

Efectos del uso de *Trichoderma spp.* en suelo arcilloso salino y plantas de banano etapa vegetativa

Andrea Rosemary Romero Cún¹

aromero7@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-1316-7041>

Universidad Técnica de Machala

El Oro - Ecuador

Maite Giselle Loayza Agurto

mloayza@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-8881-5515>

Universidad Técnica de Machala

El Oro - Ecuador

RESUMEN

En esta investigación, se abordó la problemática de los suelos salinos y el impacto negativo de los agroquímicos en el cultivo de banano clon Williams. El estudio se centró en evaluar la eficacia de la utilización de microorganismos y material vegetal para rehabilitar estos suelos salinos y mejorar el crecimiento inicial de las plantas de banano. El diseño experimental fue DCA, utilizando cuatro tratamientos diferentes y un total de 50 repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de *Trichoderma spirale*, *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido, junto con raquis picado en varias combinaciones. Estos tratamientos se compararon con un grupo de control que no recibió ningún tratamiento adicional. Los parámetros agronómicos evaluados fueron: altura de la planta, diámetro del pseudotallo y emisión foliar. También se evaluaron parámetros del suelo tales como: pH, C.E y M.O. Estos son indicadores cruciales del desarrollo y crecimiento de las plantas de banano. Los resultados demuestran significancia entre los tratamientos que utilizaron microorganismos y material vegetal, en comparación con el grupo de control. Esto sugiere que la aplicación de estas prácticas puede ser una estrategia efectiva para rehabilitar suelos salinos y promover el crecimiento saludable de las plantas de banano.

Palabras clave: *microorganismos; trichoderma spp; material vegetal; eficiencia*

¹ Autor principal

Correspondencia: aromero7@utmachala.edu.ec

Effects of the use of *Trichoderma* SPP. on Saline Clay Soil and Banana Plants Vegetative Stage

ABSTRACT

In this research, the problem of saline soils and the negative impact of agrochemicals on the cultivation of banana clone Williams was addressed. The study focused on evaluating the efficacy of using microorganisms and plant material to rehabilitate these saline soils and improve the initial growth of banana plants. The experimental design was DCA, using three different treatments and a total of 50 replicates. The treatments consisted of the application of *Trichoderma spirale*, *Trichoderma asperellum*, NPK and ground charcoal, together with chopped rachis in various combinations. These treatments were compared with a control group that received no additional treatment. The agronomic parameters evaluated were: plant height, pseudostem diameter, leaf emission and leaf area. Soil parameters such as pH, E.C. and M.O. were also evaluated. These are crucial indicators of banana plant growth and development. The results show significance between the treatments using microorganisms and plant material compared to the control group. This suggests that the application of these practices can be an effective strategy to rehabilitate saline soils and promote healthy growth of banana plants.

Key words: microorganisms; trichoderma spp; plant material; efficiency

*Artículo recibido 12 setiembre 2023
Aceptado para publicación: 25 octubre 2023*

INTRODUCCIÓN

El suelo, un recurso vital para la agricultura, alberga una diversidad de microorganismos que desempeñan un papel crucial en su salud y productividad. Estos microorganismos contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes esenciales para los cultivos que determinan las propiedades y productividad del suelo. Sin embargo, la pérdida de diversidad microbiana debido a la salinidad del suelo y el uso excesivo de agroquímicos amenazan esta biodiversidad y ponen en riesgo la capacidad del suelo para sustentar la vida vegetal y animal.

Para la adopción de enfoques agroecológicos y sustentables es esencial abordar los desafíos actuales en la agricultura, algunos tipos de microorganismos suelen ser utilizados para el control de salinidad y restauración del microbiota, debido a su mecanismo de acción en la producción de antibiosis y parasitismo para eliminar o neutralizar hongos fitopatógenos del suelo (Ramos & Terry, 2014). Es por esto, que se puede usar los microorganismos y material vegetal como enmiendas para mantener condiciones óptimas de humedad, aireación, pH, temperatura y materia orgánica; permitiendo el establecimiento, crecimiento y reproducción en la rizosfera en los cultivos.

El estudio de los microorganismos y material vegetal en el suelo y su interacción con la salud de los cultivos y el medio ambiente es un campo de investigación vital. La salinidad tiene un efecto negativo en el desarrollo de los cultivos ya que en estas condiciones el potencial osmótico del suelo supera al del sistema de las plantas limitando así la entrada del agua en la raíz, además, el uso indiscriminado de agroquímicos son otros factores que determinan la degradación de los suelos, la contaminación de acuíferos y la pérdida de microflora y microfauna que son parte fundamental en los procesos de mineralización de la materia orgánica.

La importancia de los microorganismos y el material vegetal en la salud del suelo y el cultivo de banano clon Williams ha sido un tema de creciente interés en la investigación agrícola. Se tiene en cuenta que están presentes en la superficie del suelo y pueden proporcionar un amortiguamiento físico, químico y biológico. Nannipieri *et al.*, (2017) mencionan que los microorganismos desempeñan roles cruciales en la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos, lo que resalta la vital importancia de conservar los suelos.

La degradación de los suelos por salinidad y agroquímicos es un problema que requiere atención urgente. Lamz & González, (2013) señalan que la salinidad del suelo puede ocurrir por las malas prácticas agrícolas, tales como el manejo incorrecto del riego, falta de canales drenaje en los suelos, uso de aguas residuales, aplicación inadecuada de fertilizantes orgánicos y químicos, lo que, a su vez, limita la absorción de agua por las plantas. Además, estos agroquímicos dañan el microbiota esencial para la salud del suelo.

En esta investigación se abordó la problemática de los suelos salinos y el impacto negativo de los agroquímicos en el cultivo de banano clon Williams. El estudio se centró en evaluar el efecto del uso de microorganismos (*Trichoderma* spp.) y material vegetal (raquis picado) en suelos con alto contenido de salinidad en un cultivo de banano. Olalde & Aguilera, (2018) demuestran que, en estudios actuales, esta estrategia es eficaz en la mitigación de la salinidad y la protección contra patógenos del suelo. La introducción de *Trichoderma* spp., en particular, ha mostrado resultados prometedores en el biocontrol de hongos fitopatógenos y la promoción del crecimiento de los cultivos.

