias iniciales en el crecimiento de las cepas, todas lograron una actividad similar y elevada en el medio Pikovskaya a medida que avanzó el experimento. Esto sugiere que todas las cepas evaluadas presentan un buen desempeño en este medio de cultivo, aunque algunas tienen un crecimiento más acelerado.

Posteriormente, se realizó un análisis de medias Figura 7 donde estos resultados muestran las medias de crecimiento de las seis especies de *Trichoderma* evaluadas en el experimento. Estos valores promedio permiten comparar el desempeño general de cada cepa a lo largo del estudio.



La cepa *T. neokoningii* exhibió la mayor media de crecimiento, alcanzando 3.39 cm. Esto sugiere que esta especie tiene una capacidad de crecimiento y actividad notablemente superior a las otras cepas evaluadas. Su desempeño sobresaliente puede ser atribuido a su capacidad para aprovechar los nutrientes disponibles en el medio de cultivo de manera más eficiente.

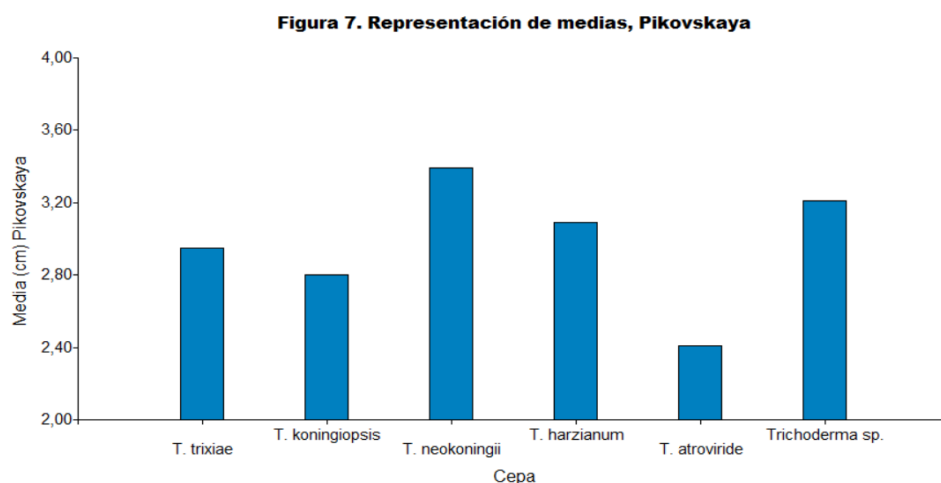
La cepa *Trichoderma sp*, registró una media de 3,21 cm, lo que la ubica como la segunda especie con mejor crecimiento general en el experimento. Aunque su desempeño fue ligeramente inferior al de *T. neokoningii*, sigue siendo uno de los mejores resultados obtenidos. Esto sugiere que esta cepa también tiene una capacidad de crecimiento y actividad destacada.

La cepa *T. harzianum* presentó una media de 3.09 cm, posicionándose en el tercer lugar entre las especies evaluadas. Su crecimiento y actividad fueron destacados, aunque no llegaron a

los niveles alcanzados por las dos especies líderes. Esto sugiere que esta cepa tiene una capacidad de crecimiento y actividad intermedia.

Las cepas *T. trixiae* y *T. koningiopsis* se haya en el cuarto y quinto lugar, con medias de 2,95 cm y 2,80 cm respectivamente. Estas especies demostraron un buen desempeño, pero su crecimiento y actividad fueron inferiores a las tres primeras. Esto sugiere que estas cepas tienen una capacidad de crecimiento y actividad moderada.

