

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

USO DEL BIOCHAR PARA MEJORAR LA CALIDAD DE PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arábica*)

TERESA ROJAS PÉREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

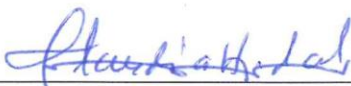
En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Teresa Rojas Pérez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Claudia Ma. I. Hidalgo Moreno, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Uso del biochar para mejorar la calidad de plantas de café (Coffea arábica)

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 14 de septiembre de 2017



Firma del
Alumno (a)



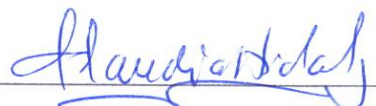
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: Uso del biochar para mejorar la calidad de plantas de café (*Coffea arabica*) realizada por el (la) alumno (a): Teresa Rojas Pérez bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

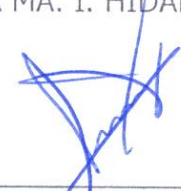
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA




DRA. CLAUDIA MA. I. HIDALGO MORENO

ASESOR



DR. JUAN JOSÉ ALMARAZ SUAREZ

ASESOR



DR. ATENÓGENES LEOBARDO LICONA VARGAS

ASESOR



DR. EMILIANO PÉREZ PORTILLA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, October de 2017

USO DEL BIOCHAR PARA MEJORAR LA CALIDAD DE PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica*)

Rojas Pérez Teresa

Colegio de Postgraduados, 2017.

RESUMEN

La incidencia de la roya (*Hemileia vastatrix*) en Centroamérica generó daños cercanos a los USD\$ 500 millones entre 2012 y 2013. Para renovar los cafetales se propuso el uso de turba (peat coffe) en México. Este sustrato tiene un alto costo y su uso ha sido cuestionado en los últimos años por el impacto ambiental que genera su explotación para ser usado en horticultura. Adicionalmente, no se tienen suficientes experiencias respecto a su uso en viveros de plantas de café. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de biochar de cascarilla de café combinado con suelo, composta y peat coffee en el desarrollo de plantas de café (*Coffea arabica*) variedad Costa Rica 95 en condiciones de vivero. El biochar se elaboró por pirolisis de cascarilla de café pergamino y capulín. Las mezclas de suelo, composta, peat coffe y biochar constituyeron los tratamientos evaluados. A las mezclas se les determinaron sus características físicas, químicas y microbiológicas. La evaluación de éstas en vivero se realizó en Capulapa, Huatusco, Veracruz con la participación de productores de la Cooperativa “Gruta del Río Jamapa”. En el experimento se evaluó: altura y diámetro de tallo, número de hojas, número de cruces, área foliar, longitud y volumen de raíz, biomasa de hojas, tallo y raíz. También se realizó una evaluación participativa y análisis de costos de producción de los tratamientos. Los resultados muestran que características del biochar como: baja densidad aparente, alta porosidad, posibilidad de desarrollo de bacterias, hongos y microorganismos solubilizadores de fosfatos, hacen que sea considerado su uso, combinado con composta y turba (peat coffe), en sustratos para horticultura. Las evaluaciones de variables del desarrollo vegetativo de plantas de café de los tratamientos evaluados indican que el uso de composta combinado con suelo, turba (peat coffe) y biochar es la mejor alternativa para obtener plantas de calidad en vivero que puedan ser empleadas en el reemplazo de plantaciones de café con incidencia de roya. Ello basado en las características físicas, químicas y biológicas de las mezclas donde se incorporó, porque presenta costos menores y

porque es una tecnología que puede ser adoptada por productores de café en México. El biochar representa una oportunidad para dar valor agregado a residuos como la cascarilla del café cuyo uso es muy limitado. Adicionalmente su uso puede ayudar a disminuir la huella de carbono asociada al café ya que el biochar presenta el potencial de favorecer la captura de carbono en el suelo. Lo cual es motivo de una evaluación a más largo plazo.

Palabras clave: Sustratos, captura de carbono, cascarilla de café, microorganismos

USE OF BIOCHAR TO IMPROVE THE QUALITY OF COFFEE (*Coffea arabica*) PLANTS

Rojas Pérez Teresa

Colegio de Postgraduados, 2017.

ABSTRACT

Coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) incidence in Central America Caused losses of approximately 500 million U.S. dollars between 2012 and 2013. The use of peatcoffee was proposed in Mexico to renew the coffee plantations. This substrate is costly and its use has been questioned due to the environmental impact that its exploitation for horticultural use generates. Additionally, there are not enough experiences regarding its use in coffee plant nurseries. Because of this, the objective of the present work was to evaluate the use of biochar made from coffee husks combined with soil, compost, and peatcoffee on the development of coffee plants (*Coffea arabica*) Costa Rica 95 variety under nursery conditions. The biochar was elaborated through pyrolysis of parchment and cherry coffee husks. The mixtures of soil, compost, peatcoffee, and biochar made up the evaluated treatments. The mixtures were determined for their physical, chemical, and microbiological characteristics. These evaluations were done in a nursery in Capulapa, Huatusco, Veracruz, with the participation of producers from the “Gruta del Río Jamapa” cooperative. In the experiment, the following plant variables were evaluated: stem height and diameter, number of leaves, number of nodes, leaf area, root length and volume, and the biomass of leaves, stem, and roots. A participative evaluation and production cost analysis of the treatments were also carried out. The results show that the biochar characteristics, such as: low apparent density, high porosity, possibility of developing bacteria, fungi, and phosphate solubilizing microorganisms, make it feasible for use combined with compost and peatcoffee in substrates for horticulture. The evaluations of the vegetative growth variables of coffee plants in the evaluated treatments indicate that the use of compost combined with soil, peatcoffee, and biochar is the best alternative to obtain quality nursery plants that can be used to replace those in coffee plantations with incidence of coffee leaf rust. This is based on the physical, chemical, and biological characteristics of the mixtures where it was incorporated, given its lower costs and the fact that this technology can be

adopted by coffee producers in Mexico. Biochar represents an opportunity for added value of residues like coffee husks, which have very limited use. Moreover, its use can help decrease the carbon trail associated with coffee, as biochar has the potential of favoring carbon capture in the soil. This is motive enough for further evaluation in the long run.

Key words: substrates, carbon capture, coffee husk, microorganisms.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, al programa de Edafología por la oportunidad de concluir mis estudios de maestría en ciencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la obtención de mis estudios de maestría.

A la Dra Claudia Hidalgo por la dirección de esta investigación, por su dedicación, entusiasmo y apoyo en todo momento.

Al Dr. Juan José Almaraz por su disponibilidad y aportaciones en la parte microbiológica de la investigación.

Al Dr. Atenógenes Licona por sus atinadas observaciones y contribuciones en la mejora de la investigación.

Al Dr. Emiliano Pérez por su apoyo en la parte estadística y valiosos comentarios en la revisión de la investigación.

Al personal de los laboratorios de Fertilidad de Suelos, Microbiología y Física de Suelos de Edafología por el apoyo y facilidades brindadas en la determinación de los análisis.

Al departamento de Agroecología de la Universidad Autónoma Chapingo, en especial al Dr. Juan Antonio Cruz por el préstamo del equipo para la determinación del análisis foliar y de raíz.

Al INIFAP San Martinito, Puebla, en especial al M.C. Noel Ávila y a la .M.C. Edna Elena Suárez por el apoyo en la elaboración del biochar.

A los productores de café de la "Cooperativa Gruta del Río Jamapa" de Capulapa, Huatusco, Veracruz por su participación y apoyo en la evaluación de campo, en especial al Sr Eulogio Veneroso y familia por su apoyo y por prestarme el espacio de su vivero para el desarrollo de las plantas.

A los productores de café de San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro y Veracruz que he conocido en mi experiencia laboral, por inspirarme a aprender nuevas cosas, por compartirme sus conocimientos y por su confianza y amistad.

A todas las personas que han contribuido en mi desarrollo profesional y personal.

DEDICATORIA

A mis abuelitos: Silvestre Rojas García y Guillermina Vázquez Peralta (†) por sus cuidados, amor, consejos y por enseñarme el amor al campo.

A mi padre Álvaro Rojas Vázquez por todo su apoyo y amor en cada etapa de mi vida. Y su esposa Faustina Galindo por su apoyo y consejos brindados.

A mi madre Agustina Pérez Cruz por darme la vida y la oportunidad de reencontrarnos nuevamente.

A mis hermanos: Ángel, Luis, Rubén y Samuel por las vivencias compartidas y apoyo incondicional.

A toda mi familia por el apoyo y consejos que siempre me han brindado.

A mis amigos que he conocido en diferentes etapas de mi vida, por el apoyo incondicional, por las aventuras compartidas, por las noches de estudio y por hacerme saber que formo parte de su espacio.

A Marcos por su apoyo, comprensión y amor.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCION GENERAL	1
1 Planteamiento del problema	2
2 Objetivos	2
2.1 Objetivos particulares	2
3 Hipótesis.....	3
3.1 Particulares.....	3
4 Revisión de literatura	3
4.1 Producción de café en el mundo y en México	3
4.2 Cascarilla de café	4
4.3 Producción de plantas en viveros.....	4
4.4 Uso de turba en la producción de plantas	5
4.5 Uso de compostas	5
4.6 Biochar.....	6
4.7 Poblaciones microbianas.....	8
4.8 Cooperativa Gruta del Rio Jamapa	10
5 Literatura citada.....	10
Capítulo 1 . CARACTERIZACION DEL BIOCHAR DE CASCARILLA DE CAFÉ	13
1 Introducción	13
2 Materiales y métodos	14
2.1 Obtención del biochar	14

2.2	Preparación de mezclas y tratamientos	14
2.3	Prueba de germinación.....	14
2.4	Caracterización física y química.....	15
2.5	Análisis microbiológico.....	15
2.6	Análisis estadístico	16
3	Resultados y discusiones.....	16
3.1	Prueba de germinación.....	16
3.2	Caracterización física.....	17
3.3	Microscopia electrónica de barrido (MEB).	19
3.4	Caracterización química	20
3.5	Poblaciones microbianas.....	23
4	Conclusiones	30
5	Literatura citada.....	31
Capítulo 2 . EVALUACIÓN DEL BIOCHAR DE CASCARILLA DE CAFÉ COMO COMPONENTE DE SUSTRATOS DE PLANTAS DE CAFÉ EN VIVERO		36
1	Introducción	36
2	Materiales y métodos	37
2.1	Localización del experimento	37
2.2	Diseño experimental, tratamientos y manejo del experimento.....	38
2.3	Poblaciones microbianas.....	38
2.4	Variables relacionadas con el crecimiento vegetativo	39
2.5	Análisis de material vegetal.....	40
2.6	Análisis estadístico	41
2.7	Evaluación participativa cualitativa.....	41
2.8	Análisis de costos de producción.....	41

3	Resultados y discusiones.....	41
3.1	Poblaciones microbianas.....	41
	Evaluación de los microorganismos siete meses después del trasplante	41
3.2	Variables relacionadas con el crecimiento vegetativo	47
3.3	Análisis de material vegetal.....	52
3.4	Evaluación participativa	56
3.5	Análisis de costos de producción.....	57
	S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe)	58
4	Conclusiones	58
5	Literatura citada.....	59
	CONCLUSIONES GENERALES	62
	APÉNDICES	65
	Apendice 1	65
	Apendice 2.....	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características físicas de las mezclas suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.	18
Cuadro 2. Características químicas de las mezclas suelo, composta, turba (PC) y biochar. 22	
Cuadro 3. Micronutrientos de las mezclas suelo, composta, turba (PC) y biochar.	23
Cuadro 4. Análisis de varianza de poblaciones microbianas en mezclas de diferentes sustratos.	24
Cuadro 5. Comparación de poblaciones microbianas de las mezclas suelo, composta, turba (PC) y biochar utilizadas.	24
Cuadro 6. Análisis de varianza de poblaciones microbianas en mezclas de diferentes sustratos evaluadas en la etapa final del experimento.	42
Cuadro 7. Comparación de poblaciones microbianas en la etapa inicial y final del experimento en las mezclas suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.....	44
Cuadro 8. Variables relacionadas con el crecimiento vegetativo del café en los tratamientos con suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.....	48
Cuadro 9. Área foliar de las plantas en las mezclas suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.	49
Cuadro 10. Biomasa de hojas, tallo y raíz de las plantas en las mezclas suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.	50
Cuadro 11. Longitud y volumen de raíz de las plantas en las mezclas suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.....	51
Cuadro 12. Análisis de varianza de macro y microelementos de hojas de café en mezclas de diferentes sustratos.	52
Cuadro 13. Comparación de medias del análisis vegetal en hojas de café.....	53
Cuadro 14. Análisis de varianza de macro y microelementos de tallos de café en mezclas de diferentes sustratos.	54
Cuadro 15. Comparación de medias del análisis en tallos de café.....	55
Cuadro 16. Analisis de costo de produccion por planta de cafe en las diferentes mezclas ..	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Prueba de germinación de semillas de rábano en mezclas de biochar, suelo, composta y peat coffe. (T1: suelo, T2: suelo + composta; T3: suelo + composta+ biochar; T4: PC; T5: PC+ biochar; T6: suelo+ composta + PC; T7: suelo + composta+ PC+ biochar, T8: suelo+biochar).....	17
Figura 2. Observaciones en microscopio electrónico de barrido del biochar de cascarilla de café. 2a: Porosidad del biochar, 2b: Detalles de la estructura porosa, 2c: Estructura bascular, 2d: Vista general de una partícula porosa, 2e: Pequeñas estructuras en forma de rosetas, 2f: Detalle de las formas de rosetas.	20
Figura 3. Bacterias totales. S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); barras con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).....	25
Figura 4. Hongos totales en mezclas de diferentes sustratos. S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); barras con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).	26
Figura 5. Actinomicetos en mezclas de diferentes sustratos. S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); barras con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).	27
Figura 6. Solubilizadores de fosfato en mezclas de diferentes sustratos. S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peat coffe); barras con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).....	28
Figura 7. Degradadores de celulosa en mezclas de diferentes sustratos. S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); barras con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).....	29
Figura 8. Localización del experimento en Capulapa, Huatusco, Veracruz.....	37
Figura 11. Raíces de plantas de café desarrolladas en mezclas de suelo (S), Composta (C), turba (PC), y biochar (B).	52
Figura 12. Evaluación participativa del grupo de productores de Capulapa, Huatusco, Vereacruz; S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peat coffe).	57

