

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, CAMPOVERDE RAMIREZ EMERSON ADALBERTO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado ENMIENDAS EDÁFICAS: EFECTOS EN LA BIOTA DEL SUELO Y COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE BANANO, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 21 de septiembre de 2022


CAMPOVERDE RAMIREZ EMERSON ADALBERTO
0706693637

Enmiendas edáficas: efectos en la biota del suelo y comportamiento agronómico del cultivo de banano

Edaphic amendments: effects on soil biota and agronomic performance of banana crop

Correções edáficas: efeitos na biota do solo e no desempenho agrônômico da bananicultura

Emerson Adalberto Campoverde Ramírez*, José Nicasio Quevedo Guerrero, Abrahan Cervantes Alava, Julio Chabla Carrillo, Ivanna Tuz Guncay

¹Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias. El Oro, Ecuador.

ecampover2@utmachala.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0001-5841-9072>

jquevedo@utmachala.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-8974-5628>

acervantes@utmachala.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0001-6223-8661>

jchabla@utmachala.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-9761-5890>

ituz@utmachala.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0003-0085-3495>

Resumen

Las características fisicoquímicas del suelo se han visto afectadas por la excesiva aplicación de agroquímicos, que han reducido la población microbiana benéfica causando problemas como: pérdida de fertilidad, compactación, pH ácido, incremento de fitopatógenos, reduciendo la productividad del cultivo. El objetivo fue evaluar los efectos de la aplicación de tres enmiendas edáficas en la microbiota, % de M.O., C.E., pH del suelo y sus efectos en el comportamiento agronómico del cultivo de banano. Los tratamientos fueron: T1 (10 g Biochar + 40 g de NPK mezcla física + 500 mL de ME), T2 (100 g Compost + 40 g de NPK

+ 500 mL de ME), T3 (100 g Zeolita + 40 g de NPK + 500 mL de ME) y T4 (Testigo hacienda 40 g NPK + 40 g de TerraSoil). Los resultados demuestran que el T1 forma un hábitat ideal para el desarrollo de microorganismos benéficos como *Trichoderma spp.*, *Bacillus spp.*, *Beauveria bassiana* en comparación al T4 donde solo se hallan microorganismos fitopatógenos como *Fusarium spp.*, *Cladosporium spp.*, *Penicillium spp.* y *Rhizopus spp.* La aplicación de biochar mejora el comportamiento agronómico, acelera el tiempo de corte, incrementa la altura del retorno, el peso del racimo y mejora la conversión. Los resultados del T2 y T3 son similares entre sí en cuanto a parámetros agronómicos y sanidad.

Palabras clave: biochar, zeolita, compost, microorganismos eficientes, fitopatógenos.

Abstract

The physicochemical characteristics of the soil have been affected by the excessive application of agrochemicals, which have reduced the beneficial microbial population causing problems such as: loss of fertility, compaction, acid pH, increase in phytopathogens, reducing crop productivity. The objective was to evaluate the effects of the application of three edaphic amendments on the microbiota, % of M.O., C.E., pH of the soil and its effects on the agronomic behavior of the banana crop. The treatments were: T1 (10 g Biochar + 40 g of NPK physical mixture + 500 mL of ME), T2 (100 g Compost + 40 g of NPK + 500 mL of ME), T3 (100 g Zeolite + 40 g of NPK + 500 mL of ME) and T4 (Control farm 40 g NPK + 40 g of TerraSoil). The results show that T1 forms an ideal habitat for the development of beneficial microorganisms such as *Trichoderma spp.*, *Bacillus spp.*, *Beauveria bassiana* compared to T4 where only phytopathogenic microorganisms such as *Fusarium spp.*,

Cladosporium spp., Penicillium spp. and Rhizopus spp. The application of biochar improves the agronomic behavior, accelerates the cutting time, increases the height of the return, the weight of the bunch and improves the conversion. The results of T2 and T3 are similar to each other in terms of agronomic parameters and health.

Key words: biochar, zeolite, compost, efficient microorganisms, phytopathogens.