La cepa *T. atroviride* registró la media más baja, de 2,41 cm. Esto sugiere que esta especie tuvo un crecimiento y actividad más limitadas en comparación con las demás cepas evaluadas en el estudio. Esto puede ser atribuido a una menor capacidad para aprovechar los nutrientes disponibles en el medio de cultivo. La cepa *T. atroviride* muestra un crecimiento moderado, con una media de 2.14 cm de radio de solubilización. Los valores varían de 0.11 cm a 4.16 cm, con una desviación estándar de 1.20 cm, indicando una variabilidad moderada. Se identificó un resultado atípico en el análisis de la Repetición III, se observó un dato atípico significativo de 0.42 cm en el radio de solubilización. Este valor divergente puede ser atribuido a varios factores posibles como variabilidad biológica, donde incluso de la misma especie, pueden exhibir variaciones genéticas o fenotípicas naturales que pueden influir en su capacidad para solubilizar fosfatos (Schuster & Schmoll, 2010).



Nota: Gráfica de medias (cm) de las cepas evaluadas en medio Pikovskaya.

4.3 Solubilización de Fósforo (P)

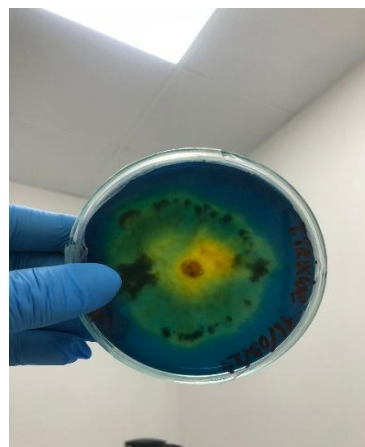
4.3.1 Evaluación de la actividad solubilizadora de P en medio de cultivo NBRIP

La evaluación de la actividad solubilizadora de P en el medio de cultivo NBRIP se realizó para determinar la capacidad de las cepas de *Trichoderma* para solubilizar fosfatos (P) en este medio Figura 8 y Figura 9. En la evaluación de las cepas *T. harzianum*, *T. atroviride* presentaron desaparición del halo de solubilización en las mediciones 6, 7 y 8, por otro lado, para *Trichoderma* sp en esas mismas mediciones solo desaparecieron dos mediciones de su total de cuatro lo cual se incluyó en el análisis estadístico. En contraste, las cepas *T. trixiae*, *T. neokoningii* y *T. koningiopsis* mantuvieron una capacidad de solubilización continua de Fósforo (P) durante todas las mediciones. Este enfoque metodológico permitió una evaluación integral y precisa del desempeño de cada cepa en condiciones controladas.

Figura 8. *T. atroviride*, medio NBRIP.



Figura 9. *T. trixiae*, medio NBRIP.



Se analizaron las seis cepas distintas en ocho momentos de medición, permitiendo observar la dinámica de la actividad de cada una. Durante las primeras dos mediciones, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la actividad de las cepas evaluadas. Esto sugiere que, en los estadios iniciales del cultivo, las cepas presentaban un comportamiento similar en el medio NBRIP. Sin embargo, a partir de la tercera medición, los resultados mostraron diferencias significativas entre las cepas ($p < 0.05$). Destacaron particularmente *T. neokoningii* y *Trichoderma* sp, las cuales alcanzaron los mayores niveles de actividad en las últimas etapas del experimento Tabla 6.

Por otro lado, *T. trixiae* y *T. koningiopsis* exhibieron los menores valores a lo largo de todo el estudio, evidenciando un desempeño inferior en comparación con las demás cepas. Las cepas *T. harzianum* y *T. atroviride* se ubicaron en una posición intermedia, mostrando un

desarrollo adecuado en el medio NBRIP.

Esta información aporta datos sobre el potencial de las diferentes cepas de *Trichoderma* evaluadas. Mientras que *T. neokoningii* y *Trichoderma* sp. destacan por su sobresaliente actividad, *T. trixiae* y *T. koningiopsis* parecen ser menos competitivas en este medio de cultivo. Las cepas intermedias también podrían ser consideradas para futuras aplicaciones biotecnológicas.

Tabla 6. Análisis de varianza no paramétrico Kruskal Wallis, medio NBRIP.

