

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,
Volumen 9, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MANEJO INTEGRADO DE LOTES CON BAJA PRODUCCIÓN EN EL CULTIVO DE BANANO ORGÁNICO

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF INTEGRATED
MANAGEMENT IN LOW-YIELD PLOTS OF ORGANIC
BANANA CULTIVATION**

Ana Paula Salinas Cando

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Anthony Luis Campoverde Maldonado

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

José Nicasio Quevedo Guerrero

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Ivanna Gabriela Tuz-Guncay

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Jessica Maribel Quezada Campoverde

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19107

Evaluación de la Eficiencia del Manejo Integrado de Lotes con Baja Producción en el Cultivo de Banano Orgánico

Ana Paula Salinas Cando¹anasalinas8@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0009-0004-5141-3558>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**Anthony Luis Campoverde Maldonado**acampover8@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0009-0009-3444-5925>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**José Nicasio Quevedo Guerrero**jnquevedo@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-8974-5628>Universidad Técnica de Machala, El Oro
Ecuador**Ivanna Gabriela Tuz-Guncay**ituz@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0003-0085-3495>Universidad Técnica de Machala, El Oro
Ecuador**Jessica Maribel Quezada Campoverde**jquezada@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0003-2760-4827>Universidad Técnica de Machala, El Oro
Ecuador

RESUMEN

Este estudio se llevó a cabo en la Finca “El Triunfo”, en El Oro, Ecuador, con el objetivo de mejorar la productividad del banano orgánico en lotes con suelos compactados y bajos rendimientos. Se evaluaron diferentes tratamientos de manejo integrado que combinaron materia orgánica (humus, Carbono+aminoácidos y biochar), *Trichoderma asperellum* y descompactación mecánica del suelo mediante herculización. El diseño experimental incluyó variables como sanidad radicular, población de nemátodos, microbiota del suelo (UFC/g), pH, conductividad eléctrica (CE), compactación del suelo y altura del hijo. Los tratamientos con biochar y *T. asperellum* mejoraron la porosidad del suelo, redujeron nemátodos fitoparásitos, aumentaron raíces sanas y estimularon el microbiota. El tratamiento T1 (Carbono+aminoácidos + *Trichoderma*) se destacó por su eficiencia integral, incluso con menor dosis aplicada. Por el contrario, el testigo (T4), con fertilización química, presentó mayor compactación, más raíces muertas y menor actividad biológica. Además, los cambios positivos en el pH y la CE reflejaron una mejora en la calidad química del suelo, lo que favorece un entorno más equilibrado para el desarrollo radicular y la vida microbiana. Estos resultados confirman que el manejo integrado es una herramienta efectiva para recuperar la funcionalidad del suelo y aumentar el rendimiento en banano orgánico.

Palabras clave: compactación, suelo, trichoderma, microbiota, biochar

¹ Autor principal

Correspondencia: anasalinas8@utmachala.edu.ec

Evaluation of the Efficiency of Integrated Management in Low-Yield Plots of Organic Banana Cultivation

ABSTRACT

This study was carried out at the “El Triunfo” Farm, in El Oro, Ecuador, with the objective of improving the productivity of organic bananas in plots with compacted soils and low yields. Different integrated management treatments that combined organic matter (humus, Carbon+amino acids and biochar), *Trichoderma asperellum* and mechanical soil decompaction through herculization were evaluated. The experimental design included variables such as root health, nematode population, soil microbiota (CFU/g), pH, electrical conductivity (EC), soil compaction and seed height. Treatments with biochar and *T. asperellum* improved soil porosity, reduced phytoparasitic nematodes, increased healthy roots and stimulated the microbiota. Treatment T1 (Carbon + amino acids + Trichoderma) stood out for its comprehensive efficiency, even with a lower dose applied. On the contrary, the control (T4), with chemical fertilization, presented greater compaction, more dead roots and less biological activity. Additionally, positive changes in pH and EC reflected an improvement in soil chemical quality, favoring a more balanced environment for root development and microbial life. These results confirm that integrated management is an effective tool to recover soil functionality and increase organic banana yield.

Keywords: soil, compaction, trichoderma, microbiota, biochar

Artículo recibido 05 julio 2025

Aceptado para publicación: 25 julio 2025



INTRODUCCIÓN

La producción de banano orgánico se ha convertido en una alternativa creciente para pequeños y medianos agricultores que buscan prácticas sostenibles y mejorar su posicionamiento en mercados diferenciados. Sin embargo, esta transición presenta desafíos técnicos, entre los cuales destaca la compactación del suelo, que restringe la aireación, limita el desarrollo radicular y crea un entorno adverso para el microbiota beneficiosa del suelo. Estudios recientes han demostrado que la compactación afecta la estructura del suelo, reduce la actividad biológica y compromete el rendimiento de los cultivos, especialmente en suelos tropicales intensamente cultivados (Kirkegaard, J. A., Lilley, J. M., Morrison, M. J., & Hunt, J. R., 2020).

La compactación del suelo no solo reduce el crecimiento de raíces, sino que facilita la proliferación de patógenos como nemátodos fitoparásitos, los cuales deterioran la sanidad del sistema radicular y afectan la estabilidad del pseudotallo (Gopal, M., & Gupta, A., 2016). Así, variables como la altura del hijo (retoño), la población de nemátodos, la condición sanitaria de las raíces, la diversidad microbiana del suelo, así como parámetros edáficos como el pH y la conductividad eléctrica (CE), se convierten en indicadores clave para evaluar el éxito de cualquier intervención agronómica bajo un enfoque orgánico. A pesar de la existencia de literatura sobre manejo de suelos y sanidad vegetal en banano, pocos estudios integran simultáneamente estos aspectos con un enfoque experimental aplicado en campo, lo que revela un vacío importante en el conocimiento técnico-práctico local.

En la Finca “El Triunfo”, ubicada en el Sitio El Portón, parroquia El Cambio, Ecuador, se identificaron áreas de producción baja, vinculadas a suelos del orden Alfisol, de textura franco-arenosa, con claros signos de compactación. Estas condiciones, sumadas al clima tropical cálido de la zona (temperatura media de 27 °C y 750 mm de precipitación anual), configuran un escenario en el que la eficiencia de la rizosfera se ve comprometida. Ante esta problemática, evaluar estrategias de manejo integrado adaptadas a contextos locales es fundamental para restablecer la salud del suelo y mejorar la respuesta fisiológica del cultivo.