Resumo

As características físico-químicas do solo têm sido afetadas pela aplicação excessiva de agroquímicos, que têm reduzido a população microbiana benéfica causando problemas como: perda de fertilidade, compactação, pH ácido, aumento de fitopatógenos, reduzindo a produtividade das culturas. O objetivo foi avaliar os efeitos da aplicação de três corretivos edáficos sobre a microbiota, % de M.O., C.E., pH do solo e seus efeitos sobre o comportamento agrônomo da bananeira. Os tratamentos foram: T1 (10 g Biochar + 40 g de mistura física NPK + 500 mL de ME), T2 (100 g Compost + 40 g de NPK + 500 mL de ME), T3 (100 g Zeólito + 40 g de NPK + 500 mL de ME) e T4 (fazenda controle 40 g NPK + 40 g de TerraSoil). Os resultados mostram que T1 forma um habitat ideal para o desenvolvimento de microrganismos benéficos como *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., *Beauveria bassiana* em comparação com T4 onde apenas microrganismos fitopatogênicos como *Fusarium* spp, *Cladosporium* spp., *Penicillium* spp. e *Rhizopus* spp. A aplicação do biochar melhora o comportamento agrônomo, acelera o tempo de corte, aumenta a altura do retorno, o peso do cacho e melhora a conversão. Os resultados de T2 e T3 são semelhantes entre si em termos de parâmetros agrônômicos e de saúde.

Palabras-chave: biochar, zeólito, composto, microorganismos benéficos, fitopatógenos.

Introducción

El cultivo de banano en Ecuador (*Musa x paradisiaca*) es la principal actividad agrícola, representa el 35% del PIB agrícola nacional (Ministerio de Comercio Exterior, 2017), el 78% de la producción la conforman los pequeños productores, el 17,6% medianos y el 4,4% grandes productores. El uso indiscriminado de fertilizantes y agropesticidas han causado la pérdida de la microbiota del suelo, cuya función es descomponer la materia orgánica, mineralizar nutrientes, controlar patógenos, entre otras. Las enmiendas edáficas reconstituyen las propiedades fisicoquímicas del suelo, por lo que tienen potencial uso en la agricultura, ejercen efectos positivos en la salud y fertilidad del suelo. Como una de las enmiendas edáficas con más beneficios señala al Biochar que es producto de la pirolisis de la biomasa seca en presencia de poco o nulo oxígeno a temperaturas entre 400 a 700° C, al finalizar su proceso se obtiene un sólido de color negro, rico en carbono y de estructura porosa (Cha *et al.*, 2016 y Xie *et al.*, 2022), es considerado una enmienda edáfica por sus múltiples beneficios y sus propiedades fertilizantes, la capacidad de absorción de metales pesados, secuestro de carbono atmosférico, etc. (Lehmann *et al.* 2006; Lehmann *et al.*, 2011; Krishnakumar 2014 y Xiang *et al.*, 2020). Otra enmienda edáfica muy utilizada es el compost, brinda múltiples beneficios entre ellos: aumento de la biota benéfica del suelo, estabilización de nutrientes, minimiza la lixiviación y volatilización de nitrógeno, también reduce los niveles de contaminantes, incluidos los metales pesados (Paulin y O'Malley, 2008). La Zeolita, como enmienda edáfica se caracteriza por retener agua lo cual reduce la concentración

de nitratos en la lixiviación del suelo y en la lenta liberación de cationes como el Ca^+ , Mg^{++} , K^+ y NH_4^+ , además gracias a su porosidad tiene la capacidad de intercambiar iones sin modificar su estructura atómica. La incorporación de zeolita a los suelos agrícolas incrementa la CIC, mejora el pH e incrementa los rendimientos (Obregón-Portocarrero *et al.*, 2016).

La microbiota benéfica del suelo es el conjunto de bacterias fototróficas, bacterias ácido lácticas, hongos, actinomicetos y levaduras que desempeñan varias funciones importantes, modificando diversos componentes y colocándolos a disposición de las plantas (Pereg y McMillan, 2015; Calero-Hurtado *et al.*, 2018). Recuperan la estabilización microbiológica del suelo, mejorando la fertilidad, la producción de los cultivos y su sanidad (Ramírez *et al.*, 2019) controlando el desarrollo de fitopatógenos. La microbiota del suelo favorece el buen desarrollo de la planta, ayuda a la biodegradación de pesticidas, mejora la conductividad eléctrica y el intercambio catiónico de los suelos (Romero-Perdomo *et al.*, 2017).