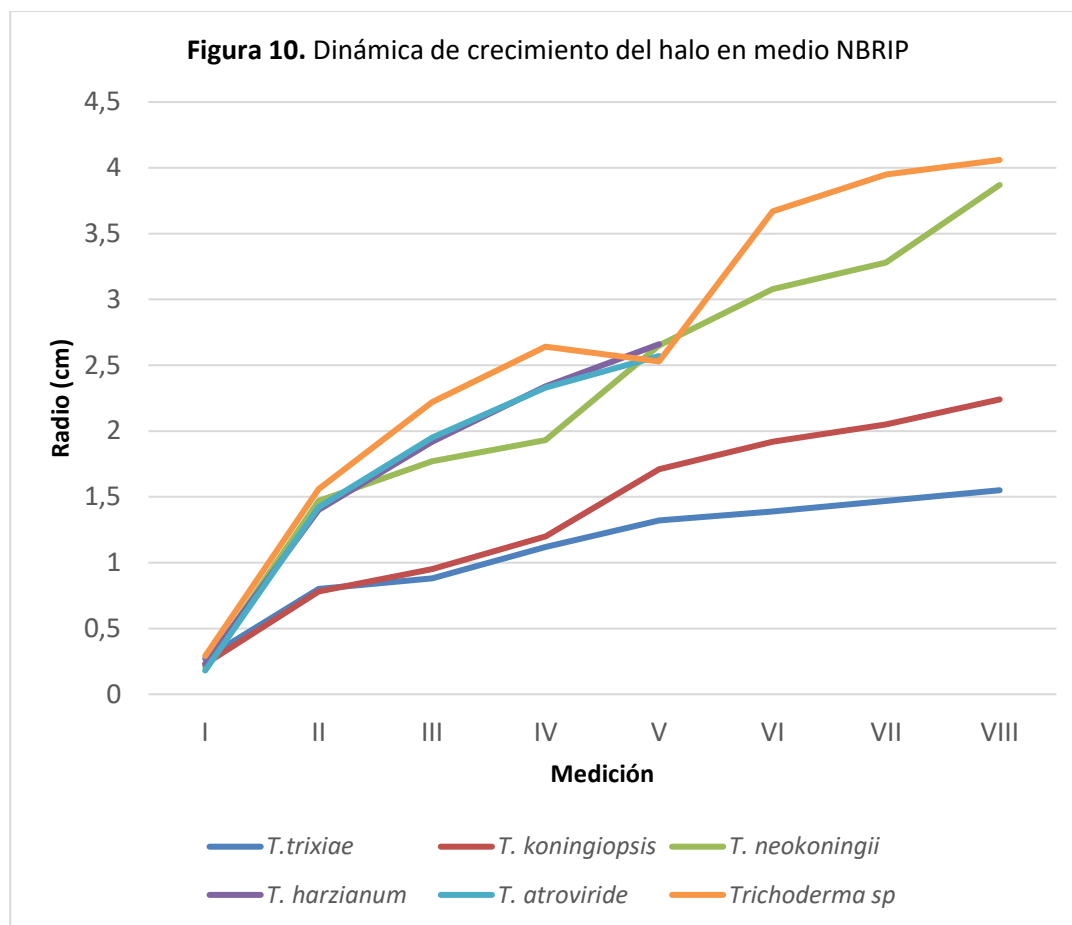
Medición	<i>T. trixiae</i>	<i>T. koningiopsis</i>	<i>T. neokoningii</i>	<i>T. harzianum</i>	<i>T. atroviride</i>	<i>Trichoderma</i> sp	Valor p
I	0.27 ^a	0.23 ^a	0.21 ^a	0.23 ^a	0.18 ^a	0.29 ^a	0.089
II	0.80 ^a	0.78 ^a	1.47 ^a	1.40 ^a	1.42 ^a	1.56 ^a	0.249
III	0.88 ^a	0.95 ^a	1.77 ^{ab}	1.92 ^b	1.95 ^b	2.22 ^b	0.027
IV	1.12 ^a	1.20 ^a	1.93 ^{ab}	2.34 ^b	2.33 ^b	2.64 ^b	0.018
V	1.32 ^a	1.71 ^a	2.65 ^a	2.66 ^a	2.57 ^a	2.53 ^a	0.116
VI	1.39 ^a	1.92 ^{ab}	3.08 ^b	-	-	3.67 ^b	0.049
VII	1.47 ^a	2.05 ^{ab}	3.28 ^b	-	-	3.95 ^b	0.044
VIII	1.55 ^a	2.24 ^{ab}	3.87 ^b	-	-	4.06 ^b	0.027