El estudio se desarrolló en un lote representativo de las condiciones edafoclimáticas típicas del cultivo de banano orgánico en la región, caracterizado por suelos compactados y baja productividad.

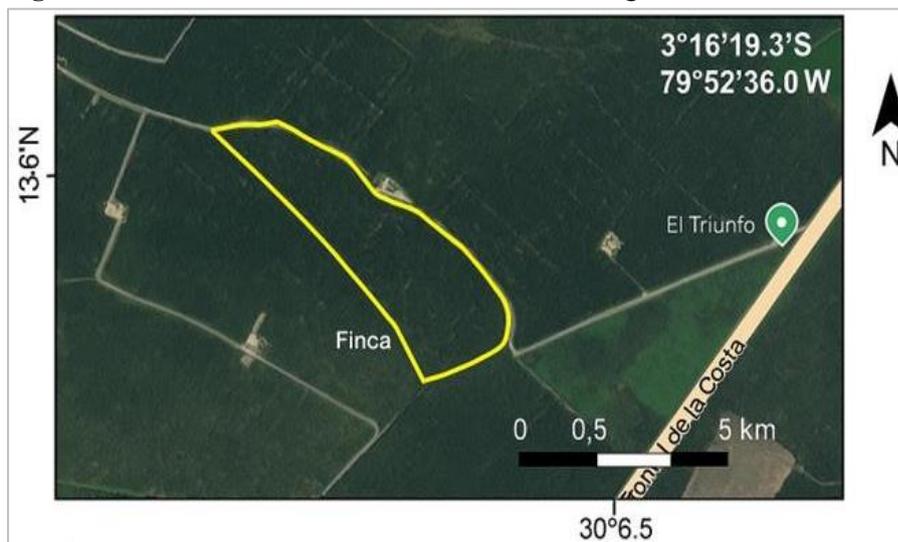


La aplicación de tratamientos integrados, que combinaron prácticas físicas, biológicas y orgánicas, fue diseñada para restaurar la funcionalidad del suelo y mejorar el desarrollo del cultivo. Los resultados de estos tratamientos fueron comparados con un testigo manejado bajo un esquema de fertilización convencional. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la eficiencia de diferentes estrategias de manejo integrado del suelo en lotes con baja producción, afectados por compactación, en el cultivo de banano orgánico, utilizando variables fisiológicas, microbiológicas y edáficas como criterios de respuesta

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en la Finca “El Triunfo”, ubicada en el Sitio El Portón, parroquia El Cambio, provincia de El Oro, Ecuador, en las coordenadas $3^{\circ}16'19.3''S$ y $79^{\circ}52'36.0''W$. El área se caracteriza por un clima tropical cálido, con una temperatura media anual de $27^{\circ}C$ y una precipitación promedio de 750 mm. Los suelos predominantes son de textura franco-arenosa, con signos de compactación estructural moderada derivados del uso agrícola intensivo. La plantación de banano cuenta con 30 años de haber sido establecida, el cultivar corresponde a Cavendish gigante, con una densidad de siembra aproximada de 1200 plantas por hectárea (Figura 1).

Figura 1. Área de estudio donde se realizó la investigación.



El experimento se realizó en una superficie ($5,000\text{ m}^2$), lo que facilitó una distribución organizada de los tratamientos y permitió un seguimiento detallado de cada unidad experimental. Esta extensión resultó adecuada para trabajar con precisión, controlar las variables de estudio y aplicar de manera oportuna las evaluaciones requeridas en cada etapa del cultivo.

Diseño experimental

Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), compuesto por cuatro tratamientos y tres repeticiones, sumando un total de 12 unidades experimentales. Cada unidad estuvo conformada por 15 plantas de banano orgánico (*Musa AAA*) en estado fenológico avanzado, específicamente plantas madre próximas a la emisión del racimo. La selección se basó en su uniformidad en cuanto a edad, ubicación dentro del lote y manejo previo. La selección se realizó procurando uniformidad en edad, ubicación dentro del lote y manejo previo, con el fin de reducir la variabilidad experimental.

Por esta razón, se optó por un (DBCA), apropiado para contextos donde existen variaciones naturales en el suelo y el microclima dentro del área de estudio. Para minimizar el sesgo y asegurar resultados más consistentes, se procuró que las plantas seleccionadas presentaran similitud en cuanto a edad, ubicación dentro del lote y manejo previo, evitando así que factores no controlados influyeran significativamente en las variables evaluadas. Los tratamientos consistieron en la aplicación de diferentes estrategias de manejo del suelo, combinando insumos orgánicos, microorganismos benéficos y prácticas físicas (Tabla 1).

Tabla 1. Dosificación de tratamientos.

Tratamiento	Dosis g/planta (descripción)	Dosis total (g/planta)	Dosis (kg/ha)
<i>T1</i>	50 g Carbono+aminoácidos, 0,2 g de microorganismos (<i>T. asperellum</i>), herculización y tapado de corona	52 g	72,8 kg Carbono+aminoácidos
<i>T2</i>	100 g Humus, 0,2 g de microorganismos (<i>T. asperellum</i>), herculización y tapado de corona	102 g	142,8 kg Humus
<i>T3</i>	100 g Biochar (raquis pirolizado), 0,2 g de microorganismos (<i>T. asperellum</i>), herculización y tapado de corona	102 g	142,8 kg Biochar
<i>T4</i>	Testigo (fertilización bananera): Yara Integrado, Yara Complex, muriato de potasio	–	–

Variables agronómicas evaluadas

Sanidad radicular

Se recolectaron raíces de cinco plantas por parcela. Estas fueron lavadas y cortadas longitudinalmente para su observación. La clasificación se realizó considerando criterios técnicos como el color del córtex, firmeza de los tejidos, oxidación interna y presencia de lesiones o necrosis. Con base en estos parámetros, las raíces fueron agrupadas en tres categorías: sanas, enfermas o muertas, y se estimó el porcentaje relativo por tratamiento.