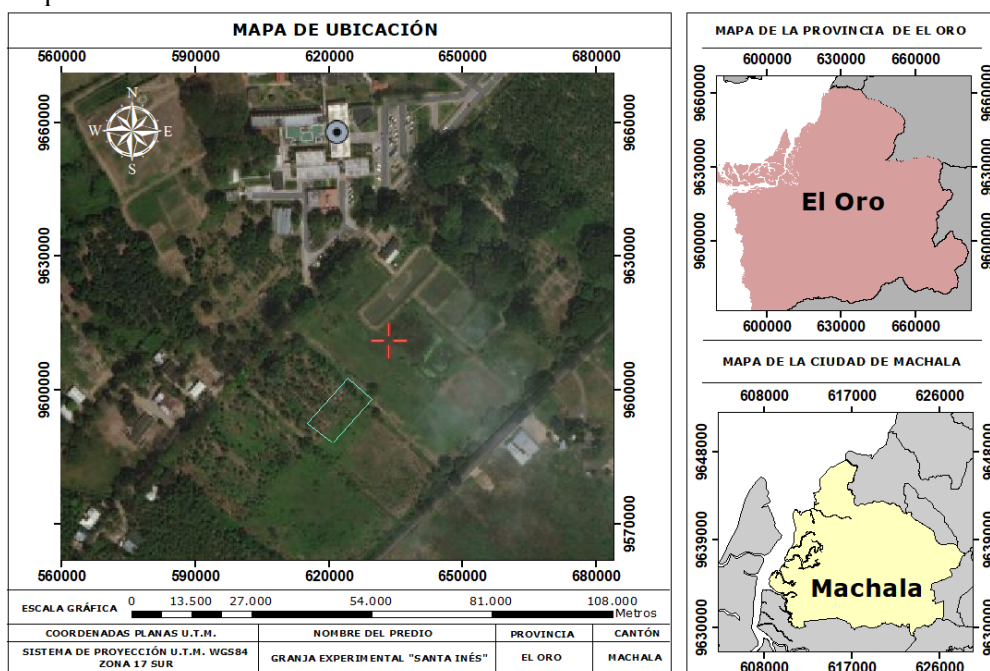
Un aspecto crucial de esta investigación fue analizar el efecto del microorganismo y material vegetal en la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo del cultivo de banano clon Williams en suelos con alto contenido de sales. Estos nutrientes son fundamentales para la salud de las plantas y su capacidad para resistir el estrés abiótico, como el causado por la salinidad. Esto ha impulsado el desarrollo y producción de bioproductos y el mejoramiento en prácticas agrícolas que fomentan la proliferación de microorganismos beneficiosos en el suelo que contribuye a la resistencia de los cultivos ante cualquier estrés.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en dos ambientes diferentes, en el Laboratorio de Sanidad Vegetal y los experimentos en la Granja Experimental “Santa Inés” de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, situada a 5,5 km de la vía Machala – Pasaje, parroquia El Cambio, cantón Machala, provincia de El Oro (Figura 1). El área de estudio se encontraba en las siguientes coordenadas geográficas: 03° 17' 32" S y 79° 54' 49" W, y con las siguientes características edafoclimáticas: suelos aluviales con una temperatura promedio de 25°C, de dos a tres horas de heliofanía diaria y una precipitación anual de 500 mm que determinan un clima de tipo bosque seco

Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio.



El material vegetal utilizado en la investigación fue una plantilla sembrada para el ensayo, por lo que las plantas de banano fueron tratadas desde etapa vegetativa, cultivar Williams, subgrupo Cavendish. Sembradas a tres bolillos y distribuidas en 4 bloques con un total de 200 plantas y un área total de 675 m². El diseño experimental que se llevó a cabo fue un diseño completamente al azar con 3 tratamientos más el testigo (T1, T2, T3 y T4) y 50 repeticiones por cada uno (Tabla 1). El trabajo de campo se efectuó durante el mes de junio hasta agosto de 2023.

Tabla 1
Tratamientos y dosis utilizadas en la investigación

Tratamientos	Composición	Dosis	Total de plantas
1	Trichoderma spirale	50 ml/l	10
	Raquis picado	2,27 kg	
2	Trichoderma asperellum	90 ml/l	10
	Raquis picado	1,81 kg	
	NPK	40 gr	
	Carbón molido	4 gr	
3	Raquis picado	1,36 kg	10
	NPK	20 gr	
	Carbón molido	2 gr	
4	Testigo	No se aplica	10

Elaborado por autores

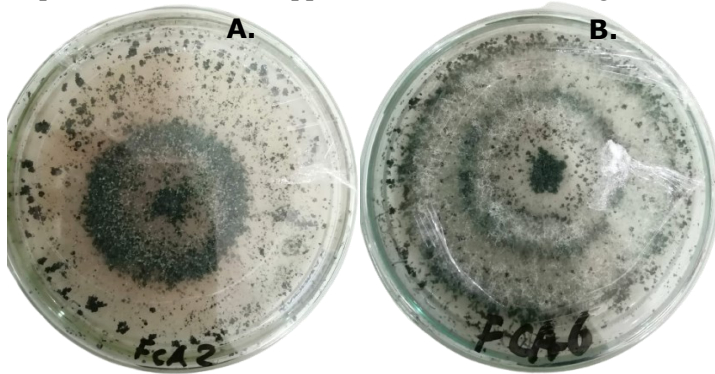
La Tabla 1 resume la composición y el número total de plantas utilizadas en las repeticiones, seleccionadas completamente al azar por cada unidad experimental de las cuales se realizó la recolección de datos semanalmente. En los 3 primeros tratamientos se aplicaron diferentes dosis de microorganismos y material vegetal. El cuarto tratamiento se lo utilizó como testigo para evaluar el efecto de la aplicación edáfica y determinar la eficiencia de los tratamientos.

Propagación del microorganismo

Se replicaron 2 tipos de cepas de *Trichoderma* spp., las cuales fueron *Trichoderma spirale* y *Trichoderma asperellum*, que habían sido previamente aisladas y purificadas. Estas cepas se cultivaron en un medio de cultivo PDA (Figura 2). Para ello, se preparó 2 litros de PDA que se esterilizaron en autoclave a una temperatura de 121 °C durante una hora. Posteriormente, en una cámara de flujo laminar se llevó a cabo la siembra de las 2 cepas de *Trichoderma* spp. en placas Petri de vidrio, se aplicó la técnica de punción según la metodología empleada por Koch *et al.*, (2010).

Figura 2

Cepas de *Trichoderma* spp. utilizadas en la investigación



A. *Trichoderma asperellum* (FCA2); **B.** *Trichoderma spirale* (FCA6).

Preparación del sustrato

Se preparó un sustrato de arroz sin cascara, con un peso inicial de 2,27 kg, que se lavó en tres ocasiones, luego se le aplicó acromaxfenicol en polvo con el fin de desinfectar cualquier tipo de bacteria y mantener hidratado el arroz, después se removió tres veces cada 10 minutos y se dejó reposar durante una hora. Posteriormente, se botó el agua del sustrato de arroz, y una vez más se dejó reposar sobre una malla de acero hasta que el sustrato quede húmedo y sin escurrir. Finalmente, se pesó el sustrato y se colocó en

fundas quirúrgicas de polyfan para ser esterilizado en autoclave a una temperatura de 121 °C durante una hora. De este proceso dio como resultado un total de seis muestras de sustratos de arroz.