Los microorganismos fitopatógenos más peligrosos en los cultivos son los hongos que atacan sus hojas y raíces, pasan el mayor tiempo de su ciclo de vida en las plantas que les sirven de hospedero y luego pasan al suelo para continuar su ciclo de reproducción, causan grandes pérdidas económicas. Se considera que más de 8000 especies de hongos producen enfermedades en las plantas (Agrios, 2005). Uno de los medios de diseminación más habitual es el uso de enmiendas orgánicas mal procesadas, por lo que es importante registrar su trazabilidad. La presencia de MO en los suelos agrícolas es importante, a menudo es escasa y alcanza valores menores al 2%. Mejora la estructura del suelo y es sede de una intensa actividad microbiana (Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

Está conformado por MO lábil como restos animales o vegetales y MO estable que es el material orgánico en descomposición (Zagal *et al.*, 2002).

El pH es un parámetro que determina el grado de acidez o alcalinidad de un suelo, es el indicador de la disponibilidad de nutrientes. La acidificación de un suelo se da por la meteorización de elementos como Al^{+3} , Fe^{+3} , Cd^{+2} entre otros, que al ser absorbidos causan toxicidad o bloqueo (Osorio, 2012). Otro parámetro que guarda relación directa con el bienestar de las raíces y la microbiota del suelo es la Conductividad eléctrica que es influenciada por la textura, MO, calidad del agua, CIC, salinidad, pH, y la presencia de iones intercambiables (Cortés *et al.*, 2013). El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de tres enmiendas edáficas sobre la microbiota del suelo y el comportamiento agronómico del cultivo de banano.

Materiales y métodos

La investigación inició en mayo de 2021 y culminó en mayo de 2022, fue realizada en la finca “San Vicente”, ubicada en la vía a Balosa en el Km 12 en el cantón Machala en la Provincia de El Oro - Ecuador, su ubicación geográfica es: longitud: 79° 57' 12.5" W y latitud: 3° 19' 50.6" S. La textura del suelo es franco-arcilloso (Arena: 28; Arcilla: 34; Limo: 38). Se usó un diseño experimental de bloques al azar, se seleccionaron las áreas de estudio de acuerdo al levantamiento planimétrico de la propiedad.

Material vegetal.

La plantación establecida pertenece al cultivar Cavendish gigante. En cada bloque se seleccionaron 15 plantas de banano en inicio de etapa fenológica productiva por cada tratamiento, se etiquetaron para poder ser evaluadas antes y después de las aplicaciones mensuales de los tratamientos.

Metodología para el registro de microorganismos presentes en el suelo.

Para cumplir con esta determinación se usó la metodología propuesta por Bermeo *et al.*

(2022) en los apartados recolección, observación e identificación de microorganismos. Para la identificación taxonómica a nivel de género y/o especie, utilizando para ello diversas claves taxonómicas como “CMI descriptions of pathogenic fungi and bacteria” perteneciente a la Commonwealth Micological Institute,” Entomopathogenic Fungal Identification” escrita por Richard Humber, “Biología de los hongos”, y artículos científicos especializados en la descripción de hongos.

Tratamientos.

Los tratamientos aplicados fueron: T1 (10 g Biochar + 40 g de NPK mezcla física + 500 mL de ME); T2 (100 g Compost + 40 g de NPK + 500 mL de ME); T3 (100 g Humus lombriz + 40 g de NPK + 500 mL de ME) y T4 Testigo hacienda 40 g NPK + 40 g de TerraSoil.

Variables

Se evaluó Microorganismos presentes en el suelo al inicio y final de las aplicaciones, porcentaje de raíces sanas en plantas prontas, altura del retorno, días a la parición, días a la cosecha, número de manos por racimo, peso racimo, ratio procesado. En suelo se analizó: pH, CE, M.O. Estos parámetros fueron analizados en el laboratorio AGROBIOLAB el cual está certificado con norma internacional ISO 17025. Los datos recolectados se analizaron en el software estadístico IMB SPSS Statistics 20.

Resultados y discusiones.

El análisis de Anova (Cuadro 1) y prueba de Tukey (0,05) señalan que existen diferencias significativas entre los tratamientos para las variables, excepto para altura del retorno (Hret) esto se confirma mostrando un solo grupo que va desde 235,75 a 263, 67 cm.

Cuadro 1. Anova de las variables entre tratamientos.