INTRODUCCION GENERAL

La actividad cafetalera que es de relevancia económica y social para muchas familias mexicanas, actualmente está siendo afectada por la incidencia de la roya (*Hemileia vastatrix*). Este hongo parásito disminuyó el rendimiento y afectó las plantaciones de café en Centroamérica, generando daños cercanos a los USD\$ 500 millones (aproximadamente 2,7 millones sacos de producción) entre 2012 y 2013 según el informe 2012/13 de la Organización Internacional del café (Draper and Tomlison, 2015). Por ello es una prioridad producir plantas de calidad para renovar los cafetales. Con ese propósito, para obtener plantas de manera masiva en México se ha propuesto el uso de peat coffee (PC) que tiene como base de su composición turba importada de Canadá. Sin embargo las experiencias del uso de la misma en viveros de café son escasas. En horticultura se trata de sustituir la turba porque aumenta los costos, su disponibilidad futura es dudosa y es cuestionable su explotación por ser importantes sumideros de CO₂ (Fascella, 2015). La cascarilla de café es un subproducto que no tiene uso actualmente, y su quema contamina y emite gases efecto invernadero (GEI) (Draper and Tomlinson, 2015; Brasard *et al*, 2016). La elaboración de biochar dará valor agregado a este residuo y es una alternativa tecnológica-ecológica porque mejora el suelo (Dumroese *et al.*, 2011), es liviano y presenta ventajas a futuro por su potencialidad de capturar carbono y de reducir emisiones de GEI (Draper and Tomlinson, 2015). Las Naciones Unidas en 2004 lo consideraron como una alternativa para disminuir la huella de carbono asociada al café que emplea importantes insumos agrícolas y un manejo intensivo. El uso de biochar en el cultivo del café es muy nuevo y son escasas las publicaciones científicas con revisión por pares. La mayoría de estos estudios de biochar se han hecho sobre uso agrícola. Se necesita investigación para conocer las características de los biochars resultantes de los subproductos del café (Draper and Tomlinson, 2015) para que el biochar goce de la adopción extensa en horticultura. El objetivo del estudio fue evaluar el uso de biochar de cascarilla de café combinado con suelo, composta y peat coffee en el desarrollo de plantas de café (*Coffea arabica*) variedad Costa Rica 95 en condiciones de vivero.

1 Planteamiento del problema

La actividad cafetalera es una actividad de relevancia económica y social para muchas familias mexicanas, pero actualmente está afectada por la incidencia de la roya (*Hemileia vastatrix*), la cual afecta principalmente a cafetales con escaso manejo, plantas avejentadas y con variedades poco resistentes. Es por ello que es una prioridad producir plantas de café de calidad para renovar los cafetales. La producción de plantas se realiza de manera tradicional (plantas recolectadas en los cafetales y producidas con suelo del mismo lugar) en la mayoría de los casos, obteniendo así plantas con débil desarrollo. La turba (peat coffee o peat moss) es el sustrato más usado en horticultura. Sin embargo, su uso representa un aumento en los costos de producción de la planta en vivero. Adicionalmente se ha generado dudas sobre la disponibilidad de este material en un futuro cercano debido a las limitaciones ambientales. Además su explotación ha sido cuestionada recientemente debido a que se obtiene de turberas, ecosistemas altamente frágiles, humedales con un gran valor ecológico y arqueológico, incluido en la lista de hábitats naturales con una degradación potencial (Fascella G., 2015). El uso de biochar representa una alternativa tecnológica-ecológica para la producción de plantas de café, debido a que el biochar tiene propiedades como mejorador del suelo que pueden proporcionar condiciones que permitan obtener plantas de calidad además este presenta ventajas a futuro en la captura de carbono.

2 Objetivos

Evaluar el efecto de mezclas de biochar de cascarilla de café con suelo, composta y turba (peat coffee) en el desarrollo de plantas de café (*Coffea arabica*) en condiciones de vivero.

2.1 Objetivos particulares

1. Evaluar las características físicas de las mezclas de biochar de cascarilla de café, composta, turba (peat coffee) y suelo.
2. Evaluar las características químicas de las mezclas de biochar de cascarilla de café, composta, turba (peat coffee) y suelo.
3. Evaluar las características microbiológicas de las mezclas de biochar de cascarilla de café, composta, turba (peat coffee) y suelo.

4. Evaluar el desarrollo de las plantas de café en las mezclas de estudio.

3 Hipótesis

La adición de biochar de cascarilla de café a las mezclas de composta, turba (peat coffee) y suelo favorece un mayor desarrollo de las plantas de café.

3.1 Particulares

1. La adición de biochar a las mezclas de composta, turba (peat coffee) y suelo genera condiciones físicas que permiten un mayor desarrollo de las plantas.
2. Las propiedades químicas de las mezclas de composta, turba (peat coffee) y suelo varían como resultado de la adición de biochar.
3. El biochar favorece el desarrollo de microorganismos en las mezclas de composta, turba (peat coffee) y suelo.
4. El desarrollo de las plantas en las mezclas con biochar es similar al de las mismas a base de turba (peat coffee) considerado como el sustrato más usado en horticultura.

4 Revisión de literatura

4.1 Producción de café en el mundo y en México

El café es un producto agrícola de suma relevancia en el mundo, ya que es cultivado por 20 millones de productores en 56 países. De acuerdo a la organización internacional de Café (OIC, 2016) los principales países productores son Brasil, Vietnam y Colombia. México se ubica en el lugar 11.

El cultivo de café en nuestro país se desarrolla en 12 estados, siendo los de mayor importancia: Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero e Hidalgo. La superficie de cultivo es superior a 680,000 ha distribuidas en 58 regiones y 404 municipios, lo que genera numerosos empleos en el campo, además de ser la principal fuente de ingresos de muchos pequeños productores y de 17 grupos indígenas del país (Plan de Innovación en la Caficultura de México, 2011).

4.2 Cascarilla de café

La cascarilla de café es un subproducto que se obtiene durante el beneficiado húmedo y seco, en la actualidad el uso que se le ha dado es para producción de biocombustible (OIC, 2005), composta y comprimidos para construcción de muebles. Según (Montilla P., 2006) la cascarilla de café tiene la siguiente composición química: contenido de humedad de un 5 a 8%, materia seca 92,8%, extracto etéreo 0,6%, nitrógeno 0,39%, cenizas 0,5 a 0.6%, mantiene una densidad aparente promedio de 0.33 g/cm³, presenta un contenido de celulosa del 57% de cada 50 gr obtenidos por kilogramo de café cereza. De acuerdo a estudios realizados por (Roa, 2003), el cisco o cascarilla del café presenta las siguientes propiedades: su poder calorífico es de aproximadamente 4180 cal/gr o 7458 kcal/kg, cuya composición en material volátil es de 87.7%. El tamaño de la cascarilla ronda entre 0.425 y 2.36 mm de diámetro. A partir del residuo lignocelulósico se puede obtener bioetanol de segunda generación, (Vázquez Morales, 2015).

4.3 Producción de plantas en viveros

La producción de plantas de café es una actividad que se ha desarrollado en los últimos años como necesidad de renovar los cafetales, debido a que existen plantas con más de 40 años que dan como resultado bajos rendimientos y recientemente por la afectación de la enfermedad de la roya (*Hemileia vastatrix*).

Con la Política Nacional de Renovación de Cafetales (2009-2020) por SAGARPA se implementó en 2014 PROCAFE e Impulso Productivo al Café con el objetivo de contribuir al crecimiento de la productividad de las zonas cafetaleras del país. Por medio de la adquisición de viveros tecnificados para la producción de planta con calidad genética tolerantes a roya, adquisición de insumos para el manejo del cultivo y capacitación y acompañamiento técnico. La producción de plantas consistió en viveros con capacidad de 500,000 plantas, con variedades tolerantes a roya como Costa Rica 95, Sarchimor, Colombia, utilizando tubetes y como sustrato Peat Coffe (turba+agrolita) implementando sistema de riego y fertirriego.

Por otra parte la producción de plantas también se realiza de manera tradicional. En las zonas cafetaleras de Veracruz se efectúa como una actividad complementaria para realizar año con año la renovación de sus fincas cafetaleras y en algunos casos para la venta. La producción de plantas se realiza con estructura rustica a base de madera y como sombra se utilizan helechos, en algunos casos se usa malla sombra, como sustrato se utilizan suelo mezclado con composta, las bolsas utilizadas son de polietileno de 15 x 25 cm. La cantidad de plantas es variable y oscila entre las 2 mil y 20 mil plantas por ciclo (Licona-Vargas, 2016).

4.4 Uso de turba en la producción de plantas

La turba se obtiene de turberas, ecosistemas altamente frágiles, humedales con un gran valor ecológico y arqueológico, incluidos en la lista de hábitats naturales con una degradación potencial. La turba también juega un papel importante en mejorar la calidad del agua subterránea y pantanos, la turba también sirve como un hábitat especial para plantas y animales silvestres. Además, estos ecosistemas representan importantes sumideros de dióxido de carbono (CO₂). Así, el creciente uso de la turba en horticultura ha resultado en un rápido agotamiento de los humedales, y determina la pérdida de un recurso no renovable y crea una fuente de gases de efecto invernadero a través de la abundante liberación de CO₂ debido a la descomposición aeróbica de la turba. Por esta razón, ha originado un movimiento mundial para lograr un manejo sustentable de las turbas (Fascella, C. 2015).

4.5 Uso de compostas

Las compostas son ampliamente utilizados como ingredientes de sustratos para plantas por las siguientes razones: 1) necesita encontrar una salida segura (plantas no comestibles como ornamentales, especies forestales) que no sea deseable para la producción de cultivos de alimentos; 2) las características y funciones en los componentes son similares a los de la turba pero con un costo considerablemente más bajo; 3) suprimen muchas enfermedades transmitidas por el suelo. Sin embargo, una degradación secundaria del compost puede crear deficiencias de N en la zona radical y oxígeno.

La combinación de turba y compost en medios de cultivo es sinérgica: la turba a menudo mejora la aireación y retención de agua, mientras que el compost mejora la fertilidad del sustrato. Los compost ideales son substitutos en la propagación de los medios de cultivo. Debido a las propiedades físicas y químicas de los medios preparados con compost y residuos, éstos se pueden cambiar con el tiempo. Productos finales del reciclaje de residuos utilizados como compost varían grandemente en pH, conductividad eléctrica (CE), y nutrientes. Esta variabilidad depende también del tipo de componentes y del proceso de compostaje.

Por esta razón, es importante conocer las características físicas, químicas y biológicas de cada material y compararlas con las requeridas para su uso como un medio de cultivo. Por otra parte, el uso de mezclas de compost con turba puede minimizar las deficiencias que presentan los materiales solos (heterogeneidad, presencia de contaminantes, pH alcalino). La determinación del porcentaje de compost utilizado para sustratos de macetas debe ser cuidadosamente calculado para evitar efectos negativos sobre el crecimiento de la planta (alto contenido de sales solubles, presencia de metales pesados, etcétera).

4.6 Biochar

El biochar es el producto rico en carbono que queda tras calentar biomasa como, madera, u hojas en un contenedor con poco o ningún aire disponible. En términos más técnicos, el biochar se produce mediante descomposición térmica de la materia orgánica con un bajo suministro de oxígeno (O_2), y a temperaturas ($700.0^\circ C$). Este proceso es muy parecido al de la formación de carbón vegetal, que es una de las tecnologías industriales más antiguas desarrolladas por la humanidad, si no la más antigua (Harris, 1999). Sin embargo, este proceso se diferencia en que el biochar es producido con la intención de aplicarse en el suelo con el objetivo de mejorar la productividad, almacenamiento de carbono (C), filtración por percolación del agua en el suelo. El proceso de producción, junto con el objetivo de su uso, es la base de la denominación de este producto.

El término biochar es de desarrollo relativamente reciente, y surgió con la conjunción de la gestión del suelo y el tema de secuestro de Carbono (Lehmann *et al*, 2006). Se emplea cuando el subproducto generado por la pirolisis de la materia orgánica es utilizado para

mejorar las propiedades del suelo. Esto distingue al biochar del carbón, que se emplea como combustible, filtro, reductor en la fabricación de hierro o agente de coloración en la industria o arte. El término biochar se empleó anteriormente con la producción de carbón vegetal (e.g., Karaosmanoglu *et al*, 2000; Demirbas, 2004).

Lehmann *et al.*, (2003) y Steiner *et al* (2007) introdujeron el concepto de conversión de residuos a biochar como un método agrícola alternativo para reducir las emisiones de CO₂. De hecho, el uso de biochar en el suelo puede tener el mayor potencial para capturar a largo plazo del carbono (C) y puede permanecer en los suelos durante muchos cientos de años, debido a su estructura estable y forma compleja policíclica aromática, aumentando así la resistencia de la C a la descomposición microbiana (Fascella, C., 2015). Por estas razones, la incorporación de biochar en el suelo se considera actualmente como una interesante opción para alcanzar los objetivos de mitigación y como un manejo agrícola capaz de reducir gases de efecto invernadero (concentraciones atmosféricas de CO₂) (Leman 2007, Laird 2008). El mayor secuestro de C en el suelo, a través de biochar además, puede mejorar la calidad del suelo debido al papel vital que este elemento juega en procesos físicos, químicos y biológicos (Fascella, G. 2015).

Sin embargo, el uso del biochar presenta algunos inconvenientes. La producción de biochar no es suficiente a nivel comercial, por lo que no se puede considerar sea disponible para los agricultores. También en algunos países de Europa hay barreras legislativas que tratan de evitar que se aplique a la tierra debido a que hay incertidumbre acerca de su desempeño a largo plazo y a que todavía es impredecible la respuesta de éste en el crecimiento de las plantas en diferentes sistemas de aplicación. Sin embargo como con muchas prácticas agrícolas, el uso del biochar se ha divulgado en los últimos años porque se tienen experiencias de efectos positivos y negativos en la productividad (Fascella, G., 2015).