Población de nemátodos

Para evaluar la salud del sistema radicular, se tomaron muestras de raíces de cinco plantas por tratamiento en tres momentos clave: al inicio del experimento, a los 45 días y a los 90 días. Las raíces se lavaron cuidadosamente, se pesaron con balanza digital y luego se clasificaron en tres grupos: sanas, enfermas y muertas. Esta clasificación se hizo observando características como el color, la firmeza de los tejidos, si presentaban oxidación o daños visibles. Luego, cada grupo fue pesado por separado, lo que permitió identificar cuánto representaba cada tipo de raíz dentro del total recolectado por tratamiento. Las raíces se extrajeron a 15 cm de la base del pseudotallo, dentro de un espacio delimitado de 30 cm de ancho, 15 cm de largo y 30 cm de profundidad, lo cual garantizó un muestreo representativo del sistema radicular.

Para determinar la presencia de nemátodos fitoparásitos, se utilizó una técnica adaptada al entorno local basada en el método de (Southey, 1986). Las raíces se picaron y se licuaron durante breves intervalos, luego la mezcla se tamizó y se dejó reposar. Al día siguiente, la muestra fue observada al microscopio compuesto, lo que permitió identificar y cuantificar la presencia de nemátodos según cada tratamiento. Esta información sirvió de apoyo para entender cómo las condiciones del suelo y el manejo influyeron en la salud de las raíces durante el estudio.

Microbiota del suelo

Para estimar la actividad microbiológica del suelo, se utilizó un método cualitativo basado en la instalación de tarrinas plásticas, cubiertas con gasa y rellenas con arroz precocido. Estas se colocaron sobre la zona tratada en cada parcela, y fueron cubiertas con materia orgánica propia del entorno, simulando condiciones edáficas reales.



Las tarrinas permanecieron en el campo durante cinco días. Al cabo de este tiempo, fueron retiradas y se evaluó visualmente la colonización microbiana mediante la observación de micelios, manchas fúngicas y signos visibles de descomposición y conteo en laboratorio de UFC/g. Este procedimiento permitió realizar una comparación cualitativa del dinamismo biológico generado por cada tratamiento en la rizosfera del cultivo.

Compactación del suelo

La compactación del suelo se evaluó utilizando un penetrómetro manual de campo de marca agraTronix, con cinco mediciones por parcela a una profundidad de hasta 30 cm – 60cm – 90cm. Los valores obtenidos se promediaron para cada tratamiento, permitiendo interpretar el nivel de compactación relativo del perfil edáfico.

Altura del hijo

La altura del hijo se midió desde la base del pseudotallo hasta el meristemo apical, utilizando una cinta métrica. Las mediciones se realizaron mensualmente durante el desarrollo del experimento, con el fin de observar cómo influía cada tratamiento en el crecimiento vegetativo del hijo. Esta variable fue clave para valorar el vigor de la planta y proyectar el estado del relevo productivo.

pH y CE del suelo

Para evaluar el pH del suelo, se determinó utilizando un medidor portátil digital, realizando las mediciones en campo a una profundidad de 20 cm. Las lecturas se realizaron en dos medios: en agua destilada y en una solución de cloruro de potasio (KCl), con el objetivo de obtener una lectura más completa del comportamiento químico del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Compactación de suelo

En la tabla 2, el tratamiento T4 presenta los valores más altos de PSI en todas las profundidades, indicando mayor compactación en comparación con los demás tratamientos. A 30 cm, T4 tiene un PSI de 152.07, superando a T1 (89.13), T2 (95.47) y T3 (97.67). A 60 cm, T4 muestra un PSI de 131.80, más alto que los de T1 (100.20), T2 (107.33) y T3 (107.40). A 90 cm, T4 sigue siendo el mayor con 139.93 PSI, frente a T2 (121.07) y T3 (128.27), mientras que T1 tiene el valor más bajo (109.00 PSI).

En resumen, T4 tiene mayor compactación, T1 tiene los menores valores en todas las profundidades, y T2 y T3 presentan valores intermedios sin diferencias significativas entre sí (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del ANOVA factorial intergrupos para el nivel de compactación del suelo (PSI) a diferentes profundidades.

Tratamiento	PSI 30 cm	PSI 60 cm	PSI 90 cm
T1	89.13 ^b	100.20 ^b	109.00 ^c
T2	95.47 ^b	107.33 ^b	121.07 ^{bc}
T3	97.67 ^b	107.40 ^b	128.27 ^{ab}
T4	152.07 ^a	131.80 ^a	139.93 ^a
Sig	0.00	0.00	0.00

Los resultados de la compactación del suelo, expresados en PSI, muestran que el tratamiento T4 genera mayor compactación en todas las profundidades analizadas, lo que limita el desarrollo radicular al restringir la penetración de las raíces y el acceso a nutrientes y agua (FAO, 2017). En contraste, los tratamientos T1, T2 y T3 presentan menores valores de PSI, lo que favorece un mejor desarrollo radicular. Además, la mayor compactación en T4 podría facilitar la proliferación de patógenos que afectan la sanidad del sistema radicular. La aplicación de biochar derivado de residuos de banano ha demostrado ser efectiva para mejorar la porosidad del suelo y reducir la compactación, sugiriendo que estas prácticas contribuyen a un entorno más saludable para el cultivo de banano (Fetjah, D., Ainhout, L. F. Z., Idardare, Z., Ihssane, B., & Bouqbis, L., 2022).

Sanidad radicular

En el análisis de la sanidad radicular, el tratamiento T1 se destaca en todos los momentos de observación. Desde el inicio del experimento (día 0), T1 muestra la mayor cantidad de raíces vivas (319 g) y el total de raíces más alto (539 g), seguido por T2. Por otro lado, T4 presenta los valores más bajos, con 218 g de raíces vivas y 451 g en total, indicando una menor sanidad radicular. A los 90 días, T1 mantiene un buen desarrollo de raíces vivas (367 g), mientras que T4 muestra un descenso pronunciado (197 g). En cuanto a las raíces muertas, T4 acumula la mayor cantidad (145 g), mientras que T1 sigue siendo el tratamiento con menos raíces muertas (76 g). En general, T1 y T2 muestran una mejor sanidad radicular, con T1 destacándose en términos de mayor cantidad de raíces vivas y menor acumulación de raíces muertas (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de raíces (vivas, enfermas, muertas y total) en gramos según tratamiento y tiempo de evaluación.

