

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación

Efecto de *Trichoderma harzianum*, *Paecilomyces lilacinus* y *Bacillus subtilis* como promotores de crecimiento en la aclimatación de plátano de variedad Curaré enano y camote de variedad Bush buck

Estudiante

Natalia Victoria Barba Campoverde

Asesores

María Alexandra Bravo, M.Sc.

Rogelio Trabanino, M.Sc.

Honduras, julio 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora del Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Resumen	6
Abstract.....	7
Introducción.....	8
Materiales y Métodos.....	12
Localización.....	12
Material Vegetal.....	12
Microorganismos Benéficos Usados.....	12
Trichoderma harzianum.....	12
Paecilomyces lilacinus.....	12
Bacillus subtilis.....	12
Sustrato y Recipientes de Siembra.....	12
Aclimatación de Plantas.....	13
Aplicación de Organismos Benéficos y Preparación de Dosificaciones.....	13
Trichoderma harzianum y Paecilomyces lilacinus.....	13
Bacillus subtilis.....	13
Fertilización.....	13
Variables Evaluadas.....	14
Altura de la Planta.....	15
Diámetro de la Planta.....	15
Peso Freso de la Planta.....	15
Peso Seco de la Planta.....	15
Sistema radical.....	15
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	15

Resultados y Discusión.....	17
Plátano	17
Altura y Diámetro de las Plántulas.....	17
Peso Fresco y Peso Seco de las Plántulas.....	18
Longitud, Diámetro y Volumen de las Raíces	18
Camote.....	19
Peso Fresco y Peso Seco de las Plántulas.....	20
Longitud, Diámetro y Volumen de las Raíces	21
Conclusiones	23
Recomendaciones.....	24
Referencias.....	25

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Plan de fertilización en plántulas producidas in vitro de plátano y camote en fase de aclimatación.....	14
Cuadro 2 Efecto de <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Paecilomyces lilacinus</i> y <i>Bacillus subtilis</i> en la altura (cm) y diámetro (mm) en vitro plantas de plátano en etapa de aclimatación	17
Cuadro 3 Efecto de <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Paecilomyces lilacinus</i> y <i>Bacillus subtilis</i> en peso fresco y peso seco en vitroplantas de plátano en etapa de aclimatación	18
Cuadro 4 Efecto de <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Paecilomyces lilacinus</i> y <i>Bacillus subtilis</i> , en el crecimiento de raíces en vitro plantas de plátano en etapa de aclimatación.....	19
Cuadro 5 Efecto de <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Paecilomyces lilacinus</i> y <i>Bacillus subtilis</i> , evaluando altura (cm) y diámetro (mm) en vitro plantas de camote en etapa de aclimatación	20
Cuadro 6 Efecto de <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Paecilomyces lilacinus</i> y <i>Bacillus subtilis</i> en comparación con un testigo, midiendo variables de peso fresco y peso seco en vitro plantas de camote en etapa de aclimatación.....	21
Cuadro 7 Efecto de <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Paecilomyces lilacinus</i> y <i>Bacillus subtilis</i> , en vitroplantas de camote en etapa de aclimatación.....	22

Resumen

La micropropagación es la multiplicación masiva de plantas basada en la totipotencia vegetal, realizada en condiciones in vitro. La última etapa de la micropropagación es la aclimatación, esta permitirá que la planta alcance un crecimiento autótrofo en ambientes de menor humedad relativa, con más luz y sustratos. El objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto como promotores de crecimiento de *Paecilomyces lillacinus*, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*, en la aclimatación en plantulas de plátano de variedad Curaré enano y camote de variedad Bushbuck. Se utilizó un diseño completamente al azar, cuatro tratamientos (tres microorganismos y un testigo) y cuatro repeticiones, 16 unidades experimentales con 72 plantas cada una, 270 plantas en total para el cultivo de plátano; para el cultivo de camote 50 repeticiones que dieron lugar a 200 plantas en total. Los tratamientos fueron Pazam® 13 WP (*Paecilomyces lillacinus*), TRICHOZAM® 10 WP (*Trichoderma harzianum*), Serenade® 1.36 SC (*Bacillus subtilis*) y testigo sin microorganismos. Las aplicaciones se realizaron al día de siembra, 15 y 45 días después de la siembra. Las variables evaluadas fueron peso fresco y peso seco; longitud y diámetro de la planta; longitud, diámetro y volumen de raíces medidas mediante escaneo de raíces con el software WinRhizo. Las plantas inoculadas con *Trichoderma harzianum* y *Paecilomyces lilacinus* mostraron efectos promotores de crecimiento en plantas de camote y plátano en las variables de altura y diámetro del tallo, peso fresco; y en las variables de longitud y volumen de raíces.