Nota: Literales diferentes presentan diferencias estadísticas.

3.2 Comparación del índice de solubilización de P entre las 6 cepas de *Trichoderma*

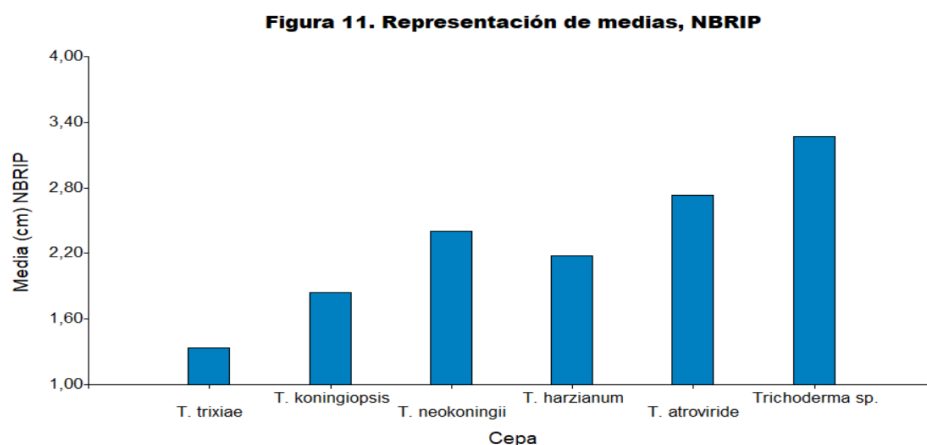
En la Figura 10 se muestra claramente el avance en el crecimiento de las diferentes especies de *Trichoderma* a lo largo de las 8 mediciones realizadas. Se observa que *Trichoderma* sp y *T. neokoningii* presentaron los mayores crecimientos, seguidos por *T. harzianum* y *T. atroviride*, mientras que *T. koningiopsis* y *T. trixiae* tuvieron los menores crecimientos.

Cabe destacar que para *T. harzianum* y *T. atroviride* los halos de crecimiento desaparecieron a partir de la cuarta medición (IV), mientras que para *Trichoderma* sp solo desaparecieron 2 mediciones, también en la cuarta medición (IV). Esto sugiere que estas especies podrían haber agotado los nutrientes disponibles en el medio NBRIP o presentaron un crecimiento más limitado en comparación con las otras especies evaluadas.



Las diferentes especies de *Trichoderma* evaluadas mostraron una variación significativa en su capacidad de solubilización de fósforo, medida a través del crecimiento radial en el medio NBRIP. *Trichoderma sp.* presentó el mayor crecimiento promedio, con un radio de 3.27 cm, lo que indica que esta cepa no identificada a nivel de especie tuvo una gran habilidad para solubilizar y utilizar el fósforo disponible en el medio Tabla 11. Esto sugiere que *Trichoderma sp* podría ser una excelente opción como inoculante. Detrás de *Trichoderma sp*, *T. atroviride* y *T. neokoningii* mostraron los siguientes mayores crecimientos, con 2.73 cm y 2.40 cm respectivamente. Estos resultados demuestran que estas dos especies también poseen una buena capacidad de solubilización de fosfato, convirtiéndolas en candidatos prometedores para su uso como biofertilizantes. *T. harzianum* presentó un crecimiento promedio de 2.18 cm, ligeramente inferior a *T. neokoningii*, pero aun así sigue siendo una especie con buen potencial de solubilización de fósforo y, por lo tanto, interesante para aplicaciones agrícolas. *T. koningiopsis* mostró una capacidad moderada de solubilización de fosfato, con un crecimiento promedio de 1.84 cm, lo que indica que podría ser una opción menos eficiente que las anteriores, pudiendo tener