Otro obstáculo es su manipulación, ya que el biochar libera polvo negro, un contribuyente al calentamiento global, aún cuando el polvo puede ser controlado por peletización de biochar o aumentando el contenido de agua inicial, esto es considerado como un potencial riesgo a la salud si no se toman las precauciones requeridas en el momento de su aplicación. Otro inconveniente, que puede ser de mayor importancia es que biochar no es

de ninguna manera un producto estándar: sus propiedades difieren ampliamente dependiendo de la materia prima y las condiciones de pirolisis, por lo que requiere adecuaciones importantes dependiendo del uso en cultivos anuales, perennes, hortalizas, ornamentales, etc. (Fascella, 2015).

4.7 Poblaciones microbianas

El suelo contiene cinco grupos principales de microorganismos: bacterias, hongos, actinomicetos, algas y protozoarios.

Las bacterias son el grupo más abundante. Pero debido a su diminuto tamaño estas representan menos de la mitad de la masa celular microbiana total. En los suelos bien aireados predominan bacterias y hongos, mientras que en los ambientes con poco oxígeno las bacterias son responsables de casi todos los cambios químicos y biológicos (Alexander, 1980).

La función básica de las bacterias es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos, de donde obtienen su fuente energética y alimenticia. Mediante su metabolismo liberan al medio sustancias como; enzimas, proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes. Los beneficios de las bacterias para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción. El número de bacterias tiene una estrecha relación con algunas propiedades físicas del suelo, como la textura, estructura, porosidad, aireación y retención de humedad, ya que su actividad se beneficia con una mayor disponibilidad de oxígeno, principalmente en aquellos suelos con poca compactación y sin excesos de agua. Dentro de las propiedades químicas que favorece la actividad de las bacterias se encuentra un pH cercano a la neutralidad, una baja acidez, altos contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de algunos elementos necesarios para su metabolismo, como N, Ca y Mg (Acuña *et al.*, 2006).

Los hongos predominan en el protoplasma microbiano que se encuentra en el lecho de descomposición particularmente en los estratos orgánicos de los suelos boscosos o selváticos y son los principales agentes de descomposición en ambientes ácidos (Alexander

1980). La función básica de los hongos es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos frescos o recién incorporados al suelo, por esto se les conoce como descomponedores primarios que mediante su metabolismo libera gran cantidad de enzimas capaces de destruir compuestos de estructuras complejas, para así obtener su fuente energética y alimenticia. Además liberan al medio, proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes. Los beneficios de los hongos para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces, una protección al ataque de fitopatógenos y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción (Acuña *et al.*, 2006).

Los actinomicetos se encuentran en un grupo de transición entre las bacterias simples y hongos. De acuerdo a la taxonomía se clasifican en sentido estricto como bacterias. Los actinomicetos son numerosos y están ampliamente distribuidos no solo en el suelo sino también en compostas. Se encuentran en la superficie de suelos así como también en los horizontes inferiores. Son igual de abundantes que las bacterias. Particularmente se encuentran en pH elevados, son organismos saprofitos. Se desarrollan más lentamente que las bacterias y los hongos. Son organismos heterótrofos y por tanto su presencia está determinada por la disponibilidad de sustratos orgánicos. Existen cepas de este grupo que sintetizan metabolitos tóxicos, también pueden producir agentes antimicrobianos conocidos como antibióticos (Alexander 1980).

Los microorganismos solubilizadores de fosforo juegan un papel importante en el suministro de P a la planta Reyes (2011). Estos pueden mejorar el crecimiento de las plantas mediante el incremento de la eficiencia en la fijación biológica del nitrógeno, el incremento de la disponibilidad de otros elementos traza, tales como Fe y Zn y a través de sustancias promotoras del crecimiento (Gyaneshwar *et al.*, 2002).

Los microorganismos degradadores de celulosa incluyen hongos y bacterias, los cuales ocupan una amplia variedad de hábitats (Gaitan y Pérez 2007). Los microorganismos celulolíticos son comunes en suelos de cultivos y forestales, en abonos y tejidos vegetales en descomposición. La tasa a la cual se metaboliza la celulosa está dada por varios factores del medio ambiente, y en los suelos que varían sus características físicas y químicas poseen marcadas diferencias en su capacidad celulolítica. Los principales factores del medio ambiente que afectan la transformación son el nivel de nitrógeno disponible, la temperatura,

aireación, humedad pH, la presencia de otros carbohidratos y la proporción relativa de lignina en los restos vegetales (Alexander, 1980).

4.8 Cooperativa Gruta del Rio Jamapa

La cooperativa fue constituida en el 2007, se localiza en la localidad de Capulapa, Huatusco, Veracruz, está integrada por 13 productores con el objetivo de promover turismo alternativo de la riqueza cultural y biológica de la región cafetalera, este consta de ofertar servicios de la experiencia productiva de las familias, gastronomía local y el valor escénico de los paisajes cafetaleros.

Dentro de las actividades productivas de las familias es la producción de plantas en vivero, con la finalidad de reproducción de plantas de café, frutales, árboles de sombra y ornamentales, mismas que están destinadas a la renovación de cafetales, diversificación productiva y venta de plantas.

5 Literatura citada

Acuña, O.; Peña, W.; Serrano, E.; Pocasangre, L.; Rosales, F.; Delgado, E.; Trejos, J. y Segura, A. 2006. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos.

Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. AGT editor, S.A. México 481 p.

Coltro, L., Mourad, A., Oliveira, P., Baddini, J., Kletecke, R., (2006). *Environmental Profile of Brazilian Green Coffee*. The International Journal of Life Cycle Assessments. Vol 11 (1) 16 – 21.

Draper, K. Tomlinson. 2015. How biochar can improve sustainability for coffee cultivation and processing, the biochar. Journal Arbaz, Switzerland. ISSN 2297-1114. www.biocharjournal.org/en/ct/54. Version of 25th February 2015. Accessed: 29.03.2017.

Fascella, Giancarlo. 2015. Growing Substrates Alternative to Peat for Ornamental Plants. Md. Asaduzzaman (Ed.) Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops. Chapter 3. InTech. pp. 49-67: <http://www.intechopen.com/books/soilless-culture-use-of-substrates-for-the-production-of-quality-horticultural-crop>.

Gaitan, B, D.M y Pérez, P, L.I. 2007. Aislamiento y evaluación de microorganismos celulolíticos a partir de residuos vegetales frescos y en compost generados en un cultivo de crisantemo (*Dendrantha grandiflora*). Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana.

Gyaneshwar, P.; Naresh, G.; Parekh, J. and Poole, P. 2002. Role of soil microorganisms in improving p nutrition of plants. Plant and Soil. 245: 83-93.

International Coffee Organization Annual Report 2012/13; <http://www.ico.org/news/annual-review-2012-13-e.pdf>.

International Coffee Organization Datos históricos 1995/2017; http://www.ico.org/es/new_historical_c.asp.

Laird D.A. 2008. The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. Agronomy Journal;100 178-181.

Lehmann J., Da Silva J.P., Steiner C., Nehls T., Zech W., Glaser B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant Soil 249: 343-357.

Lehmann J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5 381-387.

Licona-Vargas, A.L. 2016. Viveros familiares y uso sustentable de los recursos naturales en Capulapa, Huatusco, Veracruz. IV Congreso Internacional y XVIII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas.

Reyes, M, S.A 2011. Evaluación y cuantificación de las comunidades microbianas asociadas con las raíces micorrizadas de *Pinus Montezumae* y *Pinus greggii*. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados 86 p.

Roa, M. G. (2003). Potencialidad del café y sus residuos rurales como cultivo energético, en Colombia. *Disciplina Ingeniería Agrícola. Cenicafe*, 2 p.

Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2011. Plan de Innovación en la Cafecultura de México. Pp 166.

Steiner C., Teixeira W.G., Lehmann J., Nehls T., Luis J., De Macedo L.V., Blum W.E.H., Zech W. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility a highly weathered central Amazonian upland soil. *Plant Soil* (2007); 291 275-290.

Vázquez Morales, Oscar. 2015. Etanol lignocelulósico, a partir de cascarilla de café, por medio de hidrólisis química-enzimática y fermentación. Tesis de Maestría. Facultad de ingeniería mecánica eléctrica. Xalapa de Enríquez, Veracruz, México.

CAPÍTULO 1 . CARACTERIZACION DEL BIOCHAR DE CASCARILLA DE CAFÉ

1 Introducción

En los últimos años surge la necesidad de producción de plantas como estrategia de renovación en las plantaciones afectadas por la enfermedad de la roya (*Hemileia vastatrix*) (SAGARPA). Se ha implementado el uso de turba y contenedores para obtener planta en menor tiempo, sin embargo en plantas de café se tienen escasas experiencias, por otra parte también las producen de manera tradicional, como se ha venido realizando durante muchos años, y esta consiste en materiales locales utilizando el suelo más compostas de la región.

De la misma forma surge la búsqueda de otras alternativas de innovación que contribuyan a mejorar la calidad de las plantas de café y optimizar los recursos disponibles para su producción.

El uso de biochar de cascarilla de café representa una alternativa tecnológica, para agregar a la mezcla que usan de manera tradicional, es liviano y presenta ventajas a futuro por su potencialidad de capturar carbono y de reducir emisiones de GEI (Draper and Tomlinson, 2015). Además de que dará valor a los residuos de cascarilla de café.

El uso de biochar en el cultivo del café es reciente y la información muy escasa, por lo cual se requiere investigación para conocer sus características y poder implementarlo en la producción de plantas. El objetivo del estudio fue caracterizar las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del biochar de cascarilla de café, para evaluarlo posteriormente en viveros de café.

2 Materiales y métodos

2.1 Obtención del biochar

El biochar se elaboró a base de cascarilla de café pergamino y capulín proveniente del estado de Hidalgo, fue preparado en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el campo experimental San Martinito, Puebla. El equipo utilizado para la pirolisis fue una mufla marca Nabertherm. Las condiciones de la pirolisis fueron: temperatura 500°C, tasa de calor 8°C/minuto y tiempo de residencia 30 minutos. Fue almacenado en bolsas de plástico y se trasladó al laboratorio para realizar los análisis físicos, químicos y microbiológicos.

2.2 Preparación de mezclas y tratamientos

La composta que se usó fue a partir de cachaza de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). El suelo (T1) se recolectó de la zona cafetalera de Huatusco, Veracruz. El peat coffe (PC) (T4) es una combinación de turba (70% v/v) y agrolita (30% v/v). Las mezclas evaluadas fueron: suelo (70% v/v) + composta (30% v/v) (T2), suelo (60% v/v) + composta (30% v/v) + biochar (10% v/v) (T3), peat coffe (90% v/v) + biochar (10% v/v) (T5), suelo (60%) + composta (20% v/v) + peat coffe (20% v/v) (T6), suelo (60% v/v) + composta (15% v/v) + peat coffe (15% v/v) + biochar (10% v/v) (T7) y suelo (90% v/v) + biochar (10% v/v) (T8).

2.3 Prueba de germinación

Esta es una de las pruebas sugeridas por la Iniciativa Internacional del Biochar (IBI) para definir los potenciales riegos a la salud de alguno de los compuestos químicos que se generan en la pirolisis de la biomasa al momento de producir el biochar. Ésta se realizó de acuerdo a la propuesta del IBI que consistió en colocar 10 semillas de rábano en una caja Petri en la que se tenían todos los tratamientos. Éstas se incubaron durante dos días a temperatura 25-26 °C. Posteriormente se evaluó el porcentaje de germinación. Las pruebas se realizarón por triplicado.

2.4 Caracterización física y química

Las evaluaciones físicas efectuadas fueron: densidad real (Téres *et al.*, 1993), densidad aparente (Ansorena, 1994), porosidad (Hillel, 1980; Landis, 1990), punto de marchitez permanente, humedad a capacidad de campo (Van Genuchten *et al.*, 1991).). La caracterización física se realizó por triplicado. La porosidad del biochar se observó con microscopio electrónico de barrido (MEB) Software Jeol Scanning Electron Modelo JSM-6390 de la Unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Postgraduados.

Las características químicas evaluadas fueron: para el biochar y mezclas el pH se determinó en una relación 1:20 en agua y la conductividad eléctrica relación 1:5, para el suelo se midió en una relación 1:2 en agua, el carbono y nitrógeno total con analizador elemental Flash 2000 Thermo, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (Na, K, Ca y Mg) mediante AcONH_4 1 N pH 7, contenido de microelementos (Fe, Cu, Zn y Mn) en DTPA. Tanto las bases de intercambio como los microelementos se determinaron con espectroscopía de absorción atómica, excepto Na y K donde se usó emisión. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.5 Análisis microbiológico

Se determinó el número de microorganismos (bacterias totales, hongos totales, actinomicetos, solubilizadores de fosfato y degradadores de celulosa) en cada tratamiento al inicio del experimento con la técnica de diluciones y conteo en placa (Robert, 1990). De cada muestra se pesó 10 g y se agregó a frascos que contenían 90 ml de agua destilada estéril (dilución 10^{-1}). Se agitó durante 18 minutos a 180 rpm. De cada frasco se tomó una alícuota de 1000 μL , se agregó a un tubo de ensayo de 9 mL de agua destilada (dilución 10^{-2}) y se agitó durante 1 minuto en el vortex. De la dilución 10^{-2} , se tomó una alícuota de 1000 μL y se agregó a un tubo de ensayo de 9 mL de agua destilada (dilución 10^{-3}) y se agitó durante 1 minuto en el vortex. Se realizó el mismo procedimiento para obtener las diluciones 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} . Se tomaron alícuotas de 100 μL de cada dilución y se sembraron en cajas de Petri con medios específicos para cada grupo microbiano. En el caso de bacterias totales se utilizó el medio agar nutritivo y las diluciones 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} ; para

hongos totales se utilizó papa dextrosa agar (PDA) con rosa de bengala y las diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} ; para actinomicetos se utilizó el medio Czapeck y las diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} ; para solubilizadores de fosfato se utilizó el medio Pikovskaya y las diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} y para los degradadores de celulosa el medio de agar con carboximetilcelulosa al 1% y las diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} , en este último se utilizó rojo congo al 0.1% y solución de NaCl 1.0 M para el revelado de las colonias celulolíticas (Teather y wood, 1982). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.6 Análisis estadístico

Para todas las variables se efectuó el análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias (Tukey, $P > 0.05$) con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0.