Inoculación de *Trichoderma* spp. en el sustrato

Para la multiplicación de las 2 cepas de *Trichoderma* spp. en el sustrato de arroz, se llevó a cabo la extracción de esporas y micelios de las placas Petri, se utilizó un asa tipo espátula. Estas cepas se colocaron en vasos de precipitación que contenían 40 ml de agua destilada y con la ayuda de un agitador magnético se mezcló durante 30 minutos hasta obtener una mezcla homogénea de coloración verde oscura. Luego, con una jeringa se tomó un volumen de 10 ml de la mezcla de agua destilada con *Trichoderma* spp. y se inyectó en las fundas que contenían el sustrato de arroz ya esterilizado. Finalmente, se guardó las muestras durante siete días a temperatura ambiente en un lugar con poca luz hasta obtener la esporulación de *Trichoderma spirale* y *Trichoderma asperellum*.

Dosificación de los tratamientos

Una vez que la *Trichoderma spirale* y *Trichoderma asperellum* han esporulado completamente en el sustrato de arroz, se extrajo 1 g de cada muestra y se introdujo en cada vaso de precipitación que contenían 500 ml de agua destilada. Después, con un agitador magnético se mezcló durante 30 minutos con el fin de lograr una distribución uniforme de las esporas en la solución. En el siguiente paso, se realizó el conteo de las esporas en una cámara de Neubauer, se agregó una gota de la solución a la cámara y se colocó un cubreobjetos encima antes de llevarla al microscopio. La observación se realizó con el objetivo de aumento de 40x que enfocaba en la cuadrícula central de la cámara de Neubauer.

Con la siguiente información recopilada se realizaron los cálculos según (Cañedo & Ames, 2004).

$$x * 25 * 10000 * Fd = \text{número de esporas por g/ml}$$

Donde;

x = número aproximado de esporas dentro de los 5 cuadrantes.

25 = total de cuadrantes.

0,1 mm = 10000 de 1 ml.

Fd = factor de dilución (cantidad de agua destilada a colocar 500 ml).

Labores culturales del cultivo

El cultivar Williams del subgrupo Cavendish ya establecido en la plantilla se encontró en etapa vegetativa, con las siguientes características: pseudotallo delgado con una altura aproximada de 50 cm, hojas ligeramente erguidas con pecíolos ligeramente largos, con un sistema de siembra a tres bolillos y una distancia de siembra de 2 m entre planta y 1 m entre surco.

Según Vizcaíno *et al.*, (2023) se ejecutaron las siguientes labores culturales en el manejo del cultivo de banano.

Control de arvenses: se empleó de manera mecánica la motoguadaña para la eliminación de malezas en el área experimental, con el propósito de evitar la competencia por nutrientes y agua.

Riego: el lugar de estudio disponía de un sistema de riego por aspersión. Por lo tanto, se llevó a cabo de dos a tres veces por semana con una duración de 40 minutos.

Deshoje: es la eliminación de las hojas inferiores que no tienen función debido a la presencia de sigatoka negra en etapas tempranas, se realizó con la ayuda de un curvo.

Deschante: se realizó la limpieza de las chantas o también llamadas vainas de las hojas que se forman en el pseudotallo, con el propósito de prevenir la aparición de plagas, se realizaba manualmente con la ayuda de un palín como instrumento de trabajo.

Deshije: esta labor consiste en descartar selectivamente los hijos mal ubicados e hijos de agua, se llevó a cabo mensualmente con la ayuda de un palín.

Aplicación de las cepas de microorganismo

Se efectuaron las aplicaciones de los tratamientos según las dosis especificadas en la Tabla 1. 50 ml de *Trichoderma spirale*, 2,27 kg de raquis picado para el tratamiento 1 en la parcela 3; 90 ml de *Trichoderma asperellum*, 1,81 kg de raquis picado, 40 g de NPK, 4 g de carbón molido para el tratamiento 2 en la parcela 1; 1,36 kg de raquis picado, 20 g de NPK, 2 g de carbón molido para el tratamiento 3 en la parcela 2; mientras que el tratamiento 4 en la parcela 4 es el testigo. Las diferentes cepas de *Trichoderma* spp. se mezclaron cada una en 20 litros de agua purificada en una fumigadora SkU: BN20 tipo mochila (Figura 3 A) y se aplicó al suelo en la base del pseudotallo de la planta. El intervalo de aplicación fue mensual en forma de drench para lograr cubrir toda la zona (Figura 3 B).

Figura 3

A. Fumigadora SKU: BN20 tipo mochila; **B.** Aplicación de los tratamientos.



Variables evaluadas

Altura de la planta (cm): corresponde a la medida total de la planta en su fase reproductiva, se empleó una cinta métrica para medir desde la base del pseudotallo hasta la intersección de las vainas de la primera y segunda hoja.

Diámetro del pseudotallo (cm): la medición del pseudotallo para determinar su crecimiento y desarrollo, mediante una cinta métrica.

Emisión foliar: se describe como el registro del crecimiento de la hoja en forma de cigarro. La toma de datos se realizó semanalmente desde el segundo mes de inicio del estudio.

Área foliar: implicó medir el cambio en el tamaño de la hoja más joven a lo largo del tiempo que permite determinar la tasa de crecimiento. Los datos necesarios se registraron al momento de finalizar el estudio y se consideró el número total de hojas sanas en la planta. Para cuantificar el área foliar de la planta se realizó según la metodología de (Kumar *et al.*, 2002).

$$\text{TLA} = L * B * 0.80 * N * 0.662$$

Dónde;

TLA = área foliar total de la planta

L y B = largo y ancho de la tercera hoja más joven

0,80 = factor de proporcionalidad

N = número total de hojas en la planta

0,662 = nuevo factor de coeficiente

pH: varias muestras fueron recolectadas de cada parcela, se incluyó muestras de la superficie, a 15 cm y a 30 cm de profundidad del suelo.

Conductividad eléctrica (dS/m): fue evaluada en diferentes muestras, se llevó a cabo mediciones precisas con un equipo especializado y se encontró variaciones significativas en los valores de conductividad entre las muestras analizadas.

Materia orgánica (%): se recolectaron muestras al azar y se llevó a cabo un análisis exhaustivo en laboratorio para determinar la calidad del suelo y capacidad de retener nutrientes y agua.

Análisis estadístico

Se utilizó un software especializado IBM SPSS Statistics, en donde se realizaron los análisis de varianza (ANOVA) de un factor para cada una de las variables medidas, que incluyeron la altura de la planta, el diámetro del pseudotallo, la emisión y área foliar. Además, se llevaron a cabo pruebas de comparación de medias, como la prueba de Tukey considerando un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0,05$), para identificar qué tratamientos mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí.