Tratamientos	PRaiS	PRaiE	Hret	DACos	NMRac	PeRac	PeRaq	RatPr	PFF	PBF
B10NPK40	89,04 a	10,96	263,67 a	188,5 a	80,59					
		a		7,75 c	b	7,44 a	1,71 b	1,25 a	7,33 c	
C100NPK40	76,95 a	23,06 b	243,92	217,67	64,36					
		a	b	6,33 a	a	7,02 a	1,34 a	6,58 c	4,00 b	
Z100NPK40TS	77,24 a	22,76 b	245,83	229,33 c	7,00	69,19	ab			2,67
		a		a		7,55 a	1,44 a	6,42 c	ab	
NPK40+TS	67,67 b	32,33 b	235,75	228,17 c	68,80					
		a		6,67 a	a	7,14 a	1,44 a	4,75 b	2,00 a	
F	9,350	9,350	2,011	74,932	7,584	10,507	1,043	11,559	41,316	35,669
Sig.	0,000	0,000	0,126	0,000	0,000	0,000	0,383	0,000	0,000	0,000

El tratamiento B10NPK40 tiene una mayor cantidad de raíces sanas con 89,04 % sobre los demás (C100NPK40 76,95% y Z100NPK40 77,24%) siendo el testigo finca NPK40+TS el que menor porcentaje de raíces sanas presenta con 67,67 %, en estos resultados (Figura 1) según Torres *et al.* (2019) las enmiendas como el compost y el biochar tienen efectos estimulantes en el sistema radicular del banano, incrementando el peso y el porcentaje de raíz funcional, mientras que el uso de fertilizantes causan daños de quema en las raíces superficiales debido a sus componentes.

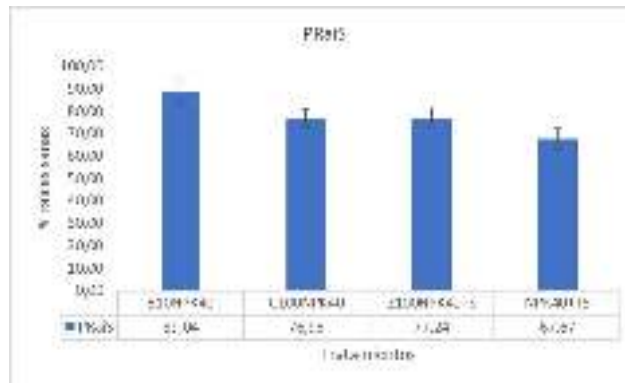


Figura 1. Porcentaje de raíz sana.

La adición de biochar aumenta la longitud de la raíz, reduce su diámetro y densidad tisular, además de ejercer un impacto positivo sobre el estado hídrico de las plantas, incrementa la producción de biomasa aérea, promoviendo el crecimiento y la producción vegetal (Mondragón-Sánchez *et al.*, 2021).

El PRaIE presenta mayor significancia en el tratamiento B10NPK40 que posee el menor porcentaje de raíz enferma 10,96 %, siendo el más beneficioso para la planta, un sistema radicular sano mejora e incrementa la absorción de nutrientes encapsulados en la enmienda biochar, el otro grupo está conformado por C100NPK40, Z100NPK40 y el testigo NPK40TS, entre los tres el de mayor porcentaje de raíz enferma es NPK40TS con 32,33%, estos resultados indican que a una mayor cantidad de raíces enfermas existe una menor absorción de nutrientes, menor llenado del fruto, menor desarrollo y crecimiento de la planta ocasionando retrasos en el retorno, afectando la productividad del cultivo.

El Anova muestra un solo grupo (Cuadro 1) con una marcada diferencia de 27,92 cm entre B10NPK40 y NPK40+TS lo que corresponde a la acción del biochar en cuanto al desarrollo y crecimiento del retorno (Iglesias *et al.*, 2018). Esto también concuerda con lo señalado por Qian *et al.* (2015) y González-Marquetti (2020) quienes manifiestan que la adición de biochar incrementa la fertilidad de los suelos, además de evitar pérdidas por lixiviación lo cual contribuye a mantener

la reserva de nutrientes disponible en la solución del suelo para las raíces de las plantas ocasionando un mayor crecimiento y desarrollo (Figura 2). Los efectos del uso de zeolita y compost muestran resultados similares, su eficiencia es menor al biochar, pero un poco más efectiva que la sola adición de fertilizante al cultivo.

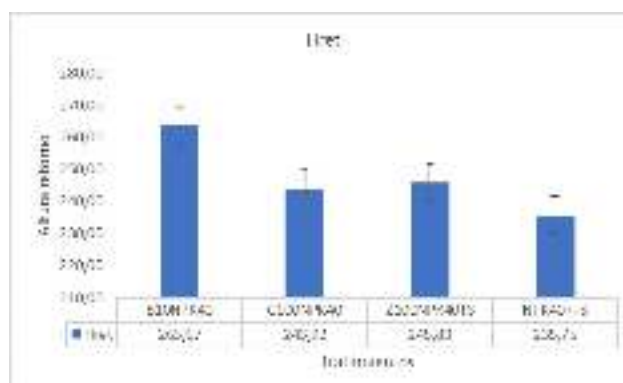


Figura 2. Altura del retorno.