Palabras clave: Aclimatación, bacteria, control biológico, hongos, micropropagación

Abstract

Micropropagation is the massive multiplication of plants based on plant totipotency, carried out under in vitro conditions. The last stage of micropropagation is acclimatization, this will allow the plant to achieve autotrophic growth in environments with lower relative humidity, with more light and substrates. The objective of this project was to evaluate the effect as growth promoters of *Paecilomyces lillacinus*, *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis*, on the acclimatization in banana seedlings of the Curaré dwarf variety and sweet potato of the Bushbuck variety. A completely randomized design was used, four treatments (three microorganisms and one control) and four repetitions, 16 experimental units with 72 plants each, 270 plants in total for growing plantain; for sweet potato cultivation 50 repetitions that gave rise to 200 plants in total. The treatments were Pazam® 13 WP (*Paecilomyces lillacinus*), TRICHOZAM® 10 WP (*Trichoderma harzianum*), Serenade® 1.36 SC (*Bacillus subtilis*) and control without microorganisms. Applications were made on the day of sowing, 15 and 45 days after sowing. The variables evaluated were fresh weight and dry weight; plant length and diameter; root length, diameter and volume measured by root scanning with WinRhizo software. Plants inoculated with *Trichoderma harzianum* and *Paecilomyces lilacinus* showed growth-promoting effects on sweet potato and plantain plants in the variables of stem height and diameter, fresh weight, and in the variables of length and volume of roots.

Keywords: acclimatization, bacteria, biological control, fungi, micropropagation

Introducción

La micropropagación se define como la multiplicación asexual, basada en la totipotencia vegetal, realizada en condiciones *in vitro*. La obtención de plantas mediante micropropagación involucra una serie de etapas o fases que abarcan desde los procedimientos previos al establecimiento de los cultivos en forma aséptica, los que se encargan de la selección y manejo de la planta madre, el establecimiento mismo, la proliferación o multiplicación, el enraizamiento, hasta la aclimatación del material obtenido y su trasplante a condiciones de campo (Cruz, 2012).

La aclimatación las plantas sufren una serie de cambios morfológicos y fisiológicos que ocasionan una pérdida importante de plantas al momento de trasplante. La aclimatación permitirá que la planta alcance un crecimiento autótrofo en ambientes de menor humedad relativa, con más luz y sustratos sépticos. Existen diversos estudios que demuestran la gran importancia que tiene la estructura, morfología y funcionalidad del aparato estomatal durante la aclimatación de las plantas producidas *in vitro*. El retraso en el desarrollo de la cutícula y la escasa funcionalidad del aparato estomático que presentan las hojas de la mayoría de las especies cultivadas *in vitro* determinan que la tasa de transpiración sea alta, lo que puede ocasionar la muerte por deshidratación (Cruz, 2012).

El plátano (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*) como alimento es considerado uno de los cultivos más importantes en el mundo, ocupa el cuarto lugar en importancia después del arroz, trigo y leche. Se cultiva extensivamente en los trópicos y en las zonas templadas. Es apreciado por su sabor, valor nutritivo y su disponibilidad como alimento durante todo el año. Representa una importante fuente de alimentos en áreas rurales de casi todos los países tropicales y subtropicales.

Las plantas de plátano se reproducen asexualmente brotando vástagos desde un tallo subterráneo. Los brotes tienen un crecimiento energético y pueden producir un racimo maduro en menos de un año. Los vástagos siguen brotando de una única mata año tras año, lo que hace del plátano un cultivo perenne (Arias et al., 2004). Para la micropropagación de plátano la obtención del

material se realiza a partir de meristemas que crece en el cormo de la planta (Mora-González et al., 2021).

El camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) (Convolvulaceae) es un cultivo tradicional originario México y en América, la producción mundial de camote es de unos 150 millones de toneladas cultivadas. A nivel global es el sexto cultivo alimenticio más importante. Su origen es de América tropical, sin embargo su producción se realiza en todo el orbe, siendo Asia la principal zona de producción (Basurto et al., 2015). Para el año 2018, la producción mundial de camote se concentró principalmente en Asia con un 66%, seguido de África con un 28,3%, América con un 4,5% y finalmente Europa con un 1,2%. China es el principal productor a nivel mundial con un 57,6% de total producido en el mundo, según Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020).

La propagación de camote por lo general se lo realiza de forma vegetativa mediante esquejes, este sistema de propagación transmite enfermedades causadas por virus reduciendo rendimientos y calidad del producto y disponibilidad de semilla. Por tanto la micropropagación de plantas libres de patógenos en laboratorio es una alternativa para la propagación masiva de camote, en forma rápida ya que permite disponer de semilla en un período corto para distribución a agricultores (Olivera y Marcelo, 2010).