Días	Tratamiento	Raíces Vivas (g)	Raíces Enfermas (g)	Raíces Muertas (g)	Raíces Total (g)
0	T1	319	126	94	539
	T2	267	188	76	531
	T3	240	115	85	440
	T4	218	138	95	451
45	T1	338	125	82	545
	T2	288	168	68	524
	T3	277	106	78	461
	T4	213	126	85	424
90	T1	367	119	76	562
	T2	334	151	45	577
	T3	305	94	68	467
	T4	197	145	97	439

Los resultados obtenidos en la medición de la sanidad radicular indican que el tratamiento T1 genera una mayor cantidad de raíces vivas y una menor acumulación de raíces muertas, lo que sugiere un ambiente más saludable para el desarrollo. Este hallazgo es consistente con estudios previos que indican que el uso de biochar puede mejorar la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes, favoreciendo el crecimiento de las raíces vivas (Fetjah, D., Ainhout, L. F. Z., Idardare, Z., Ihssane, B., & Bouqbis, L., 2022). En contraste, el tratamiento T4 muestra una mayor acumulación de raíces muertas y menor cantidad de raíces vivas, lo que podría estar relacionado con condiciones de compactación del suelo que dificultan la penetración. La aplicación de biochar en tratamientos como T1 y T2 ha mostrado efectos positivos en la mejora de la porosidad del suelo, reduciendo la compactación y removiendo un desarrollo radicular más saludable (Wedayani, N. M., Rai, I. N., Mahardika, I. G., & Wijana, I. M. S., 2024). En general, estos resultados sugieren que la implementación de biochar y prácticas de manejo de suelo pueden ser efectivas para mantener la sanidad radical y mejorar la productividad en el cultivo de banano.

Figura 2. Raíces a los 0 días (g).

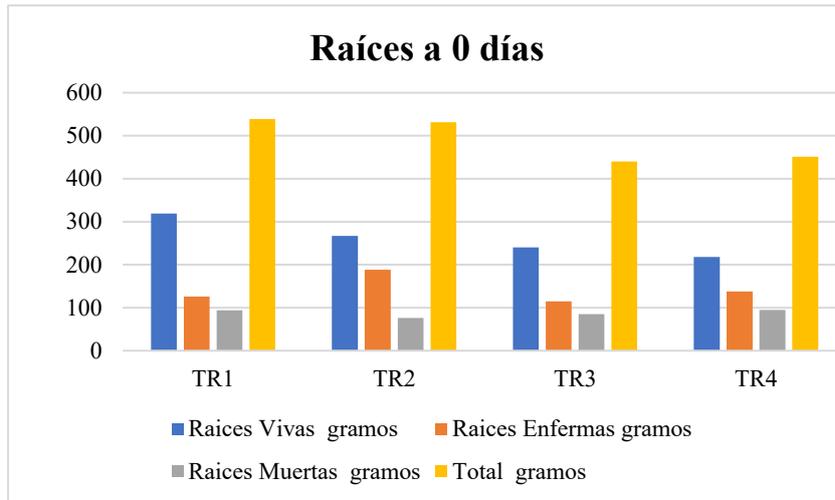


Figura 3. Raíces a los 45 días (g).

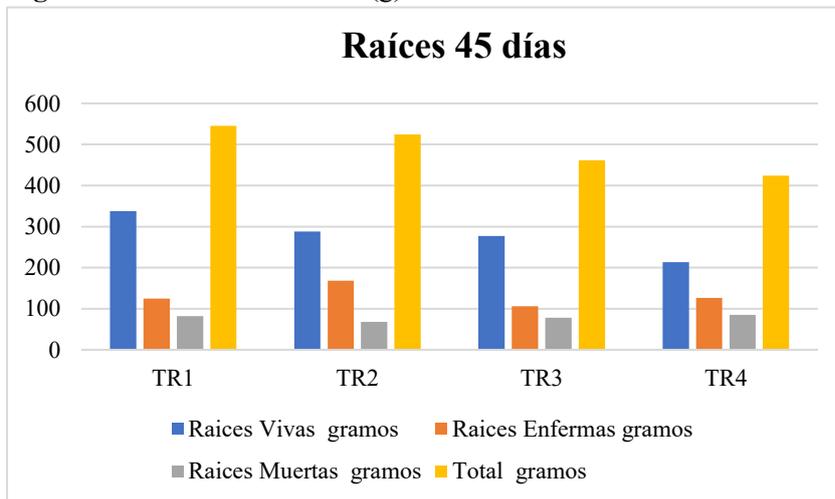
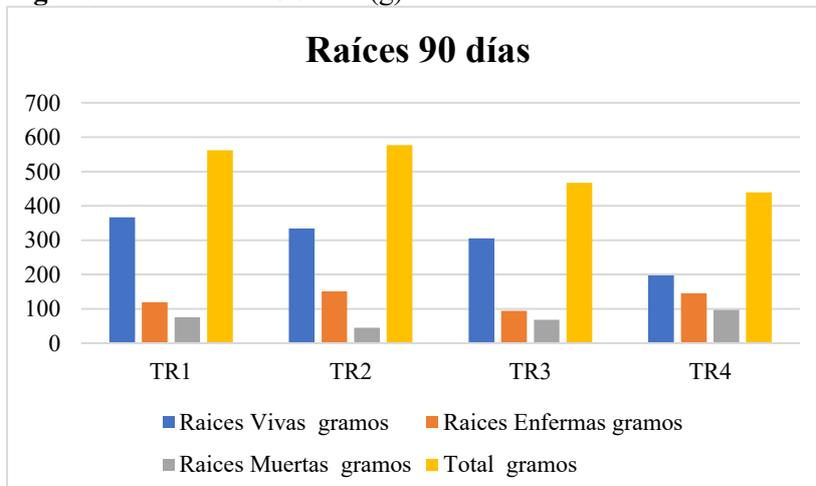


Figura 4. Raíces a los 90 días (g)