Los días a la cosecha señalan al tratamiento B10NPK40 como el más precoz con 188,5 días, el crecimiento y desarrollo vegetal están afectados favorablemente por la adición de biochar, en varias investigaciones se ha determinado que acelera los tiempos de cosecha, además de incrementar rendimientos (Glaser y Lehr, 2019; MondragónSánchez *et al.* 2021).

Los tratamientos Z100NPK y NPK40TS son similares, presentan 11 días de diferencia con el tratamiento C100NPK40 mientras que se difieren en 41 días con B10NPK40, en términos de productividad nos acorta el ciclo de cultivo obteniendo más cosechas al año. Variables como el número de manos, peso del racimo y ratio procesado en los tratamientos C100NPK40; Z100NPK40 y NPK40TS se agrupan de tal manera que B10NPK40 tiene mayor significancia, estos resultados concuerdan con hallazgos similares en otros cultivos con el uso

de biochar reportados Glaser y Lehr, (2019); González-Marquetti (2020); Mondragón-Sánchez *et al.* (2021) y Yang *et al.* (2021). Los altos valores para el tratamiento B10NPK40 con 7,75 manos en promedio, un peso de 80,59 y ratio de 1,7 (conversión racimo/caja) nos indica que estamos obteniendo aproximadamente dos cajas por racimo cosechado.

Al inicio de la investigación se evidenció la presencia de varios microorganismos fitopatógenos y benéficos en todos los puntos de muestreo (Cuadro 2), al finalizar las aplicaciones la mayor cantidad de microorganismos fitopatógenos están en los tratamientos C100NPK40 (7), Z100NPK40 (6) y NPK40+TS (5), lo que concuerda con lo publicado por Gutiérrez (2001) manifestando que los fitopatógenos encontrados en mayor cantidad se registran en los suelos de cultivos de manejo orgánico debido al uso irracional de materia orgánica de trazabilidad desconocida y cultivos de manejo convencional por la mala aplicación de fertilizantes comerciales (Gutiérrez, 2001).

La mayor cantidad de microorganismos benéficos se registró en el tratamiento B10NPK40 (8). Entre los microorganismos benéficos hallados (Cuadro 2) están *Beauveria bassiana* que es un entomopatógeno que infecta huéspedes en estado larvario o adulto (Dembilio *et al.* 2010); *Trichoderma spp.*, es un hongo antagónico que actúa ante varios fitopatógenos controlando e inhibiendo su desarrollo (Verma, 2007).

Cuadro 2. Microorganismos fitopatógenos y benéficos encontrados inicio y final.

Microorganismos encontrados en las muestras de suelo al inicio y l final de las aplicaciones		Tratamientos							
		B10NPK40		C100NPK40		Z100NPK40		NPK40+TS	
		Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
Benéficos	<i>Beauveria bassiana</i>	1	1	1	1	1	0	1	0
	<i>Trichoderma spp.</i>	3	5	4	2	3	3	2	0
	<i>Bacillus spp.</i>	2	1	0	1	0	0	1	0
Fitopatógenos	<i>Aspergillus spp</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
	<i>Cladosporium spp.</i>	1	0	2	2	1	1	0	0
	<i>Chaetomium spp.</i>	1	0	1	1	1	1	1	1
	<i>Fusarium spp.</i>	1	0	1	2	1	2	1	2
	<i>Penicillium spp.</i>	0	0	1	0	1	0	0	1
	<i>Rhizopus spp.</i>	1	0	1	1	1	1	1	0

Bacillus spp. son bacterias con elevada actividad antimicrobiana, poseen un amplio espectro de actividad antagónica a la presencia de otras bacterias, hongos y virus, sus moléculas afectan las membranas inhibiendo el crecimiento de patógenos e induciendo resistencia además de competir por espacio (Fira, 2018).