La utilización de microorganismos eficientes son una alternativa biotecnológica para adaptar plantas *in vitro* exitosamente (Mora-González et al., 2021). Las cepas de hongos del género *Trichoderma* son consideradas como bio controladoras de enfermedades, que ayudan a mejorar la producción y rentabilidad de diferentes cultivos; por su parte, las diferentes especies de *Trichoderma* poseen mecanismos de acción; tales como, mico parasitismo, antibiosis, competición por los nutrientes, bio fertilización y producción de compuestos volátiles. Las especies de *Trichoderma* a través del mecanismo de biofertilización solubiliza nutrientes del suelo y los proporciona a las plantas, esto lo logra a través de su rápido crecimiento hifal que penetra la epidermis de la raíz (Druzhinina et al., 2018).

Estos hongos se caracterizan por predominar en los ecosistemas terrestres (suelos agrícolas, pastizales, bosques y desiertos) y acuáticos (Zhang et al., 2005). Algunas especies son de vida libre en el suelo, oportunistas, simbioses de plantas, y otras son micoparásitos. Además, pueden colonizar distintos ambientes, debido a su alta capacidad reproductiva (Harman et al., 2004).

Paecilomyces lilacinus es un hongo entomopatógeno y endófito, se establece en el suelo y crece saprofiticamente, se disemina con rapidez. Estudios demuestran que este microorganismo tiene capacidad solubilizadora tanto fosfato de calcio como de hierro y actualmente se usan como biofertilizantes debido a la posibilidad de este microorganismo de aportar nutrientes y promover el crecimiento y desarrollo vegetal en los cultivos (Candelero et al., 2015). Una de las especies de hongos más estudiadas en el control de *Meloidogyne spp* incógnita es *Paecilomyces lilacinus*, la cual habita el suelo en forma natural y ha demostrado capacidad de regular las poblaciones de nemátodos a niveles no dañinos al cultivo (Salazar et al., 2012).

Bacillus subtilis es una especie bacteriana notablemente diversa que es capaz de crecer en muchos entornos. Recientes análisis genómicos comparativos basados en micro matrices han revelado que los miembros de esta especie también exhiben una diversidad genómica considerable (Earl et al., 2008). Este género se encuentra ampliamente distribuido en diversos ambientes como agua y suelo debido a su amplia versatilidad metabólica y la presencia de una estructura de resistencia llamada endospora. Se muestran sus potencialidades en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de patógenos. Se han demostrado diferentes capacidades de *Bacillus* en asociación a plantas como la producción de fitohormonas como las auxinas, el control biológico mediado por la producción de antibióticos, sideróforos y enzimas líticas, la solubilización de fosfatos y la fijación del nitrógeno (Tejera-Hernandez et al., 2010).

Los objetivos de este estudio fueron evaluar el efecto como promotores de crecimiento de los microorganismos benéficos *Trichoderma harzianum*, *Paecilomyces lilacinus* y *Bacillus subtilis* en vitro plantas de plátano variedad Curaré enano y camote de variedad Bush Buck.

Los objetivos específicos fue determinar la mortalidad en plantas de plátano y camote en etapa de aclimatación y evaluar variables de altura, diámetro, peso fresco y peso seco de la planta; longitud, diámetro y volumen de la raíz de la planta, en el cultivo de plátano y camote en fase de aclimatación.

Materiales y Métodos

Localización

El estudio se realizó durante los meses de febrero a abril de 2022 en las estructuras protegidas con plástico y malla sombra del 40% asignadas al invernadero del Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, localizado en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada en el Valle del Yeguaré km 30 al este de Tegucigalpa, Departamento de Francisco de Morazán, Honduras.

Material Vegetal

Se usaron vitro plantas de plátano Curaré enano y camote Bush Buck, procedentes del laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales.

Microorganismos Benéficos Usados

Trichoderma harzianum

Se utilizó la fórmula comercial de TRICHOZAM® 10 WP, elaborado en la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), contiene 10% de producto activo por kilogramo de producto comercial (1.3×10^9 conidias viables por gramo de producto comercial).

Paecilomyces lilacinus

Se utilizó la fórmula comercial de PAZAM® 13 WP, elaborado en la EAP contiene 13% de producto activo por kilogramo de producto comercial (3.0×10^9 conidias viables por gramos de producto comercial).

Bacillus subtilis

Se utilizó Serenade® 1.36 SC, producto de la casa comercial Bayer, de origen natural a base de Bacillus subtilis cepa QST 713, con una concentración de 13.68 gramos de ingrediente activo por litro de producto comercial, equivalente a 1×10^{12} unidades formadoras de colonias por litro.