Estos análisis permitieron identificar si existían diferencias significativas entre los tratamientos y el grupo de control en términos de estos parámetros agronómicos. Esto proporcionó una comprensión más detallada de cómo, cada tratamiento afectó el crecimiento y desarrollo de las plantas de banano en suelos con alto contenido de salinidad.

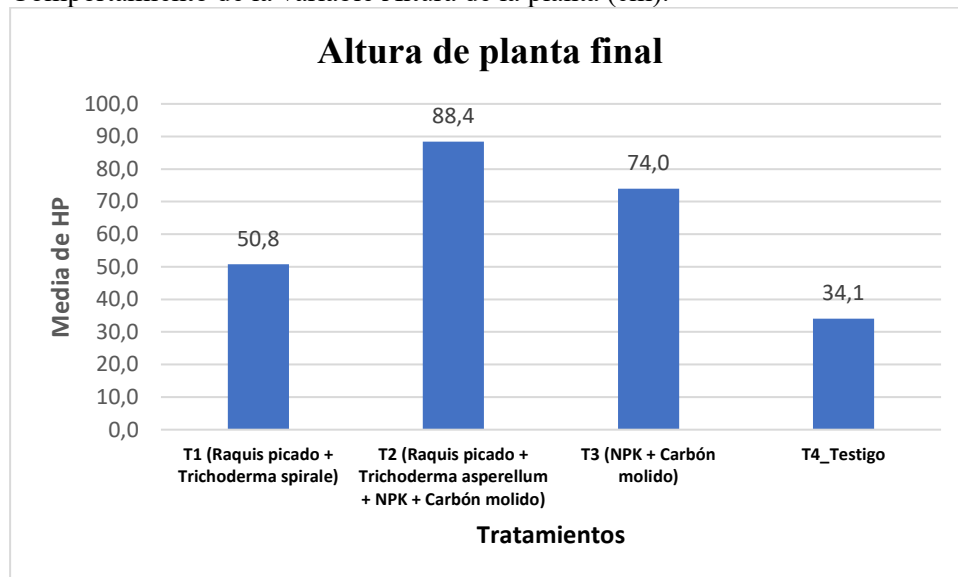
En las propiedades físicas y químicas del suelo, se analizaron los datos de pH, conductividad eléctrica y materia orgánica. Se compararon los valores iniciales con los valores obtenidos después de la aplicación de los tratamientos para determinar si había diferencias significativas en estas propiedades debido a la intervención de *Trichoderma* spp. y el material vegetal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtienen los siguientes resultados, la Figura 4 muestra el comportamiento de la variable.

Figura 4

Comportamiento de la variable Altura de la planta (cm).



La variable altura de planta de banano en suelos salinos, se mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T2, que incluyó la aplicación de raquis picado, *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido, exhibió la altura promedio más alta de 88.4 cm. Este resultado sugiere un impacto positivo notable en el crecimiento en altura de la planta en comparación con los otros tratamientos, según los resultados similares obtenidos por (Orellana, 2019).

El tratamiento T3, que consistió en la aplicación de NPK y carbón molido, presentó una altura promedio de 74.0 cm, también indicó un aumento significativo en la altura en comparación con el tratamiento T1.

En el tratamiento T1, que consistió en raquis picado y *Trichoderma spirale*, se registró una altura promedio de 50.8 cm, lo que señala un crecimiento moderado en altura en comparación con los tratamientos T2 y T3. El grupo de control (T4_Testigo), que no recibió ningún tratamiento adicional, mostró la altura más baja con un promedio de 34.1 cm, lo que sugiere un crecimiento limitado en altura en ausencia de los tratamientos aplicados en los otros grupos.

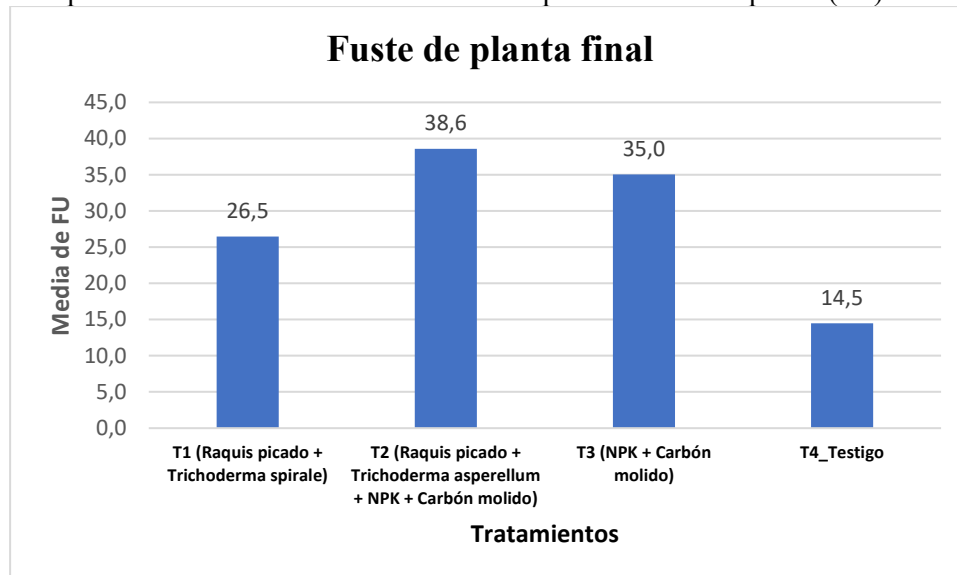
El tratamiento T2 indican que la combinación de raquis picado, *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido tuvo un efecto positivo en la altura de la planta de banano en suelos salinos, seguido por el tratamiento T3, que consistió en la aplicación de NPK y carbón molido. El tratamiento T1 con raquis picado y *Trichoderma spirale* mostró un crecimiento moderado en altura en comparación con los demás

tratamientos, mientras que el grupo de control (T4_Testigo) presentó la menor altura de la planta, lo que coincide con (Antón *et al.*, 2021).

La Figura 5 muestra un comportamiento de la variable Diámetro del pseudotallo de las plantas.

Figura 5

Comportamiento de la variable Diámetro del pseudotallo de la planta (cm).