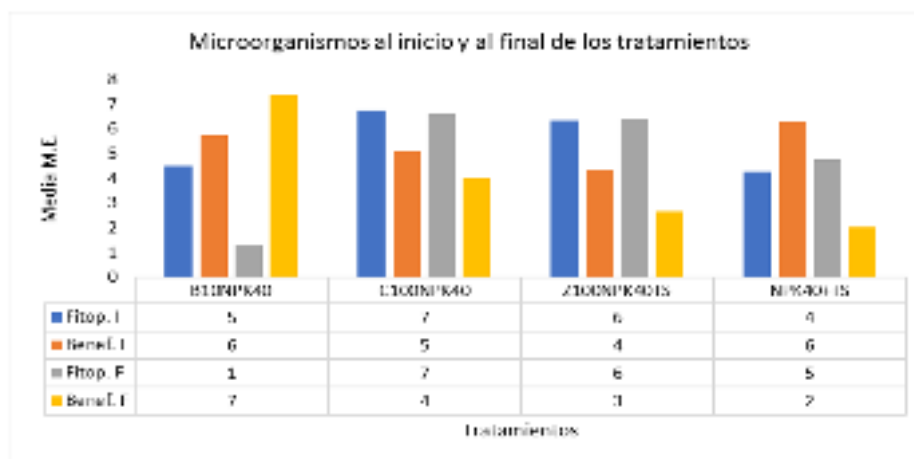


Figura 3. Microorganismos al inicio y al final de los tratamientos.

Al final del tratamiento (Figura 3) luego de las evaluaciones totales se observa que los microorganismos fitopatógenos han disminuido, mientras que los benéficos han incrementado a siete especies diferentes en el tratamiento

B10NPK40, es probable que este efecto se deba al control biológico que ejercen géneros como *Trichoderma spp.* que es un hongo muy agresivo resultando antagónico al desarrollo de otros hongos patógenos como *Fusarium spp.*, *Cladosporium spp.*, *Chaetomium spp.*, *Penicillium spp.* y *Rhizopus spp.* (Cano, 2011; Bermeo *et al.*, 2022).

En NPK40+TS se observa la pérdida total de microorganismos benéficos al final de los tratamientos (Cuadro 2), esto se debe principalmente a la acidificación del suelo lo cual inhibe el desarrollo de microorganismos benéficos, al no existir controladores empieza a incrementar la cantidad de microorganismos fitopatógenos, otra causa es la poca MO presente en el suelo lo cual reduce la fuente de alimento de los microorganismos benéficos. Los fitopatógenos presentes al final (Cuadro 2) fueron: *Aspergillus spp.* que produce aflatoxinas que son subproductos tóxicos, que contaminan los cultivos haciéndolos no aptos para el consumo (Bhatnagar-Mathur *et al.*, 2015); *Fusarium spp.* se observa en mayor proporción y es uno de los más peligrosos para el cultivo de banano (López-Zapata y Castaño-Zapata, 2019). El biochar potencia la actividad de la microbiota del suelo al aportar carbono que es fuente de alimento para los microorganismos, cambia la proporción de bacterias y hongos, ofrece un nicho ideal para el desarrollo de microorganismos gracias a su estructura porosa y su gran área superficial donde se refugian, ofrece nutrientes por los iones adheridos a la superficie (Lehman *et al.*, 2011; Ajema, 2018 y González-Marquetti, 2020).

Los parámetros físico-químicos (Cuadro 3) analizados demuestran que la cantidad de MO es menor al final del tratamiento B10NPK40, esto se debe a la gran cantidad de microorganismos que actúan descomponiendo la MO y volviéndola asimilable para las plantas, el pH subió a 6,40 por los beneficios del

biochar lo que concuerda con lo mencionado por varios investigadores (Krishnakumar *et al.*, 2014; Glaser y Lehr, 2019 y González-Marquetti, 2020). La CE es baja por lo que la disponibilidad de nutrientes no se ve afectada y pueden ser fácilmente absorbidas por las raíces (Castellanos-Ramos, 2000) mejorando así los rendimientos de los cultivos potenciados por la adición de biochar.

Cuadro 3. Parámetros edáficos encontrados al inicio y final de las aplicaciones.