Sustrato y Recipientes de Siembra

Se realizó una mezcla del sustrato de marca comercial Pindstrup Plus Orange y casulla de arroz en relación 3:2, la casulla de arroz fue esterilizada en autoclave a 121°C, 1 kg/cm², durante 40 minutos.

El plátano fue trasplantado a bandejas de 18 hoyos, los hoyos tenían 8 cm altura y 7 cm de diámetro. Las plantas de camote se sembraron en bandejas de 50 hoyos, los hoyos tenían 6.5 cm de altura y 2.5 cm de diámetro.

Aclimatación de Plantas

En el invernadero se extrajo las plántulas del frasco de vidrio y con agua potable se quitó el medio de cultivo y a continuación fueron trasplantadas en bandejas con medio de sustrato. A las plantas se las cubrió con una capa extra de sarán de 40% de sombra, las plantas se mantuvieron a temperaturas promedio de 27 – 32°C, con una humedad relativa de 50 - 70%, se logró mantener estas condiciones regando las plantas y el piso del invernadero tres veces al día, todos los días durante los 55 días que las plantas estuvieron en invernadero.

Aplicación de Organismos Benéficos y Preparación de Dosificaciones

Las aplicaciones de los microorganismos se realizaron en tres ocasiones. La primera aplicación se realizó al día de siembra, en una dosis de 5 mL/ planta, segunda aplicación 15 días después de la primera aplicación, en una dosis de 10 mL/ planta y la última aplicación 30 días después de la segunda aplicación, en una dosis de 10 mL/ planta, en todos los tratamientos en ambos cultivos.

Trichoderma harzianum y Paecilomyces lilacinus

Para las diluciones de los productos Trichozam® y Pazam®, se pesó 19.81 g y se diluyó en un litro agua destilada. Para una concentración de 0.19 g de producto /planta.

Bacillus subtilis

Del producto comercial Serenade se usó 20 mL/L. Para una concentración de 0.8 mL de producto/planta.

Fertilización

A los 30 días del proceso de aclimatación se hizo la aplicación de Rootex en una concentración de 1.02 g/L en dosificaciones de 5 mL/ plantas. Este producto refuerza el sistema radicular, debido a su alta concentración de fósforo (Agrocorp S.A 2006); siete días después se aplicó Nitrato de potasio

en concentración de 6.77 g/L en dosificaciones de 5 mL/ planta. Este fertilizante sólido soluble con altas concentraciones de nitrógeno y potasio facilita el crecimiento de cultivos (Quimifer 2014). Siete días después se aplicó el fertilizante Triple 20, un sólido soluble que contiene Nitrógeno, Fósforo y Potasio, necesarios en las primeras etapas de desarrollo en las plantas. Se usaron concentraciones de 6.81 g/L en dosificaciones de 5 mL/ planta. Las concentraciones y dosificaciones de fertilizante fueron las mismas tanto para plátano como para camote. Las aplicaciones se realizaron después de las cuatro de la tarde.

Cuadro 1

Plan de fertilización en plántulas producidas in vitro de plátano y camote en fase de aclimatación

Nº de aplicación	Días DDT	Producto g/L	Dosis mL/planta
		Triple 20	
1	45	6.81	5
2	55	6.81	5
3	65	6.81	5
		Nitrato de potasio	
1	50	6.77	5
2	60	6.77	5
3	70	6.77	5
		Rootex	
1	30	1.02	5

Nota. Días después de trasplante (DDT)

Variables Evaluadas

Al día 55 después de la siembra se evaluó sobrevivencia de las plantas. También se midió altura de la planta y diámetro del tallo; las raíces fueron evaluadas la longitud, diámetro y volumen utilizando un escáner B700 con el software WinRhizo. Además, se midió peso fresco y peso seco de las plantas incluyendo raíces. A continuación, se detalla cómo se realizó las mediciones de cada variable.

Altura de la Planta

En plátano esta variable se la determinó midiendo la planta desde la base del pseudotallo hasta la punta de la hoja con mayor desarrollo, con una cinta métrica. En camote esta variable se determinó midiendo la planta desde la base del tallo hasta el ápice terminal, con una cinta métrica.

Diámetro de la Planta

Esta variable se la determinó usando un pie de rey, herramienta utilizada para medir diámetro. En el plátano se colocó el utensilio en la base del pseudotallo y en camote en la base del tallo.

Peso Freso de la Planta

Se extrajeron las plantas de las bandejas de trasplante y se las lavó, quitando cualquier residuo del sustrato, después de ser escurridas, la planta y raíces fueron pesadas en una balanza analítica del Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales.