3 Resultados y discusiones

3.1 Prueba de germinación

La germinación se obtuvo al 100 % en los tratamientos: T3 (Suelo+ composta+ biochar), T4 (PC), T5 (PC+ biochar), T6 (composta+suelo+PC) y T8 (suelo+ biochar) (Figura 1).

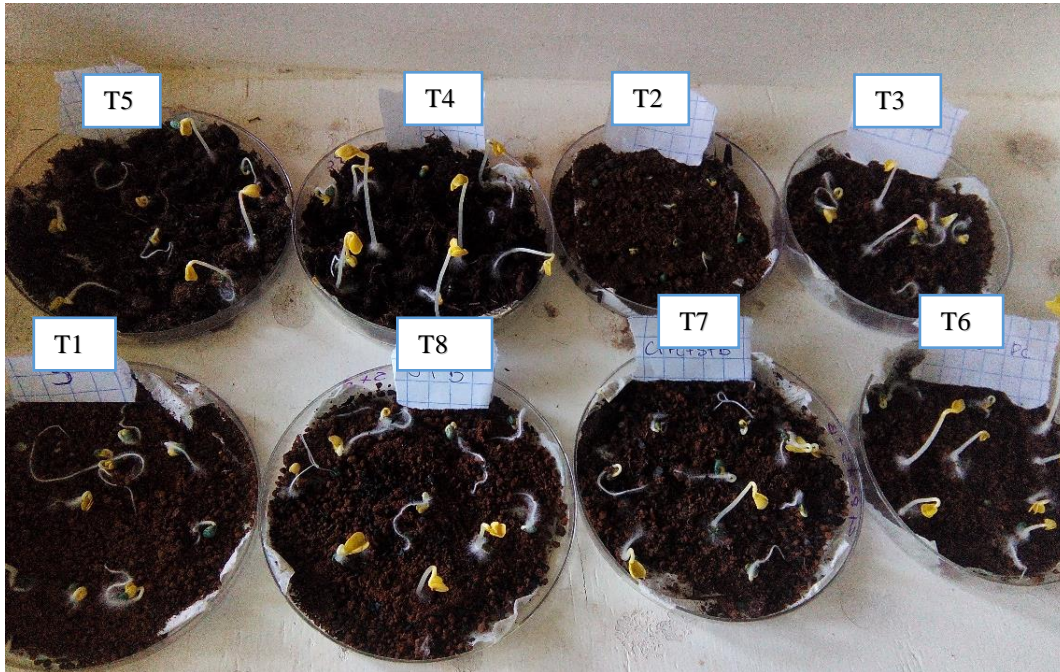


Figura 1. Prueba de germinación de semillas de rábano en mezclas de biochar, suelo, composta y peat coffee. (T1: suelo, T2: suelo + composta; T3: suelo + composta+ biochar; T4: PC; T5: PC+ biochar; T6: suelo+ composta + PC; T7: suelo + composta+ PC+ biochar, T8: suelo+biochar)

En T4 (PC) las plántulas fueron de mayor tamaño (3.5 a 5 cm). El tratamiento T2 (suelo+composta) fue el que presentó menor porcentaje de germinación (90%), y el menor tamaño de las plántulas (<1cm) comparado con los demás tratamientos. Por lo anterior se puede decir que el biochar no inhibió la germinación de semillas de rábano, excepto en un caso, en todas las mezclas que incluyeron este producto la germinación fue del 100%.

3.2 Caracterización física

En los tratamientos con mezclas de suelo, composta y PC (T1, T2 y T6) el punto de marchitez permanente (PMP) y la capacidad de campo (CC) variaron de 50 a 61% y de 45 a 50 % respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físicas de las mezclas suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.

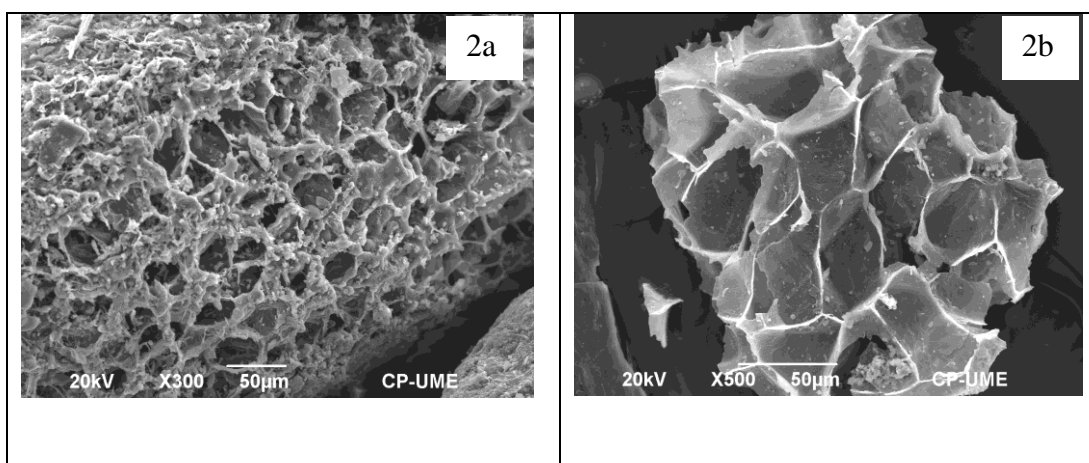
Tratamiento	PMP (%)	CC (%)	D. real (g cm ³)	DAP (g cm ³)	Porosidad (%)
T2 (S+C)	54.1 b	48 c	1.9 b	1 ab	48.3 c
T3 (S+C+B)	55.1 b	48.6 b	1.8 b	0.8 c	53.8 b
T4 (PC)	---	---	1.1 c	0.2 d	83.5 a
T5 (PC+B)	---	---	1 c	0.2 d	87.3 a
T6 (S+C+PC)	60.7 a	49.4 a	1.8 b	0.8 c	57.4 b
T7 (S+C+PC+B)	54.1 b	41.4 e	1.8 b	0.8 c	56.4 b
T1 (S)	49.6 c	45.4 d	2.1 a	1.1 a	48 c
T8 (S+B)	49.9 c	41 e	2.1 a	0.9 b	55.3 b

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peat coffe); filas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

La adición de biochar condujo a valores menores o iguales de PMP y CC que los obtenidos en tratamientos sin biochar, excepto en T2 y T3 donde la CC fue mayor en el tratamiento con biochar. La densidad real (Dr) varió de 1.0 a 2.1 g cm⁻³, en tratamientos con y sin biochar. Estos valores están en el rango (1.45 a 2.65 g cm⁻³) reportado como ideal para sustratos hortícolas (Abad *et al.*, 1993). En los tratamientos con composta T2 y T6 (sin biochar) la densidad aparente (DAP) fue cercana a 1.0 g cm⁻³. La adición de biochar (T3 y T7) condujo a menores DAP (0.8 g cm⁻³). Los valores más bajos de DAP fueron para la composta (0.5 g cm⁻³), para T4 (PC), T5 (PC + suelo) y el biochar (0.2 g cm⁻³). Valores de DAP entre 0.3 y 0.6 g cm⁻³ son considerados adecuados para sustratos hortícolas (Handreck y Black, 1991; Abad *et al.*, 1993). Sin embargo, valores de DAP muy bajos aumentan el costo del transporte y manejo del sustrato. La porosidad total (Pt) en todos los tratamientos donde se combinó suelo, composta, biochar y PC (T2, T3, T6, T7, T8) varió de 48 a 57 %. Estos valores fueron menores a 60 % considerado como límite inferior del óptimo para sustratos (Handreck y Black, 1991). La mayor porosidad total (Pt) correspondió a T4 (PC) (84 %), T5 (PC+biochar) (87 %) y el biochar (84 %), porcentajes considerados como óptimos para sustratos (Abad *et al.*, 1993; Bunt, 1988; De Boodt y Vendonck, 1972). La Pt de la composta fue 69 %. Los tratamientos con mayor porosidad presentaron también menor densidad aparente.

3.3 Microscopia electrónica de barrido (MEB).

Las observaciones en microscopio electrónico de barrido (MEB) muestran que el biochar de cascarilla de café presenta una elevada porosidad (Figura 2a, 2b, 2d). Los poros de aproximadamente 50 μm son los más abundantes, lo cual corresponde principalmente a una mesoporosidad. Después de la pirolisis todavía se pueden observar las estructuras de los tejidos vegetales (2c). También se observaron algunas partículas con superficies planas, sin poros (Figura 2d). Adicionalmente estructuras en forma de roseta se observaron en algunas de las tomas realizadas (2e). Estas últimas presentaron tamaños menores de alrededor 5 μm o menos (2f). La identificación de las mismas requiere más tiempo por lo que solamente se reportan en este trabajo. La mesoporosidad de los biocarbones es frecuente y es parte de las ventajas que estos materiales tienen ya que es lo que permite aumentar el espacio poroso de las mezclas con suelo y composta, lo que se traducirá en una mayor percolación de agua, espacio poroso y mayor penetración de las raíces. Estas características físicas del biochar requieren de mayor estudio. Por otra parte, estas estructuras porosas indican que la pirolisis usada para producir el biochar fue exitosa al generar un material altamente poroso.



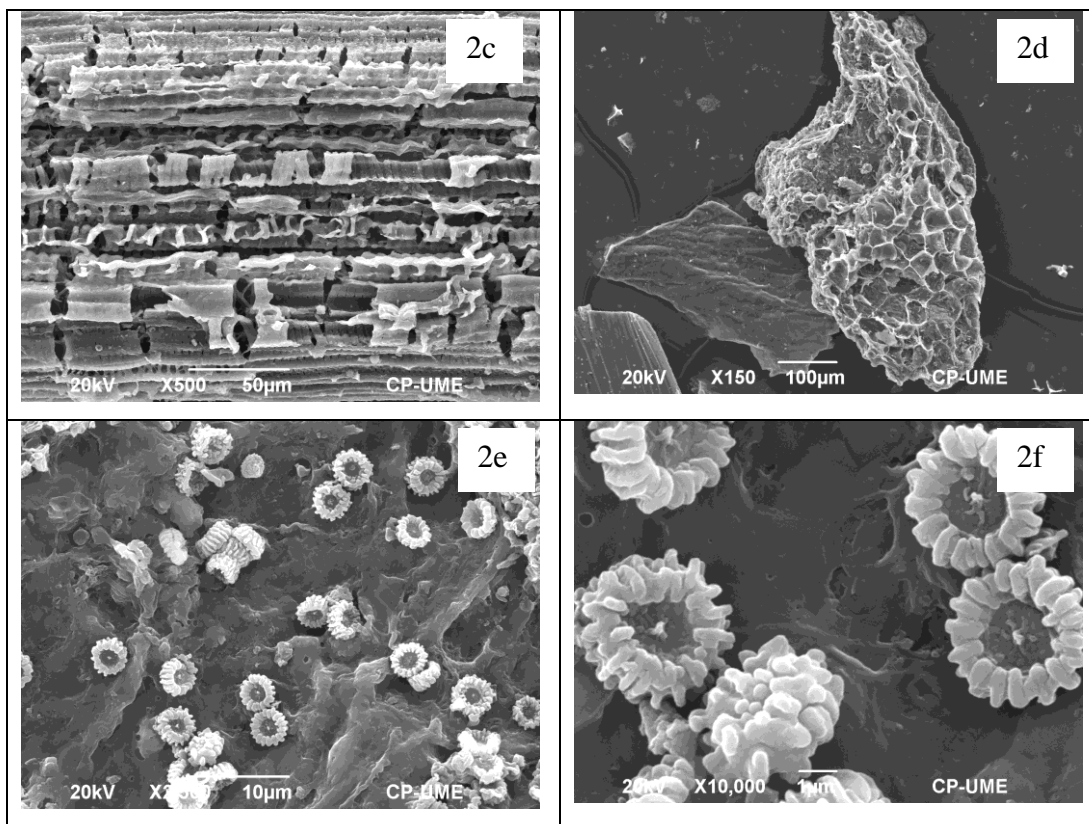


Figura 2. Observaciones en microscopio electrónico de barrido del biochar de cascarilla de café. 2a: Porosidad del biochar, 2b: Detalles de la estructura porosa, 2c: Estructura vascular, 2d: Vista general de una partícula porosa, 2e: Pequeñas estructuras en forma de rosetas, 2f: Detalle de las formas de rosetas.

3.4 Caracterización química

El pH del biochar fue alcalino (pH 9.9) como se ha reportado para la mayoría de los biochars (Chan and Xu, 2009). La combinación del biochar con composta fue de pH 7.1 y con PC (T4) de pH 6.1 generó mezclas con pH alcalino: T3 (biochar + composta) (pH 7.3), T5 (PC + biochar) (pH 7.6) y T7 (suelo+ composta+ PC) (pH 7.0). Los tratamientos T6 y T8 presentaron mayor carácter ácido (pH 6.7) similar al del suelo (T1) (pH 6.6). La conductividad eléctrica (CE) de todos los tratamientos varió entre 2.0 y 4.9 dS m^{-1} , valores que se encuentran por debajo de los rangos superiores para sustratos en horticultura reportados por Abad *et al.*, (1993) (3.5 dS m^{-1}) y la Universidad Estatal de Carolina del Norte (NCSU) (1993) (5.5 dS m^{-1}).

Los tratamientos con mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) fueron T4 (PC) (50 cmol kg^{-1}), T5 (PC+biochar) (47.6 cmol kg^{-1}), el biochar (37.5 cmol kg^{-1}) y la composta

(52.7 cmol kg⁻¹), como corresponde a materiales de naturaleza orgánica con CIC entre 50-100 cmol kg⁻¹ (Nelson, 1991) (Cuadro 1). Estos materiales pueden favorecer la retención de nutrientes y evitar su pérdida por lixiviación. La CIC para el resto de los tratamientos (T2, T3, T6 y T7) varió de 20.1 a 24.9 cmol kg⁻¹. Estos valores son bajos, lo que podría explicarse por la oclusión de sitios de intercambio al combinarse el suelo con el biochar, la composta y el PC. También porque la CIC del suelo (T1) es baja (19.5 cmol kg⁻¹) aún combinado con biochar (T8 con 16.5 cmol kg⁻¹) (cuadro 2).