Parámetros	Tratamientos							
	B10NPK40		C100NPK40		Z100NPK40		NPK40+TS	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
M.O.	2,33	2,26	2,35	2,51	2,30	2,36	2,31	2,30
pH	5,80	6,40	5,80	6,00	5,75	6,20	5,80	5,60
C.E.	0,51	1,20	0,51	0,55	0,51	0,92	0,51	0,52

Los tratamientos C100NPK40 y Z100NPK40 presenta una cantidad alta de MO al final en comparación a la MO de inicio, ya que existe una menor cantidad de microorganismos que se encarguen de descomponerla y ponerla asimilable para las raíces, el pH en ambos tratamientos subió ligeramente por lo que se ha reducido la acidez del suelo y la CE también es baja (Castellanos-Ramos, 2000). El tratamiento NPK40+TS no recibió adición de MO durante la investigación y la que tenía al inicio de los tratamientos no ha variado mucho, esto se debe a la falta de microorganismos benéficos (Cuadro 2) que la descompongan, el pH disminuyo volviendo más ácido el suelo lo que genera problemas de toxicidad y baja disponibilidad de nutrientes afectando la adsorción de K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ (Rosas-Patiño *et al.*, 2017).

Conclusiones

El tratamiento que contiene la enmienda biochar mejoró la microbiota benéfica del suelo y el comportamiento agronómico del cultivo, también se observó mayor mineralización de la MO y el incremento de pH a valores óptimos para la

disponibilidad de nutrientes a ser tomados por las raíces, no ha causado efectos negativos en la CE, todo esto se puede atribuir a la actividad biológica de los microorganismos benéficos presentes, lo cual propicio un desarrollo vegetativo más precoz, mayores rendimientos y menor porcentaje de raíces enfermas.

Literatura citada

Agrios GN. 2005. Plant Pathology. Amsterdam: Academic. 635 pp. 4th ed.

Ajema, L. (2018). Effects of biochar application on beneficial soil organism. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 5(5), 9-18.

<https://www.researchgate.net/publication/324823056>

Bhatnagar-Mathur, P., Sunkara, S., Bhatnagar-Panwar, M., Waliyar, F., & Sharma, K. K. (2015). Biotechnological advances for combating *Aspergillus flavus* and aflatoxin

contamination in crops. *Plant science*, 234, 119-132.

<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.02.009>

Bermeo Rodríguez, K. A., Quevedo Guerrero, J. N., García Batista, R. M., Chabla Carillo, J. E. (2022). Drench: Enraizadores químicos y orgánicos: Efectos de sus aplicaciones a la Microbiota del suelo en el Cultivo de Banano. *Revista Científica Agroecosistemas*,

10(1), 46-58. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>

Calero-Hurtado, A., Quintero-Rodríguez, E., Olivera-Viciedo, D., Pérez-Díaz, Y., CastroLizazo, I., Jiménez, J., y López-Dávila, E. (2018). Respuesta de dos cultivares de frijol común a la aplicación foliar de microorganismos eficientes. *Cultivos Tropicales*, 39(3), 5-

10. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362018000300001&script=sci_arttext&tlng=pt

Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas,

Trichoderma spp. y *Pseudomonas spp.* Una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 15-31.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262011000200003

Castellanos-Ramos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., y Aguilar-Santelises, A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. INCAPA, México.

Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S. C., Ryu, C., Jeon, J. K., Shin, M. C., & Park, Y. K. (2016).

Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering*

Chemistry, 40, 1-15.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X16301472>

Cortés, D., Pérez, J. y Camacho, J. (2013). Relación espacial entre la conductividad eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo. *Revista UDCA Actualidad &*

Divulgación Científica, 16(2), 401-408.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000200014

Dembilio, Ó., Quesada-Moraga, E., Santiago-Álvarez, C., & Jacas, J. A. (2010). Potential of an indigenous strain of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* as a biological control agent against the Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*.

Journal of invertebrate pathology, 104(3), 214-221.

<https://doi.org/10.1016/j.jip.2010.04.006>

Fira, D., Dimkić, I., Berić, T., Lozo, J., & Stanković, S. (2018). Biological control of plant

pathogens by *Bacillus* species. *Journal of biotechnology*, 285, 44-55.

<https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2018.07.044>

Glaser, B., & Lehr, V. I. (2019). Biochar effects on phosphorus availability in agricultural

soils: A meta-analysis. *Scientific reports*, 9(1), 1-9.

<https://www.nature.com/articles/s41598-019-45693-z>

González-Marquetti, I., Rodríguez, M. G., Delgado-Oramas, B. P., y Schmidt, H. P.

(2020). Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas.

Revista de Protección Vegetal, 35(2).