Peso Seco de la Planta

Para esta variable se colocaron las plantas completas (parte aérea y raíces) en una bolsa de papel, para luego ser trasladadas a los hornos por un lapso de 72 horas a 75°C aproximadamente, posteriormente fueron pesadas en una balanza analítica del Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales.

Sistema radical

Entre el día 55 hasta el día 60, después de medir las variables de altura, diámetro y peso fresco de las plantas, las raíces de cada planta fueron escaneadas en un escáner EPSON B700 sumergiendo las raíces en agua destilada en un contenedor de 30 x 10 x 3 cm, donde se las extendió para facilitar la imagen, utilizando un software WinRhizo.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Para esta investigación se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), en el que se evaluaron cuatro tratamientos *Trichoderma harzianum*, *Paecilomyces lilacinus*, *Bacillus subtilis* y testigo. En el cultivo de plátano se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento con 18 plantas cada

una, 72 plantas por tratamiento, con 16 unidades experimentales; se tuvo un total de 288 plantas de plátano. En camote se usaron 50 plántulas por tratamiento, 4 unidades experimentales; se tuvo un total de 200 plantas de camote.

Los datos fueron analizados en el programa estadístico Infostat, donde se realizó Análisis de varianza y para la separación de medias la prueba de Duncan con un nivel de significancia de $P < 0.05$.

Resultados y Discusión

Plátano

A los 55 días después de la siembra, en el cultivo del plátano se observó 100% de sobrevivencia en etapa de aclimatación en todos los tratamientos incluido el testigo.

Altura y Diámetro de las Plántulas

Los tratamientos inoculados con *Bacillus subtilis* y *Paecilomyces lilacinus* presentaron una mayor longitud del tallo (altura) en comparación con *Trichoderma harzianum* (Cuadro 2), el testigo fue el que menor altura presentó ($P < 0.0001$). Esto indica que los microorganismos inoculados ejercen efecto en el crecimiento de las plántulas. Escriba (2021) afirma que *Paecilomyces lilacinus* influye en el crecimiento de plántulas, así mismo Anguiano (2020) muestra que *Bacillus subtilis* al ser un biofertilizante incrementa la longitud de las plántulas.

Para el diámetro del tallo se observó que las plantas inoculadas con *Trichoderma harzianum* y *Paecilomyces lilacinus* presentaron un mayor diámetro, a diferencia de los demás tratamientos. Por otro lado plantas inoculadas con *Bacillus subtilis* no presentaron diferencias comparadas con las plántulas del tratamiento testigo, Castillo (2022) indicó que *Paecilomyces lilacinus* y *Trichoderma harzianum* promueve el desarrollo del diámetro del tallo en el cultivo de plátano.

Cuadro 2

Efecto de Trichoderma harzianum, Paecilomyces lilacinus y Bacillus subtilis en la altura (cm) y diámetro (mm) in vitro plantas de plátano en etapa de aclimatación

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro tallo (mm)
<i>Trichoderma harzianum</i>	29.90 b	3.67 a
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	31.61 a	3.66 a
<i>Bacillus subtilis</i>	31.15 a	3.06 b
Testigo	27.48 c	3.07 b
Coefficiente de variación %	7.88	2.02
Probabilidad	<0.0001	<0.0001
R ²	0.15	0.22

Peso Fresco y Peso Seco de las Plántulas

Las plantas inoculadas con *Paecilomyces lilacinus* lograron el mayor peso fresco (Cuadro 3). Pucheta et al. (2006), indica que *Paecilomyces lilacinus* tiene la capacidad de asociarse con plántulas permitiendo mayor absorción de nutrientes, de manera que incrementa su crecimiento vegetativo. Por otro lado *Bacillus subtilis* presentó el menor peso fresco de las plántulas a comparación del resto de tratamientos

Las plantas inoculadas con *Trichoderma harzianum* mostraron mayor peso seco (Cuadro 3). Bendezu Castillo (2017) explica que, el uso de este microorganismo aprovecha el uso de nutrientes en las plantas, incrementando materia seca del cultivo. Por otro lado *Bacillus subtilis* difirió entre los tratamientos debido a que mostró un resultado menor.

Cuadro 3

Efecto de Trichoderma harzianum, Paecilomyces lilacinus y Bacillus subtilis en peso fresco y peso seco en vitroplantas de plátano en etapa de aclimatación

Tratamiento	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
<i>Trichoderma harzianum</i>	15.26 a	1.34 a
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	14.94 a	1.04 b
<i>Bacillus subtilis</i>	11.17 b	0.87 c
Testigo	14.27a c	1.07 b
Coefficiente de variación %	18.62	27.45
Probabilidad	<0.0001	<0.0001
R ²	0.29	0.28

Longitud, Diámetro y Volumen de las Raíces

Las variables medidas en raíces de las plantas de todos los tratamientos pueden verse afectadas por la manipulación realizada al momento de retirar las plantas de las bandejas y eliminar el sustrato, las plantas fueron lavadas para medir variables y antes de ser escaneadas para la medición de las variables de raíces. La falta de experiencia de la investigadora pudo causar efectos en la pérdida de material vegetal, especialmente de raíces.