El tratamiento T4 (PC) presentó los valores más elevados de bases intercambiables (Na, Mg, K y Ca) (1.16 cmol kg⁻¹, 14.93 cmol kg⁻¹, 4.37 cmol kg⁻¹ y 44.17 cmol kg⁻¹, respectivamente). La adición de biochar al PC (T5) aumentó el Mg (25.4 cmol kg⁻¹) pero disminuyó el Ca (32.1 cmol kg⁻¹), el Na y el K no variaron. En el resto de los tratamientos el Na varió de 0.2 a 0.5 cmol kg⁻¹ y el K de 1.5 a 2.93 cmol kg⁻¹. Tanto Mg como Ca intercambiables presentaron mayor variabilidad, lo que se puede explicar por la combinación de materiales con contenidos contrastantes de ambos elementos: suelo (T1) (4.27 cmol kg⁻¹ Mg y 8.1 cmol kg⁻¹ d Ca), composta (31.7 cmol kg⁻¹ Mg y 23.37 cmol kg⁻¹ Ca), PC (T4) (14.93 cmol kg⁻¹ Mg y 44.17 cmol kg⁻¹ Ca) y biochar (7.3 cmol kg⁻¹ Mg y 10.3 cmol kg⁻¹ Ca) (Cuadro 1). La cascarilla de café antes de pirolizar presentó bajos niveles de K (3.2 g kg⁻¹), Na (0.1 g kg⁻¹), Mg (0.4 g kg⁻¹) y Ca (1.3 g kg⁻¹). Los mayores niveles de N_t fueron para el PC (5.0 g kg⁻¹) y la composta (18.7 g kg⁻¹). En T6 y T7 (mezcla de suelo, composta y PC) se produjo un abatimiento de N_t por la adición de biochar, de 3.7 g kg⁻¹ (T6) a 2.2 g kg⁻¹ (T7). El biochar aumentó el N_t en el suelo (T1) de 0.5 g kg⁻¹ a 1.0 g kg⁻¹ (T8) y en el PC de 5.0 g kg⁻¹ (T4) a 6.4 g kg⁻¹ (T5). En los tratamientos con composta (T2 y T3) no hubo diferencia significativa en el N_t por adición de biochar (3.1 g kg⁻¹, en ambos casos). El N_t de la cascarilla de café (4.7 g kg⁻¹) aumentó después de pirolizada 14 mg kg⁻¹. Sin embargo, este valor fue más bajo que el reportado para residuos de café (spent coffee grounds) pirolizados (39 g kg⁻¹) (Vardon *et al.*, 2013). El PC (T4), PC+ biochar (T5) y la composta presentaron los valores más altos de C_t (300, 353 y 223 g kg⁻¹ respectivamente). Mientras que el más bajo fue para el suelo (4.3 g kg⁻¹). El biochar presentó la mayor cantidad de C_t (700 g kg⁻¹) contenido similar a los biochars de residuos de café (spent coffee grounds) 762 g kg⁻¹ y de bagazo de caña de azúcar. Sin embargo, las

estructuras químicas del carbono del biochar le confieren una alta estabilidad con un elevado potencial de captura de carbono con el tiempo (Swift, 2001) siendo ésta una ventaja adicional de sustratos con biochar respecto a otros.

Las relaciones C/N variaron de 20 (T3 y T7) a 12-14 (T2, T6 y la composta). Relaciones C/N 20-40 se consideran óptimas para sustratos (Abad *et al.*, 1993; Fisher and Glaser, 2012) e indica un material orgánico maduro y estable (Abad *et al.*, 1993). Relaciones C/N mayores correspondieron a T8 (suelo+biochar) (31), T4 (PC) (60) y T5 (PC+B) (55). La relación C/N 50 para el biochar de cascarilla de café evaluado es similar a la reportada para biochar de bagazo de caña (40) (Chan and Xu, 2009). Estos valores tan elevados corresponden a materiales completamente orgánicos.

Cuadro 2. Características químicas de las mezclas suelo, composta, turba (PC) y biochar.

Tratamiento	pH	CEC	Na _{exc}	Mg _{exc}	K _{exc}	Ca _{exc}	N _{Total}	C _{Total}	C/N
		Cmol kg ⁻¹					g/kg ⁻¹		
T2 (S+C)	6.8 cd	24.9 bc	0.20 c	10.17 bc	1.50 d	23.37 bc	3.1 d	36.0 ef	11 e
T3 (S+C+B)	7.3 ab	21.4 bc	0.20 c	9.23 bc	2.93 bc	18.50 bc	3.1 d	67.0 c	21 d
T4 (PC)	6.1 e	50.0 a	1.16 a	14.93 b	4.37 a	44.17 a	5.0 b	300 b	60 a
T5 (PC+B)	7.6 a	47.6 a	1.16 a	25.40 a	4.07 ab	32.10 ab	6.4 a	353 a	55 b
T6 (S+C+PC)	6.7 cd	26.7 b	0.32 bc	10.17 bc	1.80 cd	18.07 bc	3.7 c	51.0 d	14 e
T7 (S+C+PC+B)	7.0 bc	20.1 cd	0.18 e	5.08 cd	2.17 cd	9.80 cd	2.2 e	42.7 ed	20 d
T1 (S)	6.6 d	19.5 cd	0.49 b	4.27 cd	2.40 dc	8.10 cd	0.5 g	4.30 g	8 f
T8 (S+B)	6.7 cd	16.5 d	0.18 e	2.50 d	2.63 cd	4.57 d	1.0 f	31.0 f	31 c

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peat coffe); filas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Los micronutrientos (Fe, Zn y Mn) fueron mayores en T3 (PC) y T4 (PC+biochar) (Cuadro 2). Los elevados contenidos de Fe se explican por los altos niveles de este elemento en la cáscara de café sin pirolizar (368 mg kg⁻¹). Se observó una retención de Fe, Zn y Mn en T2, T4, T6 (suelo+composta+ PC) como resultado de la adición de biochar. Lo cual se explica por la acción conjunta de estos materiales orgánicos con el biochar. En T1 (suelo) y T8 (suelo+biochar) los niveles similares de estos elementos fueron similares. El Cu varió de 0.42 a 0.48 mg kg⁻¹ y no se presentaron diferencias significativas entre los

tratamientos. En T1 (suelo) y T8 (suelo+biochar) los contenidos de Cu fueron más bajos (0.04 mg kg⁻¹ y 0.07 mg kg⁻¹, respectivamente). La composta, por el contrario tuvo niveles altos, 189 mg kg⁻¹ Fe, 15.19 mg kg⁻¹ Cu, 36.8 mg kg⁻¹ Zn y 144 mg kg⁻¹ Mn. La composición de la cascarilla de café antes de pirolizar fue 30 mg kg⁻¹ de Zn, 6 mg kg⁻¹ Cu y 11 mg kg⁻¹ de Mn. Destaca su alto contenido de Fe 368 mg kg⁻¹. Sin embargo, el biochar presentó valores bajos para estos microelementos, 4 mg kg⁻¹ de Fe, 1.05 mg kg⁻¹ de Cu, 2.4 mg kg⁻¹ de Zn y 7.3 mg kg⁻¹ de Mn (cuadro 3).

Cuadro 3. Micronutrientes de las mezclas suelo, composta, turba (PC) y biochar.

Tratamiento	Fe	Cu	Zn	Mn
	mg kg ⁻¹			
T2 (S+C)	10 c	0.42 a	3.5 c	7.8 b
T3 (S+C+B)	6.6 cd	0.49 a	3.7 c	3.8 cd
T4 (PC)	43.4 a	0.43 a	11.3 a	9.7 a
T5 (PC+Biochar)	30 b	0.46 a	9.5 b	8.4 ab
T6 (S+C+PC)	5.9 d	0.48 a	2.9 c	4.4 c
T7 (S+C+PC+B)	3.1 de	0.18 b	1.7 d	2.3 de
T1 (S)	1.2 e	0.04 b	0.4 e	0.8 e
T8 (S+B)	1.3 e	0.07 b	0.7 e	0.9 e

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peat coffe); filas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, P≤0.05).

3.5 Poblaciones microbianas

Se presentan los resultados de la evaluación inicial de las poblaciones microbianas en las mezclas de sustratos utilizados en el experimento. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los sustratos con respecto a las poblaciones bacterias totales, hongos totales, actinomicetos y solubilizadores de fosfato, excepto para los degradadores de celulosa (cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza de poblaciones microbianas en mezclas de diferentes sustratos.

Sustrato	Valores de P
Bacterias totales	0.0001**
Hongos totales	0.0001**
Actinomicetos	0.0001**
Solubilizadores de fosfato	0.0031**
Degradadores de celulosa	0.5481ns

ns= no significativo (P>0.05) * = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01)

Cuadro 5. Comparación de poblaciones microbianas de las mezclas suelo, composta, turba (PC) y biochar utilizadas.

Tratamiento	Bacterias totales (UFCX10 ⁵ g ⁻¹)	Hongos totales (UFCX10 ² g ⁻¹)	Actinomicetos (UFCX10 ³ g ⁻¹)	Solubilizadores de fosfato (UFCX10 ³ g ⁻¹)	Degradadores de celulosa (UFCX10 ⁴ g ⁻¹)
T2 (S+C)	624 ab	59 b	86 b	441 ab	75 a
T3 (S+C+B)	833 a	324 b	4706 a	132 ab	132 a
T4 (PC)	86 c	2444 a	1543 b	296 ab	198 a
T5 (PC+B)	156 c	2083 a	146 b	448 ab	63 a
T6 (S+C+PC)	78 c	256 b	39 b	44 b	139 a
T7 (S+C+PC+B)	235 bc	645 b	131 b	115 b	158 a
T1 (S)	85 c	55 b	129 b	567 a	90 a
T8 (S+B)	119 c	60 b	35 b	25 b	109 a

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peat coffe); UFC: unidades formadoras de colonias; filas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, P≤0.05).

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los sustratos con respecto a las poblaciones bacterias totales, hongos totales, actinomicetos y solubilizadores de fosfato, excepto para los degradadores de celulosa (cuadro 4).

El valor más alto se encontró en T3 (S+C+B) con 833 X 10⁵ UFC, después T2 (S+C) con 624 X 10⁵ UFC y el resto de los tratamientos (T1, T4, T5, T6, T7 y T8) presentaron poblaciones de bacterias totales similares con valores que van de 78 a 235 X 10⁵ UFC.

En los tratamientos compuestos por suelo y composta (T2, T3) se encontraron los valores más altos de bacterias (Figura 1). Los microorganismos son un factor importante en el proceso de compostaje ya que de ellos depende la descomposición de la materia orgánica. Es por esto que en las compostas existe una elevada presencia de microorganismos, un

mayor contenido de materia orgánica resulta en un incremento de las poblaciones de bacterias. En estudios similares García *et al.* (2011) encontraron un aumento de la población de bacterias en la cachaza de caña durante el compostaje. Los subproductos de la caña son sustratos que al descomponerse dan un alto contenido microbiano y estabilización de sustancias húmicas (Atiyeh *et al.*, 2002).

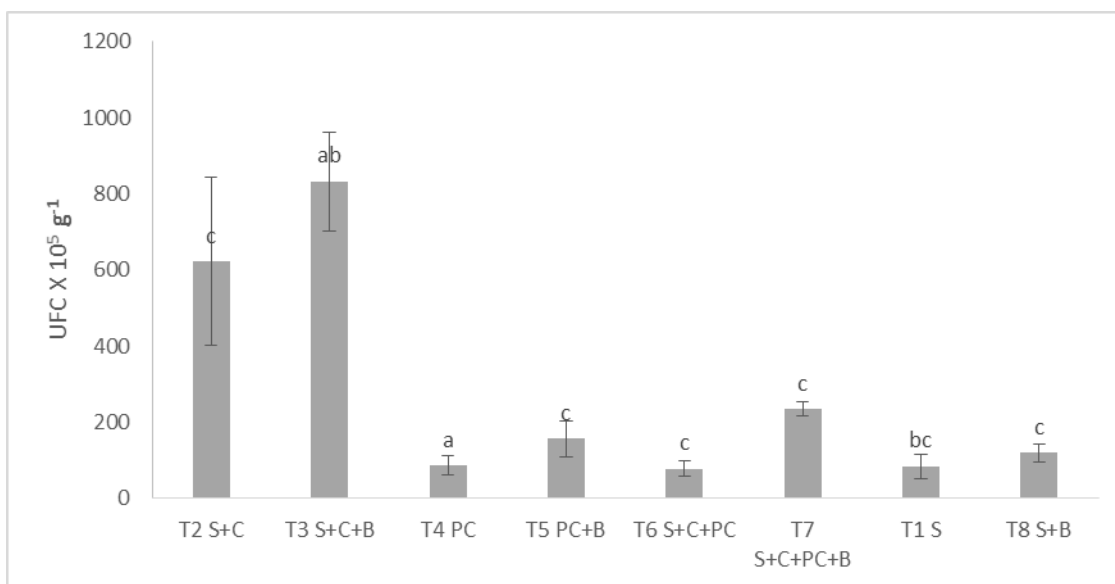


Figura 3. Bacterias totales. S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); barras con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Además, el suelo usado en la mezcla con composta de cachaza proviene de sistemas agroforestales del cultivo de café donde existen árboles de la familia de las leguminosas principalmente el género *Inga sp*, que mantienen una abundante población de microorganismos, entre ellos bacterias (Bagyaraj *et al* 2015). Las bacterias en el suelo juegan un papel importante en los servicios del ecosistema, como el ciclo de nutrientes y la fijación de nitrógeno (Rao, 2007). Todos los demás tratamientos tuvieron valores ligeramente superiores al tratamiento 1 (suelo), aunque fueron estadísticamente iguales entre ellos.

Con respecto a hongos totales se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.01$) (cuadro 3). Las mayores poblaciones de hongos totales se encontraron en los tratamientos 4 (peat coffe) y 5 (peat coffe + biocochar) con 2444 y 2083

X 10² UFC y el resto de los tratamientos (1, 2, 3, 6, 7 y 8) se comportaron de manera similar con valores que van de 55 a 645 X 10² UFC (Figura 4).