Población de nemátodos

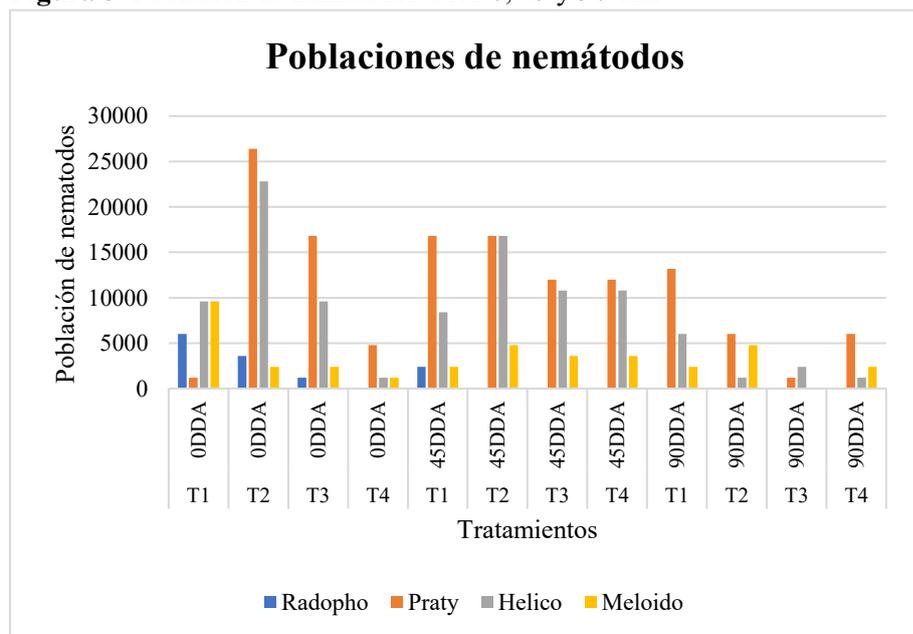
Al analizar la evolución de las poblaciones de nemátodos fitoparásitos durante los 90 días de evaluación, se observa que el tratamiento T2 logró las reducciones más drásticas en casi todas las especies. Por ejemplo, en *Radopholus* la población cayó de 3600 a 233 nematodos, y en *Helicotylenchus* pasó de 22800 a tan solo 1200. En *Pratylenchus*, aunque el descenso no fue tan pronunciado, sí se redujo significativamente desde 26400 hasta 6000. T1 también mostró reducciones notables en *Radopholus* (de 6000 a 233) y mantuvo control sobre *Meloidogyne*, aunque con menor impacto en *Pratylenchus*. El tratamiento T3 tuvo un efecto más moderado pero estable en todas las especies, destacando en *Radopholus* y *Helicotylenchus*, mientras que T4 fue consistentemente el menos efectivo: en algunos casos, como *Radopholus*, las poblaciones incluso aumentaron (de 12000 a 16800 a los 30 días) y luego se mantuvieron elevadas, lo que refleja un bajo o nulo efecto nematicida. En general, los resultados reflejan claras diferencias en la eficacia de los tratamientos, siendo T2 el más sobresaliente en reducir poblaciones de nemátodos en el tiempo. (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del ANOVA factorial intergrupos para la distribución de la población de nemátodos fitoparásitos por tratamiento y tiempo de evaluación (DDA0, DDA30 y DDA90).

Nemátodos	Tratamiento	DDA0	DDA30	DDA90
Radopholus	T1	6000.00 ^b	2400.00 ^a	233.33 ^c
	T2	3600.00 ^d	100.00 ^c	233.33 ^b
	T3	733.33 ^c	466.67 ^d	200.00 ^d
	T4	12000.00 ^a	16800.00 ^b	13200.00 ^a
Pratylenchus	T1	12000.00 ^b	16800.00 ^a	13200.00 ^c
	T2	26400.00 ^d	16800.00 ^c	6000.00 ^b
	T3	4800.00 ^c	12000.00 ^d	6000.00 ^d
	T4	4800.00 ^a	12000.00 ^b	6000.00 ^a
Helicotylenchus	T1	9600.00 ^b	8400.00 ^a	6000.00 ^c
	T2	22800.00 ^d	16800.00 ^c	1200.00 ^b
	T3	1200.00 ^c	10800.00 ^d	1200.00 ^d
	T4	1200.00 ^a	10800.00 ^b	1200.00 ^a
Meloidogyne	T1	9600.00 ^b	2400.00 ^a	2400.00 ^c
	T2	2400.00 ^d	4800.00 ^c	1200.00 ^b
	T3	1200.00 ^c	3600.00 ^d	2400.00 ^d
	T4	1200.00 ^a	3600.00 ^b	2400.00 ^a
Sig	0.00	0.00	0.00	0.00

Los resultados indican que el tratamiento T2 fue el más eficaz en reducir las poblaciones de nemátodos fitoparásitos, en línea con lo reportado por (Saharan, R., Patil, J. A., Yadav, S., Kumar, A., & Goyal, V., 2023), quienes demostraron la alta eficacia nematicida de *Trichoderma asperellum*. El T1 también mostró buenos resultados, particularmente frente a *Radopholus* y *Meloidogyne*, atribuidos al efecto sinérgico de bioestimulantes y microorganismos (Baazeem, A., Mazrou, Y. S., Eweis, M., Alotaibi, M. O., & Elrys, A. S., 2023). El T3 ofreció un control intermedio y sostenido, coherente con estudios que resaltan su impacto en la mejora del suelo y la actividad microbiana (Lehmann, J., Joseph, S., & Jeffery, S., 2023). Por el contrario, el manejo convencional (T4) fue el menos efectivo, incluso con incrementos poblacionales, respaldando las críticas al uso excesivo de nematicidas químicos (Graber, E. R., Frenkel, O., Jaiswal, A. K., & Elad, Y., 2021).

Figura 5. Población de nemátodos a los 0, 45 y 90 días.



Microbiota del suelo

La dinámica del microbiota del suelo mostró una clara ventaja en los tratamientos con insumos orgánicos combinados con *T. asperellum*. El tratamiento T1 alcanzó los recuentos más altos al día 90 (2×10^8 UFC/g), reflejando una colonización activa y sostenida. T2 y T3 también presentaron aumentos importantes, especialmente a los 30 días, lo que evidencia el efecto positivo del humus y el biochar. En cambio, el tratamiento T4, basado en fertilización química, mantuvo valores bajos durante todo el ensayo, lo que confirma su baja capacidad para estimular el microbiota.