Trichoderma harzianum y el tratamiento testigo mostraron una mayor longitud y volumen en la raíz, en comparación con *Paecilomyces lilacinus* y *Bacillus subtilis* que presentaron un menor volumen y longitud radicular, según Sofo et al. (2012) indica que *Trichoderma harzianum* incrementa el desarrollo radicular en plántulas en fase de aclimatación.

Las plantas sin inoculas tuvieron el mejor diámetro radicular, seguidas de plantas inoculadas con *Trichoderma harzianum* y *Paecilomyces lilacinus* (Cuadro 4). Por otro lado el tratamiento con *Bacillus subtilis* tuvieron menor diámetro radicular. Rossi y Romero (2010) mostraron que *Trichoderma harzianum* es un biofertilizante de manera que solubiliza nutrientes, logrando mayor crecimiento de la planta tanto aérea como radicular. Por otro lado D. Romero (2004) con *Paecilomyces lilacinus*, enseña que este microorganismo solubiliza fosfato, elemento importante para el crecimiento radicular.

Cuadro 4

Efecto de Trichoderma harzianum, Paecilomyces lilacinus y Bacillus subtilis, en el crecimiento de raíces in vitro plantas de plátano en etapa de aclimatación

Tratamiento	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Volumen (cm ³)
<i>Trichoderma harzianum</i>	1061.56 a	0.52 ab	2.34 a
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	687.03 b	0.51ab	1.24 b
<i>Bacillus subtilis</i>	505.59 c	0.49 b	1.01b
Testigo	1077.63 a	0.54 a	2.38 a
Coeficiente de variación	22.12	0.38	3.10
Probabilidad	<0.0001	<0.0185	<0.0001
R ²	0.32	0.03	0.42

Camote

A los 60 días después de la siembra, en el cultivo de camote se observó 100% de sobrevivencia en etapa de aclimatación en todos los tratamientos

Altura y Diámetro de las Plántulas

Las plantas inoculadas con *Paecilomyces lilacinus* y *Bacillus lilacinus* presentaron una mayor altura en la planta (Cuadro 5), en comparación con las plantas testigo que fue el que menor altura presentó. Moreno-Gavira et al. (2020) determina que la inoculación con *Paecilomyces lilacinus* en plántulas aclimatadas incrementa la longitud del tallo. Por otro lado Pedraza-Herrera et al. (2020) indica que *Bacillus subtilis* produce hormonas de crecimiento, logrando mayor desarrollo en plantas.

Para el diámetro del tallo de las plantas, la inoculación con *Trichoderma harzianum* presentó un mayor diámetro (Cuadro 5), las plantas testigo presentaron menor diámetro entre los demás tratamientos. Esto comprueba que *Trichoderma harzianum* logra un desarrollo en el tallo del cultivo debido a que produce auxinas, giberelinas y citocininas, lo que lo hace un microorganismo fitoestimulador de crecimiento.

Cuadro 5

Efecto de Trichoderma harzianum, Paecilomyces lilacinus y Bacillus subtilis, evaluando altura (cm) y diámetro (mm) in vitro plantas de camote en etapa de aclimatación

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (cm)
<i>Trichoderma harzianum</i>	18.80 b	1.40 a
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	19.73 ab	1.29 b
<i>Bacillus subtilis</i>	20.92 a	1.23 b
Testigo	16.85 c	1.09 c
Coefficiente de variación %	6.42	1.10
Probabilidad	<0.0001	<0.0001
R ²	0.12	0.16

Peso Fresco y Peso Seco de las Plántulas

Las plantas inoculadas con *Paecilomyces lilacinus* lograron el mayor peso fresco (Cuadro 6), Sun et al. (2021) demuestra que el uso de este microorganismo se asocia con la planta permitiendo solubilizar fosfatos, de manera que existe mayor captación de nutriente que incrementan desarrollo vegetal de las plantas. Por otro lado *Bacillus subtilis* presentó el menor peso fresco de las plántulas a

comparación del resto de tratamientos, acción dada debido a que quizás tuvo un bajo nivel de inoculación en las plantas.

En peso seco las plantas inoculadas con microorganismos no tuvieron diferencias comparándolas con el tratamiento testigo, estos resultados se deben a que hubo pérdidas de material vegetal por mala manipulación y manejo al momento de medir demás variables.