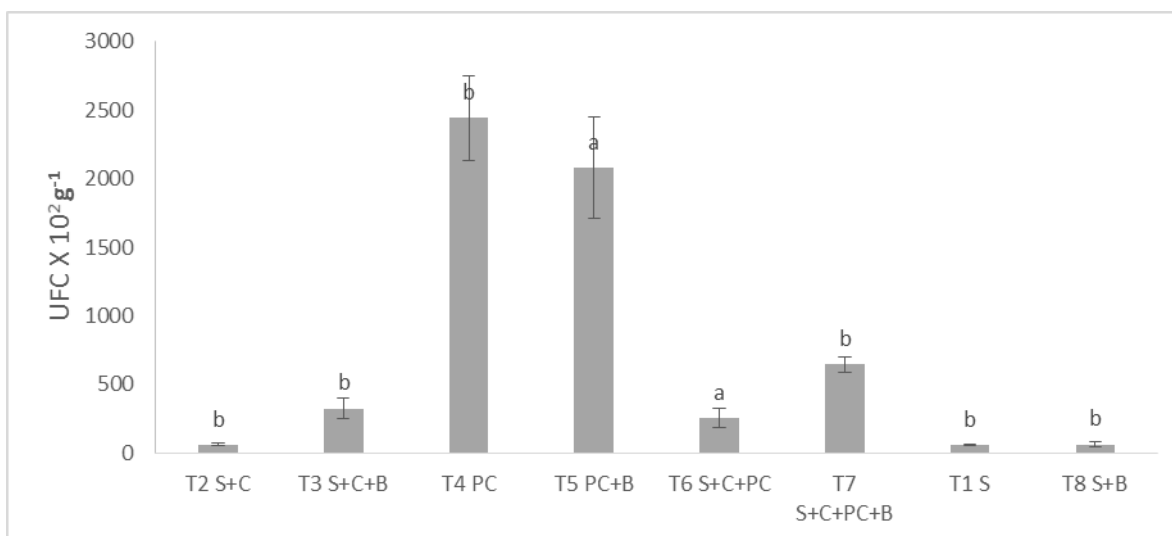


Figura 4. Hongos totales en mezclas de diferentes sustratos. S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); barras con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, P≤0.05).

Los hongos predominan en el lecho de descomposición, particularmente en los estratos orgánicos de los suelos boscosos o selváticos y son los principales agentes de descomposición y mineralización de los residuos orgánicos (Alexander 1980; Acuña *et al.*, 2006). En este caso, la composición del peat coffe es a base de turba con alto contenido de material vegetal parcialmente descompuesto, que originó una alta presencia de hongos. Kostka *et al.* (2016) y McLoughlin *et al.* (2015) en un estudio encontraron que en los ecosistemas de turba existe el desarrollo de diferentes hongos como saprofitos, parásitos, patógenos y posiblemente mutualistas. Por lo que estos materiales mantienen una alta población de microorganismos cuando se descomponen. En un estudio reciente sobre la composición microbiana en peat moss se observó que uno de los phyla más abundantes es el *Basidiomycota* (pertenece al grupo de los hongos) y los que se encuentran en menor cantidad pertenecen a los phyla bacterianos: *Bacteroidetes* y *Actinobacteria* (Elliot *et al.*, 2015); lo cual indica que los hongos, en este caso los pertenecientes a *Basidiomycota*, son los más abundantes.

La población de actinomicetos más alta se encontró en el tratamiento 3 (Suelo+composta+biochar) con 4706 X10² UFC mientras que los tratamientos restantes tuvieron las poblaciones más bajas con valores que van de 35 a 1543 X10² UFC (Figura 5).

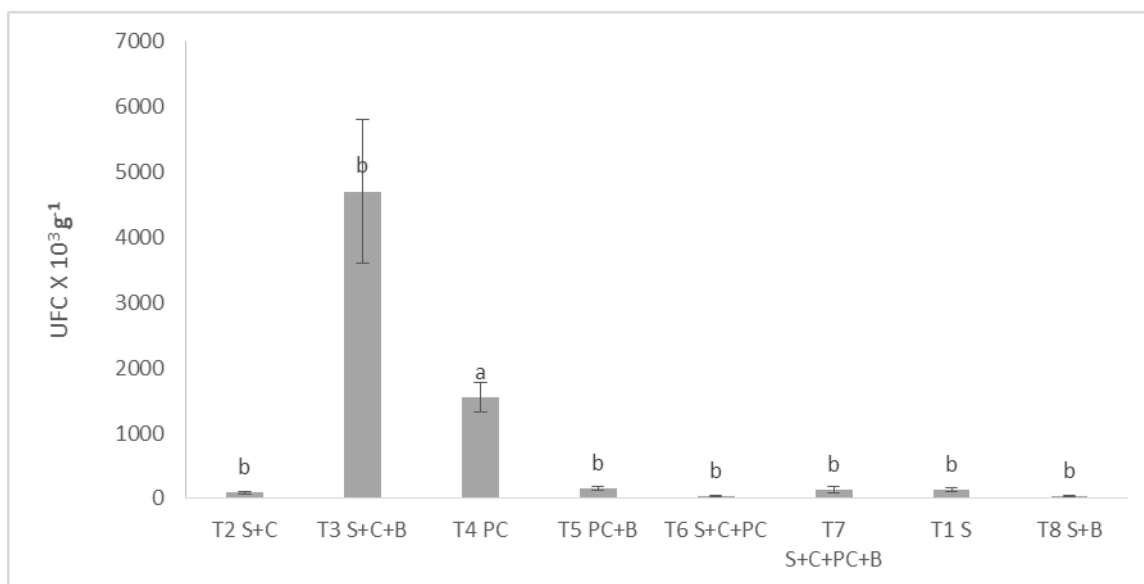


Figura 5. Actinomicetos en mezclas de diferentes sustratos. S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); barras con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, P≤0.05).

En un estudio similar Garbanzo (2013) también encontró una mayor cantidad de UFC de actinomicetos en materiales de composta y peat moss. La concentración de actinomicetos predice la madurez de un sustrato orgánico, por lo que se entiende que, a menor concentración de actinomicetos, los materiales se encuentran en etapas avanzadas de descomposición; mientras que a mayor cantidad de actinomicetos se encuentran en descomposición activa. Se ha encontrado en peat moss diversos grupos microbianos y entre ellos siempre han estado presentes los actinomicetos (actinobacteria), posiblemente se debe a su participación en la descomposición de la materia orgánica (Airaksinen *et al.*, 2005 y Sundh *et al.*, 1997). La descomposición de la materia orgánica en turbas de *Sphagnum* generalmente es lenta y de los grupos bacterianos presentes los más abundantes son de los phyla *Alphaproteobacteria*, *Actinobacteria* y *Planctomycetes* (Kulichevskaya *et al.*, 2007). Por lo que estos grupos son los que se encuentran en peat moss.

En el caso de solubilizadores de fosfato de acuerdo con la prueba de medias (Cuadro 2) el valor más alto se encontró en T1 (suelo) con un valor de 567×10^3 UFC, seguido de T5 (PC+B), 2 (S+C) y 4 (PC) con 448, 441 y 297×10^3 UFC respectivamente mientras que los tratamientos restantes tuvieron los valores menores a 132×10^3 UFC (Figura 6).

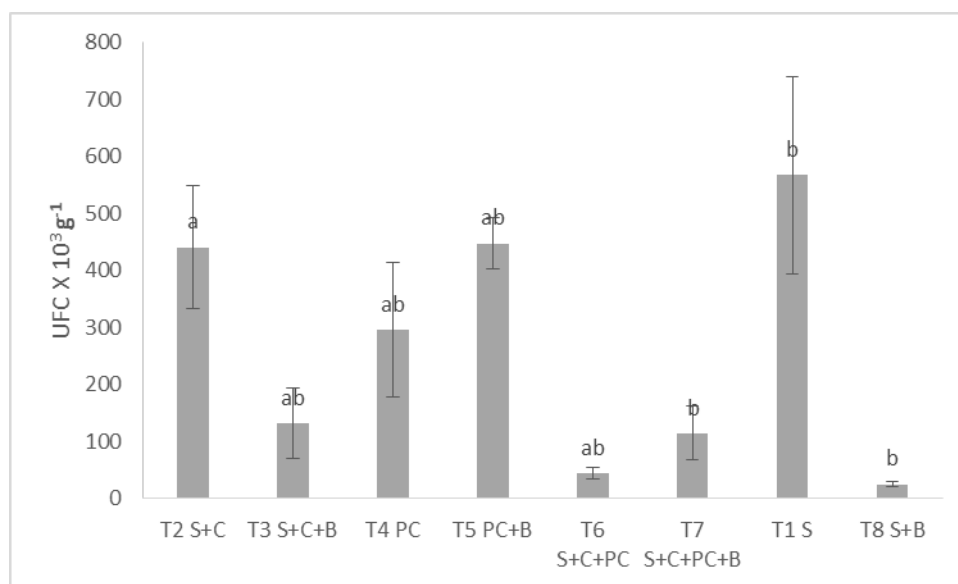


Figura 6. Solubilizadores de fosfato en mezclas de diferentes sustratos. S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peat coffe); barras con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Los solubilizadores de fosfatos, mediante acción enzimática específica liberan los fosfatos capturados en la fracción mineral y los hacen disponibles para las plantas. Hernando *et al* (2012) en un estudio en sistemas cafetaleros encontró presencia de solubilizadores de fosfatos. Los cultivos de café albergan gran número de microorganismos benéficos, incluyendo bacterias solubilizadoras de fosfato en la rizosfera que pueden contribuir a la nutrición de la planta (Mulaw *et al.*, 2010). Los sistemas agroforestales de café contribuyen a la mejora del ciclo de nutrientes, aumento de los poblaciones microbianas y contenido de materia orgánica del suelo (Souza *et al.*, 2012).

En relación al grupo de degradadores de celulosa no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $P > 0.05$) (Figura 7). Los microorganismos celulolíticos se encuentran en suelos de cultivos, abonos y tejidos vegetales en

descomposición (Alexander, 1980), en este trabajo todos los tratamientos analizados tienen adición de material orgánico.

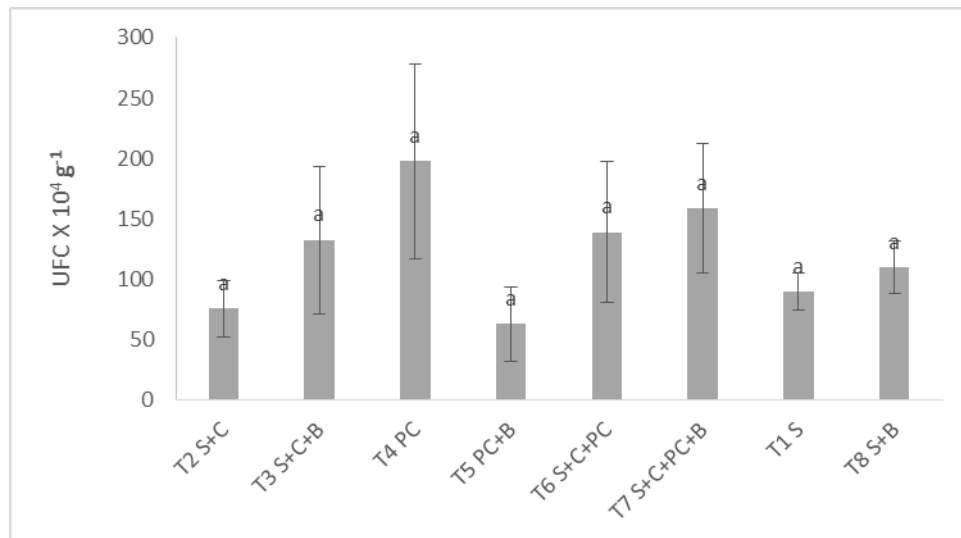


Figura 7. Degradadores de celulosa en mezclas de diferentes sustratos. S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); barras con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Gelves (2008) realizó un estudio para comparar el efecto de tres diferentes sistemas de cultivo de café (a pleno sol, bajo sombra y de montaña) sobre la densidad de grupos microbianos celulolíticos de hojarasca. La densidad de microorganismos celulolíticos fue mayor en el cafetal de montaña, en el cual la vegetación es más diversa y abundante que en los otros sistemas. Alcantara *et al.* (2014) encontraron que la actividad y las poblaciones microbianas más altas se hallaron en un bosque nativo y sistema biodinámico de café con aplicación de estiércol de ganado en comparación a sistemas convencionales. Sánchez (2009) en un estudio sobre caracterización microbiológica del proceso de compostaje de residuos de caña encontró presencia de bacterias celulolíticas, las cuales fueron descendiendo a medida que avanzó el compostaje. En otro estudio similar Romero *et al.* (2015) encontró presencia de microorganismos celulolíticos en cachaza los cuales aumentaron con la adición de gallinaza.

4 Conclusiones

La pirolisis de la cascarilla de café a 500 °C, tasa de calor 8°C /minuto y tiempo de residencia 30 minutos en una mufla Nabertherm generó un biochar que presentó una muy baja densidad aparente y una alta porosidad. Estas características, que son deseadas en un sustrato, disminuyen el peso de materiales como composta y suelo usados en las mezclas evaluadas. Un menor peso de las mezclas facilita el traslado y manipulación de plantas de café del vivero al campo.

El pH alcalino del biochar le confiere la opción de ser usado como material de encalado. La capacidad de intercambio catiónico del biochar no fue tan elevada como se reporta en otros trabajos, sin embargo fue igualmente alta que la de las mezclas evaluadas.

El biochar presentó contenidos altos de carbono total, pero niveles bajos de microelementos como Cu, Fe, Zn y Mn.

La adición de biochar a suelo, peat coffe y composta favoreció el desarrollo de microorganismos como bacterias.

En general las mezclas de biochar, suelo, peat coffe y composta presentaron características físicas y químicas similares a las del peat coffe (PC) solo elaborado con turba y agrolita, sustratos ampliamente usados en horticultura, pero el costo de las mezclas es considerablemente más bajo. Estas mezclas no presentaron ningún problema en cuanto a la germinación de semillas de rábano, lo cual indica que potencialmente no presenta compuestos que sean dañinos a la salud.

5 Literatura citada

Abad, M., P.F. Martínez, M.D. Martínez y J. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11: 141-154.

Acuña, O.; Peña, W.; Serrano, E.; Pocasangre, L.; Rosales, F.; Delgado, E.; Trejos, J. y Segura, A. 2006. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos.

Alcántara, N. K., Valente M.E., Pereira, D. G., Oliveira, S. A. and Maia M. P. 2014. Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with coffee at high altitude. *Scientia Agricola*. P. 87-95.