En el tratamiento T2, que consistió en la aplicación de raquis picado, *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido, se registró un diámetro promedio del pseudotallo de 38.6 cm. Esto indicó un notable incremento en el diámetro en comparación con los otros tratamientos, lo que sugiere un efecto positivo de esta combinación de elementos en el crecimiento y desarrollo del pseudotallo. El tratamiento T3, que incluyó únicamente NPK y carbón molido, mostró un diámetro promedio del pseudotallo de 35.0 cm, también indicó un aumento en el diámetro en comparación con el tratamiento T1, lo cual coincide con los resultados obtenidos en estudios por (Blanco *et al.*, 2014)

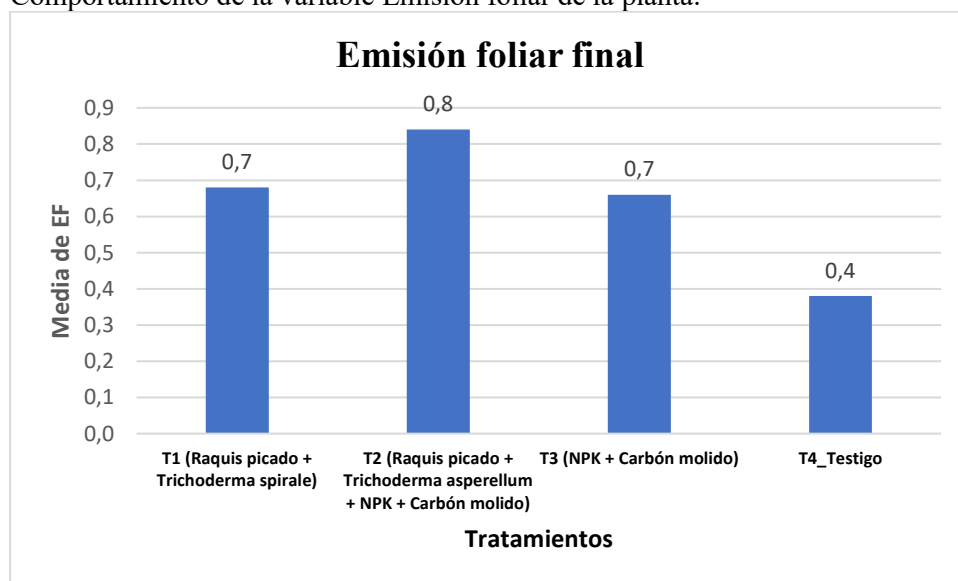
El tratamiento T1, que consistió en raquis picado y *Trichoderma spirale*, presentó un diámetro promedio del pseudotallo de 26.5 cm, lo que indica un crecimiento moderado en comparación con los tratamientos T2 y T3. El grupo de control (T4_Testigo), que no recibió ningún tratamiento adicional, mostró el diámetro del pseudotallo más bajo con un valor promedio de 14.5 cm, lo que sugiere un menor crecimiento del pseudotallo en ausencia de los tratamientos aplicados en los otros grupos.

Los resultados señalan que el tratamiento T2 con la combinación de raquis picado, *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido tuvo un impacto positivo significativo en el diámetro del pseudotallo de las plantas de banano en suelos salinos, seguido por el tratamiento T3, que consistió en la aplicación

de NPK y carbón molido. El tratamiento T1 con raquis picado y *Trichoderma spirale* mostró un crecimiento moderado en comparación con los demás tratamientos, mientras que el grupo de control (T4_Testigo) presentó el menor diámetro del pseudotallo, resultados similares fueron obtenidos por (Barrezueta *et al.*, 2022).

En la siguiente Figura 6 se muestra el comportamiento de la variable Emisión foliar de las plantas, se describe a continuación.

Figura 6
Comportamiento de la variable Emisión foliar de la planta.



En la variable emisión foliar, se observaron variaciones entre los tratamientos evaluados en el estudio. En el tratamiento T2, que incluyó la aplicación de raquis picado, *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido, se registró un promedio de emisión foliar de 0.8, lo que sugiere una producción ligeramente mayor de nuevas hojas en comparación con otros tratamientos (Joseph, 2010). El tratamiento T1, que consistió en raquis picado y *Trichoderma spirale*, también mostró un promedio de emisión foliar de 0.7, lo que indica una producción moderada de nuevas hojas durante el período de estudio.

El tratamiento T3, que incluyó NPK y carbón molido, presentó una emisión foliar promedio de 0.7, similar a la registrada en el tratamiento T1. Esto sugiere que la adición de NPK y carbón molido, en ausencia de *Trichoderma asperellum*, no tuvo un efecto significativo en la producción de nuevas hojas en comparación con el tratamiento T1. En contraste, el grupo de control (T4_Testigo) mostró la emisión foliar más baja, con un promedio de 0.4, lo que indica que las plantas en este grupo produjeron menos

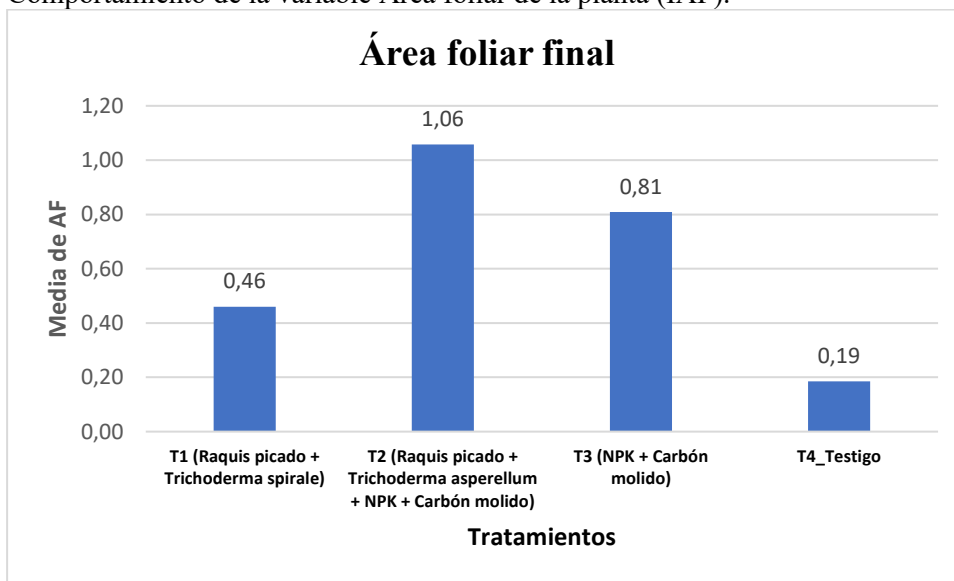
hojas nuevas en ausencia de tratamientos adicionales (Belduma, 2021).

Los resultados sugieren que el tratamiento T2, que incluyó raquis picado, *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido, promovió una mayor emisión foliar en las plantas de banano en suelos salinos, seguido por el tratamiento T1, que consistió en raquis picado y *Trichoderma spirale*. El grupo de control (T4_Testigo) presentó la emisión foliar más baja entre todos los tratamientos.

La Figura 7, comportamiento del Área foliar de las plantas se aprecia a continuación.

Figura 7

Comportamiento de la variable Área foliar de la planta (IAF).



El área foliar, mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en el estudio. En el tratamiento T2, que consistió en la aplicación de raquis picado, *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido, se registró el mayor promedio de área foliar con un valor de 1.06. Esto indica un notorio desarrollo de las hojas en comparación con los otros tratamientos. El tratamiento T3, que incluyó únicamente NPK y carbón molido, también mostró un incremento en el área foliar con un promedio de 0.81, aunque menor que el tratamiento T2. Esto sugiere que la adición de NPK y carbón molido influyó positivamente en el crecimiento de las hojas (Danay *et al.*, 2009).