Cuadro 6

Efecto de Trichoderma harzianum, Paecilomyces lilacinus y Bacillus subtilis en comparación con un testigo, midiendo variables de peso fresco y peso seco in vitro plantas de camote en etapa de aclimatación

Tratamiento	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
<i>Trichoderma harzianum</i>	3.70 b	0.23
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	4.72 a	0.20
<i>Bacillus subtilis</i>	2.36 c	0.23
Testigo	3.60 b	0.22
Coefficiente de variación %	5.71	0.75
Probabilidad	<0.0001	0.7870
R ²	0.28	0.01

Longitud, Diámetro y Volumen de las Raíces

En longitud de la raíz, plantas testigo mostraron alta longitud de raíces, y por otro lado *Bacillus subtilis* mostró la menor longitud en la raíz de la planta (Cuadro 7). Plantas inoculadas con *Trichoderma harzianum* y *Paecilomyces lilacinus* mostraron altos resultados en el diámetro y volumen de la raíz (Cuadro 8), Fernandez et al. (2016) afirma que *Paecilomyces lilacinus* se asocia con las plantas, de forma que mejora la absorción de nutrientes, lo que permite mayor crecimiento radicular y G. Romero et al. (2008) presenta que *Trichoderma harzianum* solubiliza fosfatos, lo que provoca un incremento radicular en las plantas. Por otro lado la inoculación con *Bacillus subtilis* presentó menor diámetro y volumen en las raíces, sin embargo en la variable de volumen predominaron las plantas testigo sin infección de ningún microorganismo.

Estos resultados pudieron variar debido a la manipulación al momento de lavar las raíces para ser escaneadas, ya que se pudo perder por no tener suficiente experiencia realizando este proceso.

Cuadro 7

Efecto de Trichoderma harzianum, Paecilomyces lilacinus y Bacillus subtilis, en vitroplantas de camote en etapa de aclimatación

Tratamiento	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Volumen (cm ³)
<i>Trichoderma harzianum</i>	676.28 b	0.35 a	0.62 a
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	685.05 b	0.35 a	0.74 a
<i>Bacillus subtilis</i>	425.86 c	0.31 b	0.32 b
Testigo	859.20 a	0.31 b	0.68 a
Coeficiente de variación	21.80	0.14	1.31
Probabilidad	<0.0001	<0.0001	<0.0001
R ²	0.25	0.30	0.23

Conclusiones

Los microorganismos evaluados promovieron el crecimiento en el cultivo de plátano y camote en fase de aclimatación.

Paecilomyces lilacinus y *Bacillus subtilis* mejoraron la altura de plátano y camote.

Las plantas aumentaron peso fresco con la aplicación de *Paecilomyces lilacinus* en ambos cultivos.

Recomendaciones

Hacer revisiones de infección y colonización de los microorganismos en las raíces del cultivo.

Medir periódicamente (semanalmente) las variables en longitud, diámetro y volumen de raíz.