Alexander, M. 1980. *Introducción a la microbiología del suelo*. AGT editor, S.A. México 481 p.

Ansorena M., J. 1994. *Sustratos. Propiedades y caracterización*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 171 p.

Atiyeh, R.M., Arancon, N.Q., Edwards, C.A., and Metzger, J.D. 2002. The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Bioresource Technology* 81: 103–108.

Bagyaraj, D.J., Thilagar, G., Ravisha, C., Kushalappa, C.G., Krishnamurthy, P.V. 2015. Below ground microbial diversity as influenced by coffee agroforestry systems in the Western Ghats, India. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 202:198-202.

Bunt, A.C. 1988. *Media and mixes for container-grown plants*. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd. London. 309 p.

Chan, K.Y. and Z. Xu. 2009. Biochar: nutrient properties and their enhancement. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Eastscan, London, pp. 67-84.

De Boodt, M. and O. Vandonck, 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26:37-44.

Draper, K. and T. Tomlinson. 2015. How biochar can improve sustainability for coffee cultivation and processing. *The Biochar Journal*. Arbaz, Switzerland. ISSN 2297-1114. www.biochar-journal.org/en/ct/54 Version of 25 th February 2015. Accessed: 29.03.2017.

Dumroese, R. K., J. Heiskanen, K. Englund and A. Tervahauta. 2011. Pelleted biochar: Chemical and physical properties show potential use as a substitute in container nurseries. *Biomass Bioenergy* 35: 2018–2027.

Elliott, R.D., Caporn, S. J.M., Nwaishi, F., Nilsson, R. H. and Sen, R. 2015. Degraded ombrotrophic peatland undergoing natural and managed revegetation. *Plos One* 10 (5).

Fascella, G. 2015. Growing Substrates Alternative to Peat for Ornamental Plants. Chapter 3. In: *Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops*. INTECH. Pp. 47-67. <http://dx.doi.org/10.5772/59596>.

Garbanzo, L. J.G. 2013. Evaluación de mezclas de sustratos para la producción de almacigo en Guanacaste. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica.

García, T, R.; Ríos, L, E.; Martínez, T, A.; Ramos, M, F.R.; Cruz, S, J.M. y Cuevas, D, M.C. 2011. Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. *Contaminación ambiental*, 27(1): 31-39.

Hernando, P, R.; Sánchez, P, M.; Sieverding, E.; Aguilar, D, K. y Heredia, A, G.P. 2012. Relaciones entre los hongos filamentosos y solubilizadores de fosfatos con algunas variables edáficas y el manejo de cafetales. *Biología tropical*, 60.

Hillel, D. 1980. Fundamentals of soil physics. Ed. Academic Press. New York, USA. 413 p.

Kostka, E.J., Weston, J.D., Glass, B. J., Lilleskov, A. E., Shaw, A.J. and Turetsky, R. M. 2016. The Sphagnum microbiome: new insights from an ancient plant lineage. *New Phytologist* 211:57-64.

McLoughlin, S., and Strullu, D.C. 2015. Biota and palaeoenvironment of a high middle-latitude late triassic peat forming ecosystem from Hopen, Svalbard archipelago. *Geology Society* 434, 87-112.

Mulaw, T. B.; Kubicek, C. P. and Druzhinina, I. S. 2010. The Rhizosphere of *Coffea Arabica* in Its Native Highland Forests of Ethiopia Provides a Niche for a Distinguished Diversity of *Trichoderma*. *Diversity*, 2(4):527-549.

Landis, T. D. 1990. Growing media In: Landis, T.D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E.; Barnett, J.P. (eds). *The container tree nursery manual, volumen 2. Agric. Handbook.* 674. Washington, DC: U.S. Departamento of Agriculture, Forest Service: 41-87.

Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology.* Eastscan, London. p.416

NCSU. 1993. North Carolina State University. Standards for retail potting soils. Disponible en: <http://www.ncsu.edu/unity/lockers/proyect/horsublab/retail/index>.

Nelson, P.V. 1991. Greenhouse operation and management. In: *Root media.* Chapter 5. Prentice-Hall.

Robert, F. (1990). Impact of environmental factors on populations of soil microorganisms. *The American Biology Teacher* 52, 364- 369.

Romero-Yam, L.A., Almaraz-Suárez, J.J., Velasco-Velasco, Joel; Galvis-Spinola, A., y Gavi-Reyes, F. 2015. Microbial dynamics during composting of filter cake reactivated with chicken manure. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. P 21-31.

Sánchez, G.T.M. 2009. Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros. *Agronomía Trop.* 59(3):309-316.

Souza, H.N.D.; de Goede, R.G.; Brussaard, L.; Cardoso, I.M.; Duarte, E.M.; Fernandes, R.B.A.; Pulleman, M.M. 2012. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic rainforest biome. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 146: 179-196.

Sundh, I., Nilsson, M. and Borga P. 1997. Variaton in microbial community structure in two boreal peatlands as determined by analysis of phospholipid fatty acid profiles. *Applied and Environmental Microbiology*. P 1476-1482.

Swift R.S. 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.* 166:858–71.

Terés V., Arrieta V., J. Sánchez., M. Lucas., and Ritter. 1995. Evaluación de la densidad real de sustratos de cultivo por el método de inmersión. *Inv. Agr. Prod. Veg.* 10:231-244.

Van Genuchten, M. Th.; Leij, F. J. and Yates, S. R. 1991. The RETC for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Salinity laboratory, USDA, ARS. Riverside, California, USA. 83 p.

Vardon, D.R., B.R. Moser, W. Zheng, K. Witkin, R. L. Evangelista, T.J. Strathmann, K. Rajagopalan and B.K. Sharma. 2013. Complete Utilization of Spent Coffee Grounds To Produce Biodiesel, Bio-Oil, and Biochar. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 1: 1286–1294.

Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, Chan KY, Downie A, Rust J, Joseph S, Cowie A (2010) Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327:235–246.

CAPÍTULO 2 . EVALUACIÓN DEL BIOCHAR DE CASCARILLA DE CAFÉ COMO COMPONENTE DE SUSTRATOS DE PLANTAS DE CAFÉ EN VIVERO

1 Introducción

En los últimos años en México surgió la necesidad de producir plantas de café como parte de la estrategia de renovación de las plantaciones afectadas por la roya (*Hemileia vastatrix*). Para obtener planta en tiempos cortos se implementó el uso de turba y contenedores, sin embargo los productores de café tienen escasa experiencia en estas formas de producir plantas. La mayor parte de ellos han empleado durante muchos años prácticas tradicionales, las cuales están asociadas a sus condiciones sociales y productivas. Éstas consisten en elaborar compostas con materiales locales de la región para usarlos en los viveros, prácticas que son más acordes con el medio ambiente. Esta ha sido una característica de la cafecultura en México, que ha priorizado el empleo de compostas orgánicas al uso de fertilizantes y plaguicidas propuestas en paquetes tecnológicos. Adicionalmente ha habido un interés por la producción orgánica de café debido a la demanda y precio que ha alcanzado el producto en el mercado internacional. Probablemente en la mayor parte de los estudios desarrollados en plantaciones de café con manejo orgánico se ha dado mayor importancia a entender cómo influye la materia orgánica en el desarrollo y nutrición de las plantas. Poco se sabe sobre los aspectos microbiológicos asociados al empleo de los materiales orgánicos. Para complementar la perspectiva de producción de los productores de café que usan compostas, en este trabajo se propone como primer objetivo estudiar con mayor detalle los aspectos microbiológicos asociados al uso de compostas. Adicionalmente, el segundo objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de biochar de cascarilla de café combinado con materiales orgánicos en el desarrollo de plantas en vivero. Este segundo objetivo obedeció a la propuesta de innovación en las prácticas usadas por los productores de café. Se ha propuesto el uso de biochar de cascarilla de café porque se sabe que éste presenta una alta porosidad, característica requerida para su uso como sustrato. El pH alcalino que presenta le confiere la opción de ser usado como material de encalado.

También favorece al desarrollo de microorganismos como las bacterias, lo que contribuye a un mejor desarrollo de raíces. El uso de biochar constituye por tanto una tecnología innovadora en la producción de plantas de café. La transferencia de esta tecnología requiere contar con la participación de los productores. Es por ello que el tercer objetivo del trabajo fue realizar una evaluación participativa de la tecnología propuesta. Esto se realizó con la participación de un grupo de productores de la "Cooperativa Gruta del Río Jamapa" de la localidad de Capulapa, Huatusco, Veracruz. Quienes participaron atendiendo a su experiencia como viveristas de plantas de café.

2 Materiales y métodos

2.1 Localización del experimento

El experimento de vivero se estableció en la localidad de Capulapa, Huatusco, Veracruz, en el vivero del Sr. Eulogio Veneroso Cuacua, integrante de la "Cooperativa Gruta del Río Jamapa".

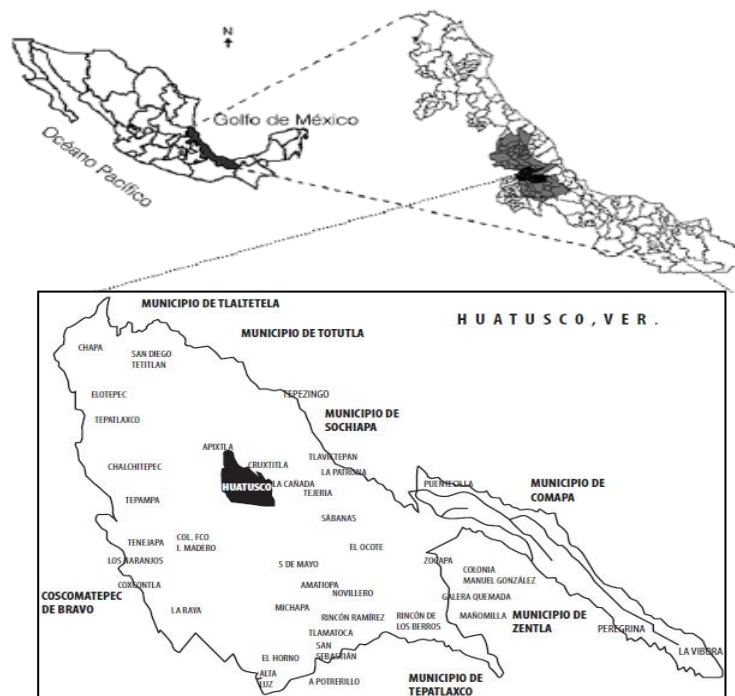


Figura 8. Localización del experimento en Capulapa, Huatusco, Veracruz.

2.2 Diseño experimental, tratamientos y manejo del experimento

Se usó un diseño completamente al azar utilizando el programa “R”, con 8 tratamientos, 10 repeticiones y una planta como unidad experimental. Los tratamientos fueron los siguientes:

T1: Suelo (Testigo)

T2: Suelo (70 % v/v) + composta (30 % v/v)

T3: Suelo (60 % v/v) + composta (30 % v/v) + biochar (10 % v/v)

T4: Peat Coffe (100 % v/v)

T5: Peat Coffe (90 % v/v) + biochar (10 % v/v)

T6: Composta (20 % v/v) + suelo (60 % v/v) + peat coffe (20 % v/v)

T7: Composta (15 % v/v) + peat coffe (15 % v/v) + suelo (60 % v/v) + biochar (10 % v/v)

T8: Suelo (90 % v/v) + biochar (10 % v/v)

Las plantas de café utilizadas fueron injertadas con la variedad Costa Rica 95 y el patrón utilizado fue de la especie Robusta. El vivero utilizado contó con malla sombra al 50%. El experimento inició en agosto de 2015 al momento que las plantas fueron trasplantadas en bolsas de polietileno negras de tamaño de 25 cm x 13 cm y concluyó en mayo de 2016. Durante el experimento a cada planta se aplicó una fertilización foliar Nutriplant Plus (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, B, Cu, Co, Mo y S) a una dosis de 2 ml/L agua, además de un fertilizante granulado de composición 21-17-3 (NPK) marca YaraMila® a una dosis de 2 g por planta. La aplicación de ambos fertilizantes se realizó de manera mensual, durante los 10 meses. El riego fue a capacidad de campo y el intervalo de aplicación dependió de las condiciones de humedad del lugar del experimento.

2.3 Poblaciones microbianas

Se determinó el número de microorganismos (bacterias totales, hongos totales, actinomicetos, solubilizadores de fosfato y degradadores de celulosa) en cada tratamiento con la técnica de diluciones y conteo en placa (Robert, 1990). Para ello se colectó suelo de

cada tratamiento un mes antes de concluir el experimento. Las muestras se etiquetaron debidamente y se trasladaron al laboratorio de microbiología del Colegio de postgraduados, para su análisis posterior.

De cada muestra se pesó 10 g en un frasco y se le agregó 90 ml de agua destilada estéril (dilución 10^{-1}). Se agitó durante 18 minutos a 180 rpm. Después de 5 minutos, de cada frasco, se tomó una alícuota de 1000 μL , que se colocó en un tubo de ensayo donde se adicionó 9 mL de agua destilada (dilución 10^{-2}) y se agitó durante 1 minuto en el vortex. De la dilución 10^{-2} se tomó una alícuota de 1000 μL en un tubo de ensayo y se agregó 9 mL de agua destilada (dilución 10^{-3}) y se agitó durante 1 minuto en el vortex. Se realizó el mismo proceso para obtener las diluciones 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} . Se tomaron alícuotas de 100 μL de cada dilución y se sembraron en cajas de Petri con medios específicos para cada grupo microbiano. En el caso de bacterias totales se utilizó agar nutritivo y las diluciones 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} . Para los hongos totales se utilizó papa dextrosa agar (PDA) con rosa de bengala y las diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} . Para actinomicetos se utilizó Czapeck y las diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} . Para solubilizadores de fosfato se utilizó el medio Pikovskaya y las diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} . Para los degradadores de celulosa se usó el medio de agar con carboximetilcelulosa al 1% y las diluciones 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} , en éste se utilizó rojo congo al 0.1 % y NaCl 1.0 M para el revelado de las colonias celulolíticas (Teather y Wood, 1982). Las cajas de petri fueron incubadas a una temperatura de 28 °C. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.4 Variables relacionadas con el crecimiento vegetativo

Las variables evaluadas fueron: altura de hojas, diámetro de tallo, número de hojas, número de cruces, área foliar, longitud de raíz, diámetro de raíz, peso seco de raíz, peso seco de tallo y peso seco de hojas. Se realizaron 4 mediciones en los últimos cuatro meses del experimento (enero, febrero, marzo y mayo 2016). La altura de la planta, se midió con regla graduada de 30 cm, desde la base superior del sustrato hasta la yema principal de la planta. El diámetro de tallo, se midió a la mitad del tallo con vernier analógico standard y milimétrico marca Truper con precisión de 0.01 mm. El número de cruces se evaluó en la

última medición (mayo 2016). El área foliar se midió con un scanner utilizando el programa WinFolia. La longitud de raíz y diámetro de raíz se realizó con scanner empleando el programa WinRhizo. Se cuantificó la biomasa radical, biomasa de hojas, biomasa de tallo, y la biomasa total acumulada, la cual se refiere a la suma de las anteriores.