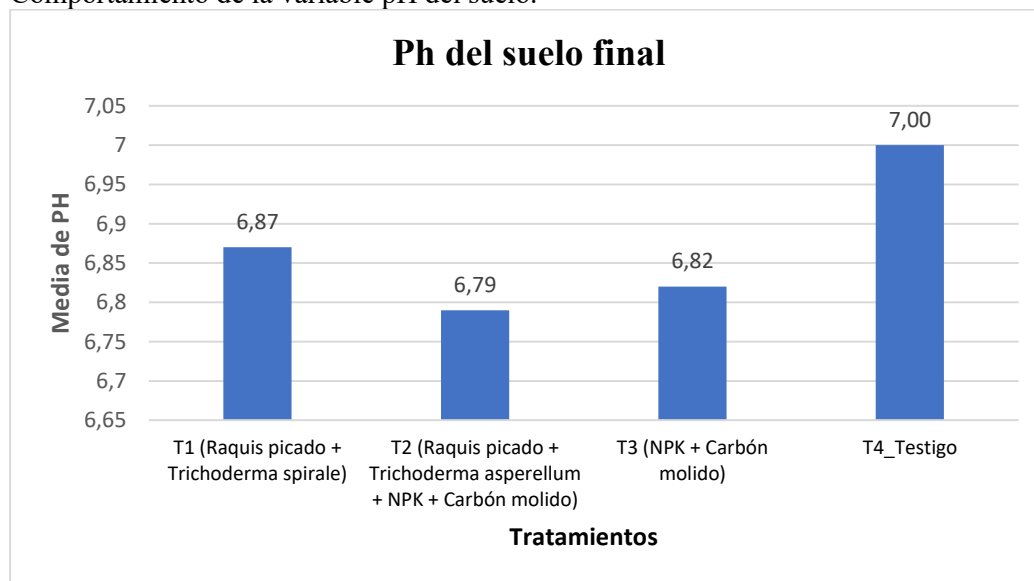
El tratamiento T1, que consistió en raquis picado y *Trichoderma asperellum*, mostró un promedio de área foliar de 0.46, lo que indica un crecimiento moderado de las hojas en comparación con los tratamientos anteriores. Por último, el grupo de control (T4_Testigo), que no recibió ningún tratamiento adicional, presentó el menor promedio de área foliar, con un valor de 0.19. Esto sugiere un desarrollo más limitado de las hojas en ausencia de los tratamientos aplicados en los otros grupos.

Estos resultados indican que el tratamiento T2 con la combinación de *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido tuvo el mayor impacto positivo en el desarrollo del área foliar de las plantas de banano en suelos salinos, seguido por el tratamiento T3 con la aplicación de NPK y carbón molido, mientras que el tratamiento T1 con raquis picado y *Trichoderma spirale* mostró un crecimiento moderado en comparación con los demás tratamientos, coincidiendo con los resultados de (González *et al.*, 2020)

La Figura 8 muestra el comportamiento del pH del suelo.

Figura 8

Comportamiento de la variable pH del suelo.



El pH del suelo es un indicador crítico de su acidez o alcalinidad, y un pH inicial de 6.90 se considera ligeramente ácido a neutro. En el contexto de los diferentes tratamientos aplicados en el estudio, se observaron variaciones en el pH del suelo. El tratamiento T2, que consistió en la aplicación de raquis picado, *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido, mostró un pH de 6.79. Esto indicó una disminución en la alcalinidad del suelo en comparación con el pH inicial, lo que sugiere que este tratamiento podría haber contribuido a un ligero aumento en la alcalinidad del suelo (Cuenca *et al.*, 2022)

El tratamiento T1, que consistió en raquis picado y *Trichoderma spirale*, presentó un pH de 6.87, lo que indica que el pH del suelo se mantuvo prácticamente sin cambios en comparación con el tratamiento T3. Este tratamiento no tuvo un efecto significativo en la acidez o alcalinidad del suelo. El tratamiento T3, que incluyó únicamente NPK y carbón molido, mostró un pH de 6.82, lo que indica que el pH del suelo se mantuvo prácticamente sin cambios en comparación con el tratamiento T1. Aunque la

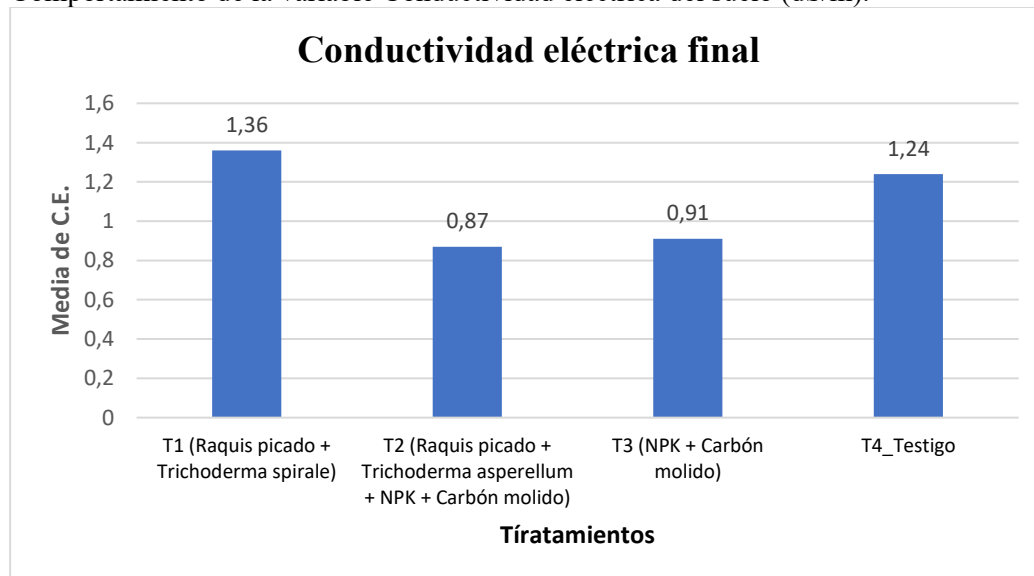
diferencia es mínima, indica que este tratamiento podría haber tenido un ligero efecto acidificante en el suelo.

El grupo de control (T4_Testigo), que no recibió ningún tratamiento adicional, presentó un pH de 7.00, lo que también indica un ligero aumento en la alcalinidad del suelo en comparación con el pH inicial. Los resultados muestran que los tratamientos T1 y T3 tuvieron efectos leves pero opuestos en la alcalinidad del suelo, con una disminución leve en el pH en el caso del tratamiento T1 y una disminución leve en el pH en el caso del T3. El grupo de control (T4_Testigo) prácticamente aumentó el pH inicial del suelo, coincidiendo con (Rita & Libutti, 2022).