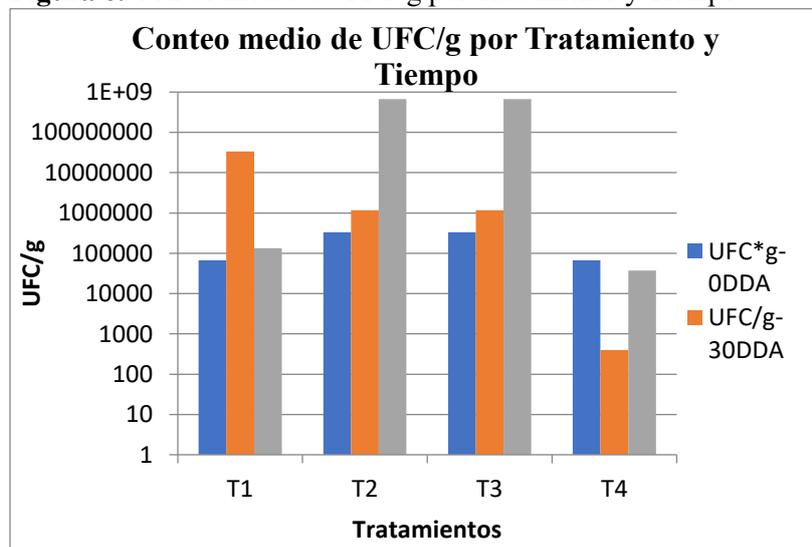
Estos resultados destacan la importancia del manejo integrado para mejorar la vida microbiana del suelo en lotes con baja productividad (Tabla 5).

Tabla 5. Microbiota del suelo (UFC/g) en tres momentos de evaluación (0, 30 y 90 días después de la aplicación - DDA).

Tratamiento	UFC*g-0DDA	UFC/g-30DDA	UFC/g-90DDA
1	67.000	33.334.667	134.000
2	334.000	1.166.667	666.866.667
3	334.000	1.166.667	666.866.667
4	67.000	400	37.000

El microbiota agrícola demostró una clara mejora bajo los tratamientos con insumos orgánicos y *T. asperellum*. En particular, T1 logró un aumento sostenido en unidades formadoras de colonias (UFC/g), alcanzando hasta 2×10^8 días 90, lo que evidencia una colonización microbiana activa y prolongada. Tratamientos como T2 y T3 también mostraron incrementos importantes en UFC/g en los primeros 30 días, lo que refleja la eficacia del humus y el biochar en estimular la actividad microbiana (Tsolis, V., & Barouchas, P., 2023). Por otro lado, el tratamiento químico (T4) mantuvo niveles muy bajos de microbiota a lo largo del ensayo, lo cual coincide con hallazgos que subrayan el papel de *Trichoderma* y enmiendas orgánicas en potenciar comunidades microbianas y mejorar la fertilidad del suelo (Senkovs, M., Nikolajeva, V., Makarenkova, G., 2021). Estos resultados refuerzan que el manejo integrado con Carbono+aminoácidos + *Trichoderma* no solo favorece la salud del cultivo, sino también revitaliza la vida microbiana en lotes con baja productividad.

Figura 6. Conteo medio de UFC/g por Tratamiento y Tiempo



pH y CE del suelo

Después de 90 días de seguimiento, se evidenciaron cambios importantes en la química del suelo. El pH en agua subió de 7,1 a 7,3 y el pH en KCl aumentó de 6,5 a 6,9, lo que indica que el suelo se volvió ligeramente más alcalino. Al mismo tiempo, la conductividad eléctrica bajó de 1,91 a 1,62 dS/m, lo que significa que hubo una reducción en la cantidad de sales solubles presentes. Estos cambios fueron más marcados en los tratamientos donde se aplicó humus (T2) y biochar (T3), ambos combinados con *T. asperellum*, lo que sugiere que estos insumos ayudaron a equilibrar mejor el pH y a disminuir la salinidad. En conjunto, estos resultados reflejan una mejora en las condiciones del suelo, lo que favorece la absorción de nutrientes, el crecimiento de raíces sanas y el desarrollo de la vida microbiana beneficiosa (Tabla 6).

Tabla 6. Medición de pH y CE en laboratorio.

Medidas	0 días	90 días
pH Agua	7,1	7,3
pH Kcl	6,5	6,9
CE dS/m	1,91	1,62

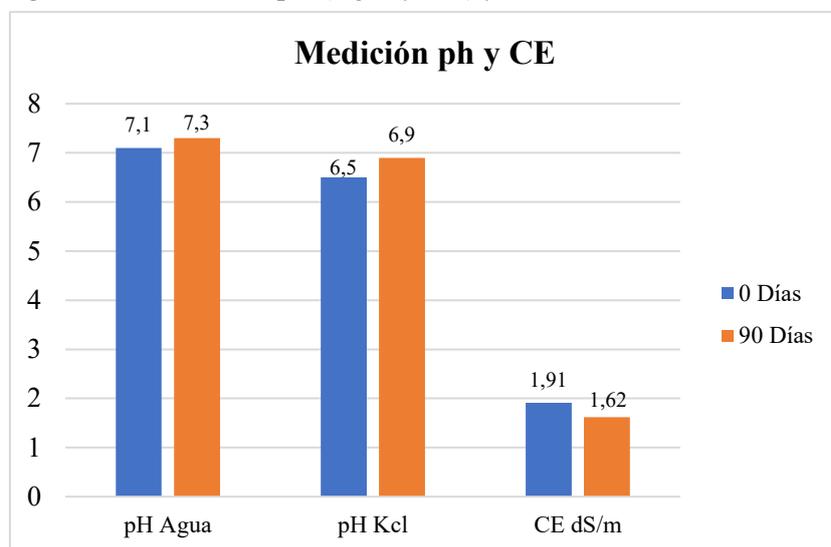
Los incrementos observados en pH (7,1 - 7,3 en agua; 6,5 - 6,9 en KCl) y la notable reducción de la conductividad eléctrica (1,91 - 1,62 dS/m) respaldan un efecto beneficioso de los tratamientos con *T. asperellum* combinados con enmiendas orgánicas. Investigaciones recientes han demostrado que el biochar no solo actúa como un soporte estructural ideal para *T. asperellum*, sino que también mejora la disponibilidad de nutrientes y estabiliza el pH del suelo (ChemBioAgro, 2025). De hecho, (Martínez, S., Pérez, A., & Gómez, L., 2024) reportaron que el uso de biochar como portador de *Trichoderma* potencia la colonización fúngica y promueve una disminución de la salinidad, reduciendo así la concentración de iones solubles en el suelo.