<http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/1090/1606>

Gutiérrez, G. C. (2001). Señales entre hongos patógenos y plantas hospederas resistentes. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 7(1), 15-19. <https://www.redalyc.org/pdf/629/62970103.pdf>

- Iglesias Abad, S., Alegre Orihuela, J., Salas Macías, C., y Egüez Moreno, J. (2018). El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 25-32. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v9n1/a03v9n1.pdf>
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., y Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia* (Arica), 24(1), 49-61. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Krishnakumar, S., Rajalakshmi, A. G., Balaganesh, B., Manikandan, P., Vinoth, C., &
- Rajendran, V. (2014). Impact of biochar on soil health. *International Journal of Advanced Research*, 2(4), 933-950. https://www.researchgate.net/publication/274712806_Impact_of_Biochar_on_Soil_Health
- Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(2), 403-427. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- López-Zapata, SP y Castaño-Zapata, J. (2019). Manejo integrado del mal de Panamá *Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. sp. cubense (EF SM.) WC Snyder y HN Hansen: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & divulgación científica*, 22 (2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1240>
- Ministerio de Comercio del Exterior. 2017. Informe sector bananero ecuatoriano. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-banaderospa%C3%B1ol-04dic17.pdf>
- Mondragón-Sánchez, A., Medina-Orozco, L. E., Sánchez-Duque, A., y Núñez-Oregel, V. (2021). Efecto de la aplicación de biocarbón en el rendimiento de maíz en Michoacán, México. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://www.redalyc.org/journal/573/57366066052/html/>
- Obregón-Portocarrero, N., Díaz-Ortiz, J. E., Daza-Torres, M. C. y Aristizabal-Rodríguez, H. F. (2016). Efecto de la aplicación de zeolita en la recuperación de nitrógeno y el rendimiento de maíz. *Acta agronómica*, 65(1), 24-30.

https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/47762/52397

Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. Manejo integral del

suelo y Nutrición vegetal, 1(4), 1-4.

<https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf> Paulin, B. y O'Malley, P. (2008). Producción y uso de compost en horticultura. <https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/bulletins/193/>

Pereg, L., & McMillan, M. (2015). Scoping the potential uses of beneficial microorganisms for increasing productivity in cotton cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 80, 349-358. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071714003678>

Ramírez Marrache, K., Florida Rofner, N., & Escobar Mamani, F. (2019). Indicadores químicos y microbiológicos del suelo bajo aplicación de microorganismos eficientes en plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Investigación e Innovación*

Agropecuaria y de Recursos Naturales, 6(2), 21-28.

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182019000200004&script=sci_arttext Romero-Perdomo, F., Abril, J., Camelo, M., Moreno-Galván, A., Pastrana, I., RojasTapias, D., & Bonilla, R. (2017). *Azotobacter chroococcum* as a potentially useful bacterial biofertilizer for cotton (*Gossypium hirsutum*): Effect in reducing N fertilization. *Revista*

Argentina de microbiología, 49(4), 377-383.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754117300809>

Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., y Menjivar-Flores, J. C. (2021). Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1).

<http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n3/0122-8706-ccta-18-03-00529.pdf>

Torres, P., Segura, R., Sandoval, J. A., Ortega, R., y Samuels, J. (2019). Manejo de la sanidad radical del cultivo del banano mediante rizoestimulantes microbianos, enmiendas orgánicas y minerales. *Revista Corbana*, 45(65), 83-92.

Qian, K., Kumar, A., Zhang, H., Bellmer, D., & Huhnke, R. (2015). Recent advances in utilization of biochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1055-1064. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.074>

Verma, M., Brar, S. K., Tyagi, R. D., Surampalli, R. N., & Valero, J. R. (2007). Antagonistic fungi, *Trichoderma spp.*: panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal*, 37(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.05.012>

Xiang, W., Zhang, X., Chen, J., Zou, W., He, F., Hu, X. & Gao, B. (2020). Biochar technology in wastewater treatment: A critical review. *Quimiosfera*, 252 , 126539.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126539>

Xie, Y., Wang, L., Li, H., Westholm, L. J., Carvalho, L., Thorin, E. & Skreiberg, Ø. (2022). A critical review on production, modification and utilization of biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 161, 105405.

<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105405>

Yang, F., Sui, L., Tang, C., Li, J., Cheng, K., & Xue, Q. (2021). Sustainable advances on phosphorus utilization in soil via addition of biochar and humic substances. *Science of*

The Total Environment, 768,145106.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721001728>

Zagal, E., Rodríguez, N., Vidal, I., y Flores, A. B. (2002). La fracción liviana de la materia orgánica de un suelo volcánico bajo distinto manejo agronómico como índice de cambios

de la materia orgánica lábil. *Agricultura Técnica*, 62(2), 284-296.

https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S036528072002000200011&script=sci_arttext&lng=en