En la Figura 9 podemos apreciar la variable de Conductividad eléctrica del suelo.

Figura 9

Comportamiento de la variable Conductividad eléctrica del suelo (dS/m).



La conductividad eléctrica del suelo es un indicador de su capacidad para conducir una corriente eléctrica, y puede estar relacionada con la concentración de sales disueltas en el suelo. En el contexto de los diferentes tratamientos aplicados en el estudio, se observaron diferencias en los valores de conductividad eléctrica del suelo. El tratamiento T2, que incluyó la aplicación de raquis picado, *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido, mostró el valor más bajo de conductividad eléctrica, con un registro de 0.87 dS/m. Esto sugiere que este tratamiento podría haber contribuido a una disminución en la concentración de sales disueltas en el suelo, lo que generalmente se considera beneficioso para la salud del suelo y el crecimiento de las plantas (Cortez, 2022).

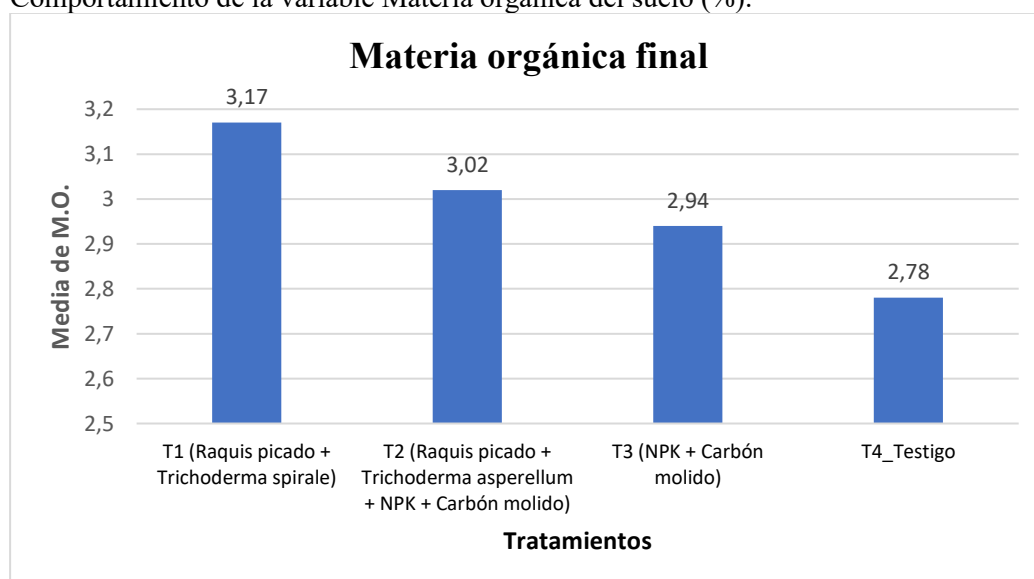
El tratamiento T3, que consistió en la aplicación de NPK y carbón molido, también exhibió una

conductividad eléctrica relativamente baja, con un valor de 0.91 dS/m. Esto indica que este tratamiento pudo haber tenido un efecto similar al T2 en la reducción de la concentración de sales en el suelo. El tratamiento T1, que incluyó raquis picado y *Trichoderma spirale*, presentó un valor de conductividad eléctrica ligeramente más alto, con un registro de 1.36 dS/m. Aunque este valor es mayor que los tratamientos T2 y T3, aún se considera relativamente bajo y sugiere una concentración de sales moderada en el suelo.

El grupo de control (T4_Testigo), que no recibió ningún tratamiento adicional, mostró el valor más alto de conductividad eléctrica, con un registro de 1.24 dS/m. Esto sugiere que el suelo en el grupo de control tenía una concentración relativamente más alta de sales disueltas en comparación con los tratamientos que recibieron enmiendas. los resultados indican que los tratamientos T2 y T3 contribuyeron a una disminución en la concentración de sales disueltas en el suelo, mientras que el tratamiento T1 y el grupo de control (T4_Testigo) mostraron valores de conductividad eléctrica ligeramente más altos, pero aún en un rango aceptable. La menor conductividad eléctrica en los tratamientos T2 y T3 sugiere una posible mejora en la calidad del suelo en términos de salinidad, resultados similares fueron refutados por (Tacuri, 2020).

El comportamiento de la variable Materia orgánica del suelo, se muestra en la Figura 10 y se describe a continuación.

Figura 10
Comportamiento de la variable Materia orgánica del suelo (%).



La materia orgánica en el suelo es una parte fundamental para mantener la fertilidad y la calidad del suelo, ya que proporciona nutrientes, mejora la estructura del suelo y retiene la humedad. Los valores de MO reflejan la cantidad de materia orgánica presente en el suelo y pueden indicar su estado de salud y calidad. En los resultados de los diferentes tratamientos aplicados en el estudio, se observa que todos los tratamientos, incluido el grupo de control (T4_Testigo), tienen valores de MO que están dentro de un rango relativamente estrecho, coincidiendo con (Llanos, 2021).

El tratamiento T1, que consistió en raquis picado y *Trichoderma spirale*, mostró el valor más alto de MO, con un registro de 3.17 %. Esto sugiere que este tratamiento pudo haber contribuido a un aumento en la cantidad de materia orgánica en el suelo, lo que generalmente es beneficioso para la fertilidad del suelo y la retención de nutrientes. El tratamiento T2, que incluyó raquis picado, *Trichoderma asperellum*, NPK y carbón molido, también presentó un valor de MO relativamente alto, con un registro de 3.02 %. Esto indica que este tratamiento podría haber tenido un efecto positivo en la acumulación de materia orgánica en el suelo.

El tratamiento T3, que consistió en la aplicación de NPK y carbón molido, registró un valor de MO de 2.94 %. Aunque este valor es ligeramente más bajo que los tratamientos T1 y T2, aún se considera dentro de un rango aceptable y sugiere que este tratamiento podría haber mantenido o incluso mejorado la materia orgánica en el suelo. El grupo de control (T4_Testigo) mostró un valor de MO de 2.78 %, que es ligeramente más bajo que los tratamientos T1, T2 y T3, pero aún se encuentra en un rango aceptable. Los resultados indican que todos los tratamientos, incluido el grupo de control (T4_Testigo), mantuvieron niveles de materia orgánica en el suelo dentro de un rango aceptable. El tratamiento T1 mostró el valor más alto de MO, seguido por T2, T3 y el grupo de control (T4_Testigo), lo que sugiere que estos tratamientos podrían haber contribuido a una mejora en la acumulación de materia orgánica en el suelo en comparación con el suelo sin tratar.