aplicaciones específicas. Finalmente, *T. trixiae* presentó el menor crecimiento promedio, con 1.34 cm, sugiriendo una habilidad limitada para solubilizar y utilizar el fósforo disponible. Por lo tanto, esta especie sería la menos favorable para su uso como inoculante en comparación con las otras cepas evaluadas.



Nota: Gráfica de medias (cm) de las cepas evaluadas en medio NBRIP.

4.4 Fijación de Nitrógeno (N)

4.4.1 Evaluación de la capacidad de fijación de N en medio de cultivo Ashby

El crecimiento de las cepas de *Trichoderma* en el medio Ashby durante una semana de incubación se muestra en la Tabla 8. La capacidad de fijar Nitrógeno se evaluó mediante la observación del crecimiento de las cepas en el medio Ashby y se categorizó en tres niveles: sin crecimiento, tenue (disperso), leve, moderado.

4.4.2 Comparación de la actividad fijadora de N entre las 6 cepas de *Trichoderma*

En la Tabla 8 se encuentra el comparativo de la actividad fijadora de Nitrógeno de las 6 cepas de *Trichoderma* proporciona una visión general de la capacidad de cada cepa para fijar Nitrógeno en el medio Ashby.

Tabla 8. Resumen de medio Ashby.

Cepa	Desarrollo en el medio Ashby	Capacidad de fijar Nitrógeno
<i>Trichoderma</i> sp.	Leve	Limitada
<i>T. harzianum</i>	Leve a moderado	Limitada
<i>T. trixiae</i>	Tenue, disperso	Muy limitada
<i>T. neokoningii</i>	Ausente	Nula
<i>T. koningiopsis</i>	Leve a moderado	Limitada
<i>T. atroviride</i>	Leve a moderado	Limitada

Las cepas *Trichoderma* sp., *T. harzianum*, *T. koningiopsis* y *T. atroviride* muestran un desarrollo leve a moderado en el medio Ashby, lo que sugiere cierta habilidad para fijar Nitrógeno, aunque de manera limitada. La cepa *T. trixiae* muestra un crecimiento tenue y disperso en el medio Ashby, lo que sugiere que su capacidad para fijar Nitrógeno sea muy limitada en estas condiciones. La cepa *T. neokoningii* no muestra desarrollo alguno en el medio Ashby, lo que sugiere una ausencia total de capacidad para fijar Nitrógeno.

En otro estudio, realizado por Harman *et al.*, (2004), se identificó que las cepas de *Trichoderma* spp. tienen una capacidad moderada para fijar Nitrógeno en suelos agrícolas. Sin embargo, se observó que la adición de estas cepas al suelo mejoró la estructura del suelo y aumentó la biodiversidad microbiana. Ratifica en un estudio realizado por Viterbo *et al.*, (2007).

4.5 Análisis de la correlación entre las diferentes capacidades solubilizadoras funcionales de las cepas de *Trichoderma*.