Asimismo, (Yao, S., Zhou, B., Duan, M., 2023) encontraron que el biochar combinado con *T. harzianum* no solo favorece la actividad enzimática del suelo, sino que también impulsa la eficiencia de fitoextracción en suelos contaminados, lo que sugiere una mejora sustancial en la bioquímica del suelo, incluyendo el pH y la CE.



En este sentido, nuestros tratamientos T2 y especialmente T3 confirman que en solo 90 días es posible mejorar la química del suelo, reduciendo la salinidad y logrando un pH más equilibrado, lo que favorece la absorción de nutrientes, el vigor de las raíces y la vida microbiana.

Figura 7. Medición de pH (Agua y Kcl) y CE



Altura del hijo

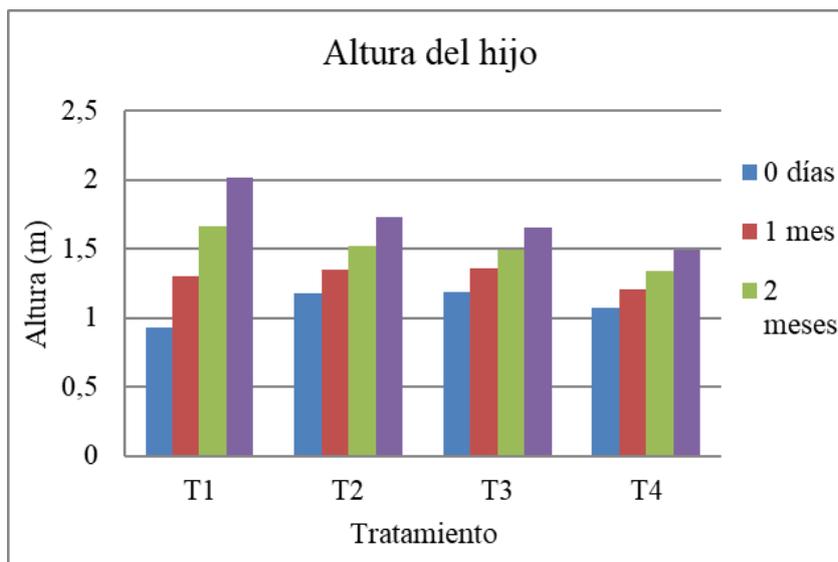
Durante los primeros tres meses de evaluación, se registraron diferencias significativas en la altura del hijo entre los tratamientos aplicados. Aunque T2 y T3 presentaron los mayores promedios al inicio, a partir del segundo mes el tratamiento T1 mostró un crecimiento más eficiente, alcanzando el mayor valor promedio al tercer mes. Este comportamiento evidencia una respuesta positiva al uso combinado de (Carbono+aminoácidos y *T. asperellum*), incluso con una dosis menor en comparación con los demás tratamientos. Por el contrario, el tratamiento T4, correspondiente al manejo convencional, mantuvo consistentemente los valores más bajos de altura (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados del ANOVA factorial intergrupos para la altura del hijo (m) según tratamiento en diferentes momentos de evaluación.

Tratamiento	0 días	1 mes	2 meses	3 meses
T1	0.9333 ^c	1.3027 ^b	1.6673 ^a	2.0120 ^a
T2	1.1813 ^a	1.3460 ^a	1.5233 ^b	1.7307 ^b
T3	1.1880 ^a	1.3540 ^a	1.4947 ^b	1.6513 ^c
T4	1.0693 ^b	1.2013 ^c	1.3387 ^c	1.4913 ^d
SIG	0.00	0.00	0.00	0.00

El tratamiento T1, que combinó *T. asperellum* con Carbono+aminoácidos, evidenció un crecimiento en altura más eficiente a partir del segundo mes, alcanzando el valor promedio más alto al tercer mes, pese a tener menor dosis por planta. Esto coincide con investigaciones recientes que demuestran que *Trichoderma asperellum* promueve la absorción de nutrientes y estimula el crecimiento vegetal (Salas Marina, M. A., Sánchez Cruz, R., Méndez Bravo, A., 2021). Así mismo, estudios recientes muestran que la aplicación de enmiendas orgánicas como el compost mejorado, similar en función a Carbono+aminoácidos, mejora significativamente el crecimiento en banano, aumentando la altura y vigor de las plantas (Muhidin, M., Nuraida, W., Florista, D. A., & Nurmas, A., 2022). El tratamiento convencional (T4) fue el que tuvo los menores valores de altura durante todo el ensayo, lo que demuestra que los fertilizantes tradicionales, por sí solos, no fueron suficientes para mejorar el crecimiento en condiciones de baja productividad.

Figura 8. Comportamiento del crecimiento en altura del hijo (m) del banano según tratamiento y tiempo de evaluación



CONCLUSIONES

El presente estudio confirma que el manejo integrado del suelo, basado en la combinación de prácticas físicas (herculización y tapado de corona), insumos orgánicos (biochar, humus, carbono+aminoácidos) y microorganismos benéficos como *Trichoderma asperellum*, constituye una estrategia efectiva para la rehabilitación de lotes con baja productividad en sistemas de producción de banano orgánico.

Los tratamientos evaluados promovieron mejoras significativas en la funcionalidad edáfica, evidenciadas por un incremento en la proporción de raíces sanas, reducción de poblaciones de nemátodos fitoparásitos, mayor densidad de microbiota benéfica (UFC/g de suelo) y mejor equilibrio químico del suelo (pH y CE). En particular, el tratamiento T1 (carbono+aminoácidos + *T. asperellum*) se destacó por su eficiencia integral, logrando resultados comparables o superiores con una menor dosis aplicada, lo que resalta la importancia de la sinergia entre insumos y prácticas de manejo. Por el contrario, el tratamiento convencional basado en fertilización química (T4) mostró limitaciones en cuanto a la recuperación de la salud del suelo, manifestando mayores niveles de compactación, menor actividad microbiana y mayor proporción de raíces muertas. En conjunto, los resultados respaldan la adopción del manejo integrado como una herramienta viable y sostenible para restaurar la salud del suelo, optimizar el desarrollo radicular y mejorar el rendimiento en sistemas de producción orgánica de banano, especialmente en condiciones de suelos degradados o compactados.