Referencias

- Anguiano, J. (2020). Evaluation of *Bacillus subtilis* as promoters of plant growth. *Revista Bio Ciencias*, 6. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-33802019000100113&script=sci_abstract&tIng=en
- Arias, P., Dankers, C., Liu Pascal y Pilkauskas, P. (2004). *La economía mundial del banano: 1985-2002. Estudios FAO. Productos básicos: Vol. 1.* FAO.
- Basurto, F., Martínez, D., Rodríguez, T., Evangelista, V., Mendoza, M., Castro, D., González, J. C. y Vaylón, V. (2015). Conocimiento actual del cultivo de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) en México. *Agroproductividad*, 8(1), 30–34. <https://biblat.unam.mx/hevila/Agroproductividad/2015/vol8/no1/5.pdf>
- Bendezu Castillo, R. E. (2017). *Control de Meloidogyne sp. en vivero de Coffea arabica L. mediante quinoleína fenólica, Paecilomyces lilacinus y estiércol en la zona satipo.* Satipo, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4026/Bendezu%20Castillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Candellero, D. J., Cristobal, A. J., Reyes, R. A. y Tun, S. J. (2015). *Trichoderma spp.* promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagónicas contra *Meloidogyne incognita*. *Revista Internacional De Botánica Experimental*, 113–119. <https://cicy.repositorioinstitucional.mx/>
- Castillo, T. (2022). Alternativas biológicas y químicas para el manejo fitonemátodos en cultivo de plátano AAB (*Musa paradisiaca* L.) en Rivas, - Nicaragua. *Revista Universitaria Del Caribe.* <http://ceimm.uraccan.edu.ni/index.php/Caribe/article/view/1041/4159#info>
- Cruz, F. (2012). *Micropropagación.* México. Universidad Nacional Autónoma de México; Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. http://portal.cuautitlan.unam.mx/manuales/micropropagacion_manualprac.pdf
- Druzhinina, I. S., Chenthamara, K., Zhang, J., Atanasova, L., Yang, D., Miao, Y., Rahimi, M. J., Grujic, M., Cai, F., Pourmehdi, S., Salim, K. A., Pretzer, C., Kopchinskiy, A. G., Henrissat, B., Kuo, A., Hundley, H., Wang, M., Aerts, A., Salamov, A., . . . Kubicek, C. P. (2018). Massive lateral transfer of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes to the mycoparasitic fungus *Trichoderma* from its plant-associated hosts. *PLoS Genetics*, 14(4), e1007322. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007322>
- Earl, A. M., Losick, R. y Kolter, R. (2008). Ecology and genomics of *Bacillus subtilis*. *Trends in Microbiology*, 16(6), 269–275. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2008.03.004>
- Escriba, J. (2021). *Efecto de Paecilomyces lilacinus y materia orgánica en nemátodos de Capsicum annum en Mazamari.* Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7073/T010_70927297_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fernandez, G., Cerna, L. y Chico, J. (2016). Eficacia de *Paecilomyces lilacinus* en el control de *Meloidogyne incognita* que ataca al cultivo de *Capsicum annum*, “pimiento piquillo”. *Fitosanidad*, 20(3), 109–119. <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209155121001.pdf>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Sweet potatoes*. <http://www.fao.org/faostat/en/#search/Sweet%20potatoes>
- Harman, G., Howell, C., Viterbo, A. y Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species-opportunistic avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2, 43–45. <https://www.nature.com/articles/nrmicro797>
- Mora-González, A. F., Naranjo-Morán, J. A., Albiño-Quitiaquez, A., Flores-Cedeño, J. A., Oviedo-Anchundia, R., Galarza-Romero, L., Vera-Oyague, M. y Barcos-Arias, M. S. (2021). Optimización en la aclimatación de plántulas micropropagadas de banano (*Musa sp.*) utilizando tres insumos orgánicos. *Bionatura*, 6(1), 1452–1461. <https://doi.org/10.21931/rb/2021.06.01.3>
- Moreno-Gavira, A., Huertas, V., Diánez, F., Sánchez-Montesinos, B. y Santos, M. (2020). Paecilomyces and Its Importance in the Biological Control of Agricultural Pests and Diseases. *Plants (Basel, Switzerland)*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/plants9121746>
- Olivera, J. y Marcelo, F. (2010). *Micropropagación de Plantas de Camote (Ipomea batatas L.) Libres de Virus* (núm. 8-10). Lima, Perú. <https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/165/1/Plantas>
- Pedraza-Herrera, L. A., Lopez-Carrascal, C. E. y Uribe Vélez, D. (2020). Mecanismos de acción de Bacillus spp. (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta Biológica Colombiana*, 25(1), 112–125. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>
- Pucheta, M., Flores, A., Rodriguez, S. y La Torre, M. de (2006). Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *Interciencia*, 31(12), 856–860. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33901204.pdf>
- Romero, D. (2004). *Efectos de la aplicación de Paecilomyces lilacinus en el control de Meloidogyne spp. en pepino* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/6db4bbd3-3a1e-4c9b-a7cb-3c5987b2a501/content>
- Romero, G., Crosara, A. y Baraibar Amalia (2008). *Trichoderma harzianum*: un biocontrol y biopromotor en vivero de especies forestales. *INFOR*, 14(2), 335–345. <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/18822/26538.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rossi, C. y Romero, G. (2010). Evaluación de *Trichoderma harzianum* como agente biopromotor y de biocontrol en plantines de *Eucalyptus dunnii* maiden. *INIA*. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12557/1/SAD629P33-36.pdf>
- Salazar, C., Betancourth, C. y Castillo, Á. (2012). Efecto de controladores biológicos sobre el nematodo *Meloidogyne Spp* en lulo (*Solanum quitoense Lam*). *Dialnet*, 29(2), 81–92. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104141>
- Sun, T., Wu, J. y Ali, S. (2021). Morphological and molecular identification of four *Purpureocillium* isolates and evaluating their efficacy against the sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00372-y>

- Tejera-Hernandez, B., Rojas, M. y Heydrich, M. (2010). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 42, 131–138. <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181222321004.pdf>
- Zhang, C., Druzhinina, I. S., Kubicek, C. P. y Xu, T. (2005). **Trichoderma** biodiversity in China: Evidence for a North to South distribution of species in East Asia. *FEMS Microbiology Letters*, 251(2), 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2005.08.034>