A. Coeficiente de correlación de Pearson entre Pikovskaya y NBRIP basado en sus medias.

***Trichoderma* sp:** $r^2 = 0.85$, $p < 0.01$

***T. neokoningii*:** $r^2 = 0.71$, $p < 0.05$

***T. harzianum*:** $r^2 = 0.58$, $p < 0.10$

***T. koningiopsis*:** $r^2 = 0.51$, $p > 0.10$

***T. trixiae*:** $r^2 = 0.42$, $p > 0.10$

***T. atroviride*:** $r^2 = 0.63$, $p < 0.10$

5. CONCLUSIÓN

Se investigó la eficacia de varias cepas de *Trichoderma* para solubilizar nutrientes y fijar nitrógeno en diferentes ambientes de crecimiento. Se encontró que la cepa de *Trichoderma* sp. se destacó significativamente debido a su alta capacidad para solubilizar tanto Potasio (K) como Fósforo (P), además de una moderada capacidad para la fijación de Nitrógeno (N). Esto la convierte en una cepa multipropósito ideal para aplicaciones agrícolas que requieren una adecuada disponibilidad de nutrientes para el crecimiento vegetal.

El análisis de las cepas de *Trichoderma* para el medio Pikovskaya reveló una gran variabilidad en su actividad solubilizadora de K, lo que sugiere que cada cepa tiene un patrón único de crecimiento y liberación de nutrientes. La evaluación realizada en los medios de cultivo Pikovskaya y NBRIP demostró que *Trichoderma* sp. Tiene una alta mejora de desempeño, reforzando su potencial de utilidad en diversas condiciones ambientales. Otras cepas, como *T. neokoningii* y *T. harzianum*, también mostraron una notable capacidad para solubilizar K y P, aunque su capacidad para fijar N es limitada. La capacidad para fijar N fue nula o muy limitada en estas cepas, lo que sugiere que su aplicación sería más adecuada en contextos donde la fijación de nitrógeno no es primordial.

Se puede concluir que las cepas de *Trichoderma* spp. posea una gran capacidad para liberar nutrientes y fijar nitrógeno, pero es necesario evaluar cuidadosamente las condiciones ambientales y la composición del medio para maximizar su eficacia.

Además, estudios previos se han encontrado que ciertas cepas de *Trichoderma*, como *T. harzianum*, tienen la capacidad de liberar nutrientes, como el fósforo, mediante la síntesis de indol-3-acético, lo que puede estimular el desarrollo de las plantas y controlar enfermedades en plantas de tomate (Bader, 2020). También se ha encontrado que *T. neokoningii*, específicamente la cepa NBRI-PR5, muestra un alto potencial de liberación de fosfato bajo condiciones de estrés abiótico como alcalinidad y sequía, lo que sugiere su utilidad para mejorar la disponibilidad de fosfato en suelos afectados por alcalinidad. y sequía (Tandon *et al.*, 2020). Además, el *Trichoderma* tiene un alto potencial de liberar nutrientes, como el fósforo, mediante la producción

de enzimas que pueden liberar compuestos insolubles, permitiendo así el desarrollo saludable de las plantas (Zhao *et al.*, 2015).

Este estudio, junto con la literatura previa, indica que existen cepas de *Trichoderma* spp, las cuales pueden liberar nutrientes claves como Potasio (K) y Fósforo (P), así como su capacidad moderada para fijar Nitrógeno (N), lo que las convierte en herramientas útiles en la agricultura para optimizar la disponibilidad de nutrientes clave y promover el desarrollo vegetal.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Altomare, C., Norvell, W. A., Björkman, T., & Harman, G. (1999). Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(7), 2926-2933. DOI. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.7.2926-2933.1999>.
- Álvarez-Lozano, D., Rivas-Tabares, D., & Urgilez-Clavijo, A. (2023, May). The effect of agricultural intensification and population growth in the local climate. A case study of the Ecuadorian Amazon. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. EGU-9625). DOI.10.5194/egusphere-egu23-9625
- Asghar, W., Craven, K. D., Kataoka, R., Mahmood, A., Asghar, N., Raza, T., & Iftikhar, F. (2024). The application of *Trichoderma* spp., an old but new useful fungus, in sustainable soil health intensification: A comprehensive strategy for addressing challenges. *Plant Stress*. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100455>.
- Bader, AN, Salerno, GL, Covacevich, F., y Consolo, VF (2020). Cepas nativas de *Trichoderma harzianum* de Argentina producen ácido indol-3 acético y solubilización de fósforo, promueven el crecimiento y controlan la enfermedad del marchitamiento en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of King Saud University-Science* , 32 (1), 867-873. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.04.002>.
- Bononi, L., Chiaramonte, J. B., Pansa, C. C., Moitinho, M. A., & Melo, I. S. (2020). Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. *Scientific Reports*, 10(1), 2858. DOI. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59793-8>.
- Castiglia, V. C. (2016). Producción de sistemas lignocelulolíticos en *Trametes* y géneros relacionados (grupo *Trametes*). Posibles aplicaciones en biorremediación [Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales].
- Companioni González, B., Domínguez Arizmendi, G., & García Velasco, R. (2019). *Trichoderma*: su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura. *Biotecnología Vegetal*, 19(4), 237-248. DOI. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2022.11.015>.