RECOMENDACIONES

Implementar el manejo integrado del suelo en lotes de banano orgánico con baja productividad, priorizando la combinación de prácticas físicas (herculización), insumos orgánicos (carbono+aminoácidos, biochar o humus) y bioinoculación con *Trichoderma asperellum*, como estrategia efectiva para mejorar la salud del suelo y la productividad. Favorecer el uso de insumos con alta eficiencia biológica, como la mezcla de carbono+aminoácidos con *T. asperellum*, que mostró un efecto sinérgico en la estimulación de la microbiota beneficiosa, la reducción de nemátodos fitoparásitos y la regeneración del sistema radicular, incluso a menores dosis. Reducir progresivamente el uso de fertilizantes químicos convencionales en lotes orgánicos, especialmente en suelos con compactación, debido a su limitada capacidad para mejorar la calidad biológica y estructural del suelo. Monitorear periódicamente indicadores clave de salud del suelo, como la proporción de raíces sanas, compactación, pH, conductividad eléctrica, densidad de microbiota y niveles de nemátodos, para ajustar las estrategias de manejo en función de la respuesta del sistema. Promover la investigación participativa con productores, que permita validar estas estrategias bajo distintas condiciones edafoclimáticas y de manejo, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas orgánicos de banano a escala regional.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baazeem, A., Mazrou, Y. S., Eweis, M., Alotaibi, M. O., & Elrys, A. S. (2023). Mechanisms of Trichoderma inhibition to nematode disease: Chitinase activity and mycoparasitism. *Erantiers in Microbiology*.
- ChemBioAgro. (2025). Chemically and biologically activated biochars as potencial inoculant carriers for Trichoderma asperelum. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. <https://doi.org/10.1186/s40538-025-00793-z>
- Edussuriya, R., Rajapaksha, A. U., Jayasinghe, C., Pathirana, C., & Vithanage, M. (2023). Influence of biochar on growth performances, yield of root and tuber crops and controlling plant-parasitic nematode. *Enviromental Advances*. <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00261-7>
- El-Ladgha, A. G., Amein, A.-E. M. H., El-Zawahry, A. M., Elfarash, A. E., & Bagy, H. M. M. K. . (2025). Biochar addition to soil as eco-friendly approach for controlling peanut rootlession infecting nematode. *Assiut Journal of Agriculture Sciencies*, 147-156.
- FAO. (2017). La compactación del suelo y su impacto en la productividad agrícola. *Recomendaciones para manejo sostenible*. <https://www.fao.org/3/a-i7598e.pdf>
- Fetjah, D., Ainhout, L. F. Z., Idardare, Z., Ihssane, B., & Bouqbis, L. (2022). Efecto del biochar derivado de residuos de banano y mezclas con compost. pág. 1541. <https://doi.org/10.3390/su14031541>
- Gómez, J. A., Martínez, M., & Castillo, A. . (2022). Efecto del biochar derivado de residuos de banano y mezclas con compost. *Sustainability*, pág. 1541.
- Gopal, M., & Gupta, A. (2016). Microbiome of banana: Curret status and future prospects. *Journal of Basic Microbiology*, págs. 1240-1210. <https://doi.org/10.1002/jobm.201600143>
- Graber, E. R., Frenkel, O., Jaiswal, A. K., & Elad, Y. (2021). The use of biochar for plant pathogen control: Modes of action and research needs. *Phytopathology Reviews*.
- Kirkegaard, J. A., Lilley, J. M., Morrison, M. J., & Hunt, J. R. (2020). Impact of soil compactation crop rrot systems and productivity. *Soil & Tillage Research*. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104611>



- Lehmann, J., Joseph, S., & Jeffery, S. (2023). Biochar–soil–plant interactions: A cross talk for sustainable agriculture. *Eranties in Enviromental Science*.
- Martínez, S., Pérez, A., & Gómez, L. (2024). Evaluation of biochar as a carrier for Trichoderma and efficacy against Sclerotinia sclerotiorum of chickpea. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2024598>
- Muhidin, M., Nuraida, W., Florista, D. A., & Nurmas, A. (2022). The effect of organic manure on the growth of dwarf banana (*Musa paradisiaca* L.) under natural shade. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*., pág. 977. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/977/1/012007>
- Pérez, D. M., & Rodríguez, L. A. . (2020). Microbiota rizósfera de banano y su relación con la salud del cultivo. *Revista Colombiana de biotecnología*, págs. 75-89.
- Saharan, R., Patil, J. A., Yadav, S., Kumar, A., & Goyal, V. (2023). The nematicidal potential of novel fungus *Trichoderma asperellum* . *Scientific Reports*.
- Salas Marina, M. A., Sánchez Cruz, R., Méndez Bravo, A. (2021). Trichoderma spp. as plant growth promoters and biological control agents. *Biological Control*, pág. 159. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104634>
- Senkovs, M., Nikolajeva, V., Makarenkova, G. (2021). Influence of *Trichoderma asperellum* and *Bacillus* as biocontrol and palnt growth promoting agent on sol microbiota. *Annals of Microbiology*, pág. 71. <https://doi.org/10.1186/s13213-021-01647-3>
- Southey, J. F. (1986). Laboratory methods for work with plant and soil nematodes. *Ministry of Agriculture, Fisheries and food*.
- Tsolis, V., & Barouchas, P. (2023). Biochar as Soil Amendment: The Effect of Biochar on Soil Propieties Using VIS-NIR Diffuse Reflectance Spectroscopy. *Biochar Aging and Soil Microbiology*, pág. 1580. <https://doi.org/10.3390/land12081580>
- Viteri, D., Vázquez, R., & Jiménez, C. (2019). Uso de biofertilizantes y microorganismos en la producción sostenible de banano. *Revista Agricultura Ecológica*, págs. 42-51.
- Wedayani, N. M., Rai, I. N., Mahardika, I. G., & Wijana, I. M. S. (2024). Utilización del biochar de residuos de banano para reducir la contaminación por metales pesados en suelo y plantas de maíz. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 5475-5483.



Yao, S., Zhou, B., Duan, M. (2023). Combination of Biochar and *Trichoderma harzianum* Can Improve the Phytoremediation Efficiency of *Brassica juncea* and Rhizosphere Micro Ecology in Cadmium and Arsenic Contaminated Soil. *Plants*, pág. 2939.
<https://doi.org/10.3390/plants12162939>