CONCLUSIONES

Los tratamientos con la aplicación de *Trichoderma* spp. y material vegetal (raquis picado), mostraron un impacto positivo en el crecimiento y desarrollo de las plantas de banano. Los tratamientos, en particular T1 (Raquis picado + *Trichoderma spirale*) y T2 (Raquis picado + *Trichoderma asperellum* + NPK + carbón molido), mostraron un aumento significativo en la altura de la planta, el diámetro del

pseudotallo, la emisión y el área foliares en comparación con el grupo de control (T4_Testigo). Esto sugiere que la combinación de *Trichoderma* spp. y material vegetal puede promover un mejor desarrollo de las plantas de banano en suelos salinos.

Con la aplicación de *Trichoderma* spp. y material vegetal se apreció una disminución en la conductividad eléctrica del suelo, lo que sugiere una posible reducción en la concentración de sales disueltas en el suelo. Esto es notable en el tratamiento T2, que mostró la conductividad eléctrica más baja de todos los tratamientos.

El raquis picado y *Trichoderma* spp. mostraron un aumento en los contenidos de materia orgánica del suelo. Esto es particularmente evidente en el tratamiento T1, que exhibió el valor más alto de materia orgánica. El aumento de la materia orgánica es esencial para mejorar la calidad del suelo, aumentar su capacidad de retención de nutrientes y agua, y promover la salud del suelo en general.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antón-Herrero, R., Vega-Jara, L., García-Delgado, C., Mayans, B., Camacho-Arévalo, R., Moreno-Jiménez, E., . . . Eymar, E. (june de 2021). Synergistic effects of biochar and biostimulants on nutrient and toxic element uptake by pepper in contaminated soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jsfa.11343>
- Barrezueta-Unda, S., Condoy Gorotiza, A., & Sanchez Pilcorema, S. (abril de 2022). Efecto del biocarbón en el desarrollo de las plantas de banano (*Musa AAA*) en fincas a partir de un manejo orgánico y convencional. *Revista Enfoque Ute*.
<https://www.redalyc.org/journal/5722/572270556004/html/>
- Belduma, B. F. (septiembre de 2021). Biocarbón obtenido de restos de plantas cosechadas como enmienda edáfica vegetal en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca* L.). Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Machala.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17463/1/TTUACA-2021-IA-DE00045.pdf>
- Blanco Espinoza, G. G., Linares, B. A., Guédez Falconete, R. P., Hernández Fermín, J. B., & Rincón, C. A. (diciembre de 2014). Efecto de diferentes dosis de extractos de plátano sobre el

crecimiento de plantas in vitro del mismo cultivo en aclimatización. Revista Agronomía Tropical.

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2014000200005

Cañedo, V., & Ames, T. (2004). Manual de laboratorio para el manejo de hongos entomopatógenos. Trabajo de titulación, Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú.:

<http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/AN65216.pdf>

Cortez Loor, D. A. (2022). Efecto del vermicompost en el desarrollo de plantas de banano en la etapa de vivero. Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Machala. :

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20146/1/TTUACA-2022-IA-DE00012.pdf>

Cuenca Sedamanos, J. A., Quevedo Guerrero, J., Tuz Guncay, I., & Vera Cruz, E. (octubre de 2022). Trichoderma spp: Propagación, dosificación y aplicación en el cultivo de maíz (Zea mays L.). Revista Ciencia y Agricultura.

https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_agricultura/article/view/14692/12420

Danay Infante, B. Martínez, Noyma González, & Yusimy Reyes. (2009). Mecanismos de acción de Trichoderma frente a hongos fitopatógenos. Revista Scielo.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522009000100002

González-Marquetti, I., Rodríguez, M. G., Delgado-Oramas, B. P., & Schmidt, H.-P. (agosto de 2020). Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas. Revista de Protección Vegetal.

https://www.academia.edu/78420065/Biochar_y_su_contribuci%C3%B3n_a_la_nutri%C3%B3n_crecimiento_y_defensa_de_las_plantas

Koch Alma, Naranjo Blanca, & Páez Maritza. (2010). Determinación de la actividad enzimática de lacasas y lignina peroxidasas de hongos degradadores de colorantes seleccionados para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil. Trabajo de titulación, Escuela Politécnica del Ejército de México.: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5269/1/AC-BIO-ESPE-033267.pdf>

- Kumar, N., Krishnamoorthy, V., Soorianathasundharam, K., & Nalina, L. (2002). A new factor for estimating total leaf area. *Revista Infomusa*, 42-43.
<https://www.musalit.org/seeMore.php?id=14204>
- Lanz Piedra, A., & González Cepero, M. (diciembre de 2013). La salinidad como un problema en la agricultura: La mejora vegetal una solución inmediata. *Revista Cultivos Tropicales*.
<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193228546005.pdf>
- Llanos Rios, E. M. (abril de 2021). Drench: Evaluación de aplicaciones mensuales de soluciones nutritivas en banano y sus efectos en la producción y calidad de fruto. Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Machala.:
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16556/1/TTUACA-2021-IA-DE00022.pdf>
- Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M. T., Landi, L., Pietramellara, G., Renella, G., & Valori, F. (enero de 2017). Microbial diversity and microbial activity in the rhizosphere. *Revista Scielo*.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672007000100011&script=sci_arttext
- Olalde Portugal, V., & Aguilera Gómez, L. (septiembre de 2018). Microorganismos y Biodiversidad. *Revista Terra Latinoamericana*. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57316312.pdf>
- Orellana Calle, C. R. (junio de 2019). Influencia de dos residuos de cosecha más microorganismos eficientes en el desarrollo y producción de banano (*Musa acuminata*), El Guabo - El Oro. Universidad Agraria del Ecuador. :
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ORELLANA%20CALLE%20CHRISTOPHER%20RAUL.pdf>
- Ramos Agüero, M. D., & Terry Alfonso, D. E. (diciembre de 2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Revista Scielo*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007
- Rita Rivelli, A., & Libutti, A. (agosto de 2022). Effect of Biochar and Inorganic or Organic Fertilizer Co-Application on Soil Properties, Plant Growth and Nutrient Content in Swiss Chard. *Journal Agronomy*. <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/9/2089>

Tacuri Garcia, C. A. (diciembre de 2020). Evaluación de fertilización aplicada al pseudotallo de banano (Musa x paradisiaca L.) Cavendish gigante con fuentes distintas de potasio. . Obtenido de Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Machala.: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16149/1/TTUACA-2020-IA-DE00032.pdf>

Vizcaíno Cabezas, D. A., Betancourt, R., Jaramillo Dávalos, S. I., Vaca, I., Moreno Gálvez, L., Morales, W., & Amancha, G. (marzo de 2023). Manual de Aplicabilidad de Buenas Prácticas Agrícolas de Banano. Agrocalidad de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario, Gobierno del Ecuador. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/Manuales-de-aplicabilidad-de-BPA-para-Banano.pdf>