- Druzhinina, I., & Kubicek, C. P. (2005). Species concepts and biodiversity in *Trichoderma* and *Hypocrea*: From aggregate species to species clusters? *Journal of Zhejiang University-Science B*, 6(2), 100-112. DOI. <https://doi.org/10.1631/jzus.2005.B0100>.
- Eman, A. A. F., Mohamed, I. A., Allah, S. F., Shams, A. H., & Elsokkary, I. H. (2023). *Trichoderma* species: an overview of current status and potential applications for sustainable agriculture. *Indian Journal of Agricultural Research*, 57(3), 273-282. DOI: 10.18805/IJARE.AF-75.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020, June 17). Día Mundial de Lucha contra la Desertificación y la Sequía 2020: El Director General de la FAO pide una nueva estrategia para frenar la pérdida de suelo. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/es/c/1294379/>.
- Google. (2023). Mapas de Google. <https://www.google.com/maps>.
- Harman, G. E. (2006). Overview of mechanisms and uses of *spp.* *Phytopathology*, 96(2), 190–194. DOI. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0190>.
- 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. DOI. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- Hjeljord, L., Tronsmo, A., Harman, G. E., & Kubicek, C. P. (1998). *Trichoderma* and *gliocladium*. Biological control: an overview. In: *Trichoderma and Gliocladium: Enzymes, biological control and commercial applications*. Harman GE, Kubice CP.(Eds), 2, 131-151.
- Hoitink, H. A. J., & Boehm, M. (1999, February 1). Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent phenomenon. *Annual Review of Phytopathology*, 37, 427-446. DOI. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.37.1.427>
- Jamauca López, KL (2023). Bioprospección de funciones promotoras de crecimiento vegetal de aislamientos ambientales de *Trichoderma spp.* [Tesis doctoral]. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10901/27017>
- Johnson Corrales, F. (2019). Facultad de Ciencias Farmacéuticas Bioquímicas y Biotecnológicas. Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica [Tesis doctoral, Universidad Católica de Santa María]. DOI. <http://10.0.6.40:4000/handle/20.500.12920/2689>.

- Lei, Zhao & Zhang, Y. Q. (2015). Effects of phosphate solubilization and phytohormone production of *Trichoderma asperellum* Q1 on promoting cucumber growth under salt stress. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(8), 1588-1597. DOI [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60966-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60966-7).
- Mehta, S., & Nautiyal, C. S. (2001). An efficient method for qualitative screening of phosphate-solubilizing bacteria. *Current Microbiology*, 43, 51-56.
- Mora Guerrero, C. J. (2021). Estudio de la calidad de suelos agrícolas de fincas productoras de ciclo corto en la zona de Babahoyo (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021).
- Nautiyal, C. S. (1999). An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS microbiology Letters*, 170(1), 265-270. DOI. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x>.
- Nearing, M. A., Pruski, F. F., & O'Neal, M. R. (2004). Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59(1), 43-50.
- Oljira, A. M., Hussain, T., Waghmode, T. R., Zhao, H., Sun, H., Liu, X., ..., & Liu, B. (2020). *Trichoderma* enhances net photosynthesis, water use efficiency, and growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. *Microorganisms*, 8(10), 1565. DOI. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101565>.
- Schoch, CL, Seifert, KA, Huhndorf, S., Robert, V., Spouge, JL, Levesque, CA, ... y Fungal Barcoding Consortium. (2012). Región nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) como marcador de código de barras de ADN universal para hongos. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, 109(16), 6241-6246. DOI. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117018109>
- Schuster, A., & Schmoll, M. (2010). Biology and biotechnology of *Trichoderma*. *Applied microbiology and biotechnology*, 87, 787-799. DOI. 10.1007/s00253-010-2632-1.
- Segarra, P. (2017). Documento de evaluación nacional de degradación de la tierra mediante la metodología LADA-WOCAT. *Proyecto Apoyo a la Toma de Decisiones para la Integración y Ampliación del Manejo Sostenible de la Tierra*. Grado de degradación. 42-45.
- Recuperado
- de https://www.wocat.net/documents/1007/DOCUMENTO_DE_EVALUACI%C3%93N

_NACIONAL_DE_DEGRADACI%C3%93N_DE_LA_TIERRA__DEL_ECUADOR_D
S-SLM.pdf

- Sood, M., Kapoor, D., Kumar, V., Sheteiwy, M. S., Ramakrishnan, M., Landi, M., ... & Sharma, A. (2020). Trichoderma: *The “secrets” of a multitiered biocontrol agent*. *Plants*, 9(6), 762. DOI. <https://doi.org/10.3390/plants9060762>.
- Tandon, A., Fatima, T., Shukla, D., Tripathi, P., Srivastava, S. y Singh, PC (2020). Solubilización de fosfato por *Trichoderma koningiopsis* (NBRI-PR5) en condiciones de estrés abiótico. *Journal of King Saud University-Science*, 32(1), 791-798. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.02.001>.
- Toledo, L., Salmoral, G., & Viteri-Salazar, O. (2023). Rethinking Agricultural Policy in Ecuador (1960–2020): Analysis Based on the Water–Energy–Food Security Nexus. *Sustainability*, 15(17), 12850. DOI. <https://doi.org/10.3390/su151712850>
- Tudela, F. (2021). Algunas limitaciones de la información disponible para la RIOCC. *El papel de la Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático (RIOCC) como instrumento de apoyo a la región para una transición hacia una economía baja en emisiones y resiliente al cambio climático*. 32-34. DOI. <https://hdl.handle.net/11362/47181>.
- Tyskiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., & Jaroszuk-Ścisł, J. (2022). Trichoderma: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2329. DOI. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, EL, Marra, R., Woo, SL y Lorito, M. (2008). Interacciones entre *Trichoderma*, plantas y patógenos. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1), 1–10. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002>.
- Viterbo, ADA, Wiest, ARIC, Brotman, Y., Chet, ILAN y Kenerley, C. (2007). Los peptaiboles de 18 mer de *Trichoderma virens* provocan respuestas de defensa en las plantas. *Molecular Plant Pathology*, 8(6), 737-746. DOI. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00430.x>.
- Woo, S. L., Hermosa, R., Lorito, M., & Monte, E. (2023). Trichoderma: A multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*,

21(5), 312-326. DOI. 10.1038/s41579-022-00819-5.

Zhao, P., Fallu, D. J., Cucchiaro, S., Tarolli, P., Waddington, C., Cockcroft, D., ... & Van Oost, K. (2021). SOC stabilization mechanisms and temperature sensitivity in old terraced soils. *Biogeosciences Discussions*, 2021, 1-24. DOI. <https://doi.org/10.5194/bg-18-6301-2021>.