2.5 Análisis de material vegetal

Se colectaron hojas y tallo al final del experimento (mayo 2016). Cada parte fue lavada, primero con agua, enseguida con una solución de HCl al 2 % y finalmente con agua tipo I. El material limpio se colocó en una charola plástica y luego sobre una mesa para eliminar el exceso de agua. El lavado se realizó en el menor tiempo posible (< 1 min) para evitar solubilización de nutrimentos como producto de la acidez de la solución de lavado. El material vegetal se colocó en bolsas de papel etiquetadas y perforadas. Éstas se colocaron en una estufa con circulación forzada de aire a 70 °C para su secado, hasta obtener peso constante. El material seco se pesó en una balanza analítica (0.01 g) y se determinó el peso de hojas, tallo y raíz por separado.

Las muestras secas se molieron por separado (tallo, hojas) en un molino modelo 8000-115 a malla #30. Se determinó en hoja y tallo los macro (P, K, Ca, Mg, Na) y micronutrimentos (Fe, Cu, Zn y Mn). Para ello se pesó 0.5 g del material vegetal y se procedió a la digestión en medio ácido ($\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$) (3:1) en plancha de calentamiento a 210°C. Los elementos ya solubilizados por la acción de los ácidos y el calentamiento se traspasaron a tubos y se aforó a 25 mL con agua tipo I. La determinación de K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn se realizaron con espectroscopía de absorción atómica. El fósforo se determinó por método colorimétrico, para lo cual se usó un espectrofotómetro Hach Dr 5000. El N total se determinó mediante el método semi-microKjeldahl. Para ello se pesó 0.1 g de material vegetal, se agregó 4 ml de H_2SO_4 y se dejó en reposo por una noche. Posteriormente se agregó 1 g de mezcla catalizadora y 0.5 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ antes de proceder a la digestión en plancha de calentamiento hasta alcanzar la temperatura de 360°C. Posteriormente se procedió a la destilación y titulación.

2.6 Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias (Tukey, $P > 0.05$) con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0.

2.7 Evaluación participativa cualitativa

Al final del experimento se realizó una evaluación participativa del uso del biochar en la que participaron integrantes del grupo de la "Cooperativa Gruta del Río Jamapa" de la localidad de Capulapa, Huatusco, Veracruz, lugar donde se estableció el experimento. Las variables evaluadas fueron; vigor de la planta (color de las hojas, tamaño de la planta y número de cruces de ramas), peso de la bolsa y desarrollo de la raíz.

La evaluación consistió en asignar una calificación del 0 a 10 a cada planta mediante el consenso grupal. Para asignar esta calificación los criterios se basaron en la observación y experiencia como viveristas (Apéndice 1).

2.8 Análisis de costos de producción

Se realizó una evaluación económica de la producción de plantas en los tratamientos usados. Se consideraron los costos de: bolsa, composta, tierra, semilla, injerto, fertilizantes, peat coffe, biochar y mano de obra.

3 Resultados y discusiones

3.1 Poblaciones microbianas

Evaluación de los microorganismos siete meses después del trasplante

En todas las poblaciones microbianas evaluadas se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza de poblaciones microbianas en mezclas de diferentes sustratos evaluadas en la etapa final del experimento.

Grupo microbiano	Valor de P
Bacterias totales	0.0001**
Hongos totales	0.0001**
Actinomicetos	0.0001**
Solubilizadores de fosfato	0.0001**
Degradadores de celulosa	0.0001**

ns= no significativo ($P>0.05$); * = Significativo ($P>0.01$ y $P\leq 0.05$) **=altamente significativo ($P\leq 0.01$).

En general, la presencia de plantas de café favoreció un incremento de todas las poblaciones microbianas respecto al momento en el que se instaló el experimento. (Cuadro 7). De acuerdo con Bukovská *et al.* (2016) la presencia de plantas induce cambios en las comunidades microbianas debido a los exudados de la raíz, ricos en carbono, que estimulan el crecimiento de microorganismos. Esto se conoce como efecto rizosférico. Bais *et al.* (2006) también atribuyen el desarrollo abundante y diverso de microorganismos a la liberación de compuestos a base de carbono y a la presencia de células muertas del tejido radical en la rizosféra.

Bacterias totales. T4 fue el tratamiento que presentó el valor más alto de bacterias totales (14815×10^5 UFC) después del trasplante (Cuadro 7). El resto de los tratamientos se comportaron de manera similar entre ellos y no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Los valores elevados en T4 (PC) se asociaron a la composición del tratamiento, a base de peat coffe (turba), que contiene alrededor de 30% de carbono. Este factor aunado al efecto rizosférico favoreció una población alta de bacterias totales. Se sabe que turbas del tipo *Sphagnum* (musgo) presentan una enorme diversidad bacteriana (Bragina *et al.* 2014; Opelt *et al.* 2007; Sun *et al.* 2014).

Hongos totales. En la mayoría de los tratamientos, a los siete meses después del trasplante, la población de hongos aumentó. Éstas mostraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Cuadro 7). T4 (PC) fue el tratamiento que presentó el valor más alto (12469×10^2 UFC) seguido por T5 (8229×10^2 UFC) (PC+B) y T6 (2333×10^2 UFC) (S+C+PC), tratamientos que incluyeron en su composición peat coffe (turba) y

composta. La turba es un material orgánico muerto que se colonizada principalmente por microorganismos saprotróficos como *Galactomyces* y *Candida*, los cuales son capaces de degradarlo (Basak *et al.*, 2013).

Cuadro 7. Comparación de poblaciones microbianas en la etapa inicial y final del experimento en las mezclas suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.

Tratamiento	Bacterias totales		Hongos totales		Actinomicetos		Solubilizadores de fosfato		Degradadores de celulosa	
	(UFCX10 ⁵ g ⁻¹)		(UFCX10 ² g ⁻¹)		(UFCX10 ³ g ⁻¹)		(UFCX10 ³ g ⁻¹)		(UFCX10 ⁴ g ⁻¹)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
T2 (S+C)	624 ab	882 b	59 b	699 cd	86 b	5914 ab	441 ab	220 c	75 a	118 bc
T3 (S+C+B)	833 a	1034 b	324 b	279 cd	4706 a	4314 bc	132 ab	3775 ab	132 a	167 bc
T4 (PC)	86 c	14815 a	2444 a	12469 a	1543 b	1185 de	296 ab	4815 a	198 a	259 ab
T5 (PC+B)	156 c	4021 b	2083 a	8229 b	146 b	3021 cd	448 ab	2396 b	63 a	365 a
T6 (S+C+PC)	78 c	3778 b	256 b	2333 c	39 b	2389 d	44 b	17 c	139 a	139 bc
T7 (S+C+PC+B)	235 bc	1169 b	645 b	984 cd	131 b	6557 a	115 b	2842 b	158 a	208 bc
T1 (S)	85 c	637 b	55 b	239 d	129 b	50 e	567 a	204 c	90 a	4 d
T8 (S+B)	119 c	2647 b	60 b	1294 cd	35 b	1990 d	25 b	3284 ab	109 a	100 cd

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); final: siete meses después del trasplante; filas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, P≤0.05).

Actinomicetos. Las poblaciones de estos microorganismos fueron más altas y mostraron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.01$) a los siete meses después del trasplante (Cuadro 7). La población de actinomicetos más alta fue la de T7 (S+C+P C+B) (6557×10^2 UFC), seguida por T2 (S+C) (5914×10^2 UFC). El tratamiento con el valor más bajo fue T1 (S) (50×10^2 UFC). En el suelo el biochar disminuye la mineralización de la materia orgánica, la abundancia de microorganismos y la actividad enzimática asociadas al ciclo del carbono (Riaz *et al.*, 2017 y Chen *et al.*, 2017). Los tratamientos con composta fueron los que presentaron mayor número de UFC de actinomicetos. Los actinomicetos desempeñan un papel importante en la descomposición de material orgánico (Zhao *et al.* 2017). Se ha encontrado que este grupo tiene la capacidad para descomponer la lignocelulosa (Adulla y El-Shatoury, 2007), además de promover el crecimiento de las plantas y controlar patógenos (Nassar *et al.*, 2003). Los tratamientos con valores más altos de actinomicetos fueron también los que mostraron una mayor altura en las plantas de café evaluadas en vivero.

Solubilizadores de fosfato. De acuerdo con la prueba de medias (Cuadro 7) los solubilizadores de fosfatos también aumentaron después de siete meses del trasplante: T4 (PC) (4815×10^3 UFC), T3 (S+C+B) (3775×10^3 UFC), T8 (S+B) (3284×10^3 UFC), T7 (2842×10^3 UFC) y T5 (2396×10^3 UFC). Los valores más bajos se presentaron en T6 (S+C+PC) (17×10^3 UFC), T2 (S+C) (220×10^3 UFC) y T1 (S) (204×10^3 UFC). Todos los tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas respecto a las poblaciones al momento de establecimiento del experimento (Tukey, $P \leq 0.01$) (Cuadro 7).

Degradadores de celulosa. El tiempo transcurrido después del trasplante, también aumentó las poblaciones de estos microorganismos en los tratamientos evaluados. Se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tukey, $P > 0.05$), excepto en T6 (S+C+PC), T1 (S) y T8 (S+B) (Cuadro 7). El valor más alto se presentó en T5 (PC+B) (365×10^4 UFC), seguido por T4 (PC) (259×10^4 UFC). T1 (S) fue el que mostró el valor más bajo (4×10^4 UFC) (Cuadro 7). Los tratamientos con turba fueron los más altos en UFC.

Efecto del biochar sobre los microorganismos

En la mayoría de los tratamientos la adición de biochar no tuvo influencia estadísticamente significativa a los siete meses después del trasplante (Cuadro 7).

Bacterias totales. Con excepción de los tratamientos a base de peat coffe (T4 y T5) donde el biochar disminuyó la población de bacterias (Cuadro 7). En el resto de los tratamientos la adición de éste no tuvo un efecto significativo en el desarrollo de éstas.

Hongos totales. En los tratamientos T2 (S+C), T4 (PC) y T6 (S+C+PC), con composta y peat coffe, la adición de biochar (T3, T5 y T7) disminuyó la población de hongos totales. Warnock *et al.* (2010) reportaron una disminución en la abundancia de hongos micorrizicos arbusculares después de la adición de biochar, lo que se asoció a la presencia de compuestos orgánicos o minerales (sales o metales pesados) que inhiben el desarrollo de estos hongos (Lehman *et al.*, 2011). Sólo en T8 (S+B) la adición de biochar aumentó la población de hongos en el suelo (T1). En un estudio sobre la colonización de hongos micorrizicos en biochar se observó que las hifas acceden a micrositios que las raíces no pueden alcanzar, absorbiendo el P y movilizándolo hacia la raíz de la planta (Hammer *et al.*, 2014).

Actinomicetos. La adición de biochar provocó diferencias estadísticamente significativas e incrementó los actinomicetos en todos los pares de tratamientos analizados: T4 (PC)-T5 (PC+B), T6 (S+C+PC)-T7 (S+C+PC+B) y T1(S)-T8 (S+B) excepto en el par T2 (S+C)-T3 (S+C+B) donde se redujo el número de colonias (Cuadro 7). Abujabhah *et al.* (2016) reportan que el biochar provee un buen hábitat para el desarrollo de actinomicetos debido a sus propiedades físicas y químicas.

Solubilizadoras de fosfato. El biochar aumentó la población de solubilizadores de fosfato con diferencias estadísticamente significativas en T3 (S+C+B), T7 (S+C+PC+B) y T8 (S+B) (Cuadro 7), respecto a los tratamientos sin biochar T2 (S+C), T6 (S+C+PC) y T1 (S). De acuerdo con Warnock *et al.* (2007) la microporosidad del biochar favorece la

abundancia de bacterias que acceden a fuentes no disponibles de azufre y fósforo. Lo que tiene un impacto positivo en la disponibilidad de estos nutrientes por la planta. En otro estudio (Fox *et al.*, 2014) se encontró que al agregar biochar aumentó el número de UFC de estos microorganismos y se mejoró la movilización de azufre y fósforo mediada por bacterias. En el presente trabajo posiblemente algo similar sucedió, lo que se reflejó en los tratamientos 3 y 7 donde se observó un mejor crecimiento de las plantas, no así para el tratamiento 8.

Degradadores de celulosa. La adición de biochar aumento el número de degradadores de celulosa en todos los tratamientos. Sin embargo, sólo en los pares T4 (PC)-T5 (PC+B) y T1(S)-T8(S+B) las diferencias fueron estadísticamente significativas.

En este trabajo se observó que la mezcla de biochar y composta ejerció un efecto sinérgico en cuanto al desarrollo de microorganismos al aplicarse como una enmienda en el suelo. Sin embargo, este efecto no fue claro para todos los microorganismos evaluados. Se sabe que durante el compostaje los sitios macroporosos del biochar actúan como nichos donde se establecen microorganismos, de tal forma que puede incrementar la actividad de comunidades microbianas (Sun *et al.*, 2016). Por otra parte, Sánchez-García *et al.* (2015) reportan que la adición de biochar al compostaje de gallinaza acelera la degradación de materia orgánica, la nitrificación y la actividad microbiana, lo que conduce a una reducción en el tiempo de compostaje (Riaz *et al.*, 2017 y Chen *et al.*, 2017). También Lehmann *et al.* (2011) también reportan el potencial que tiene el biochar en el aumento de la biomasa microbiana.

3.2 Variables relacionadas con el crecimiento vegetativo

La planta presentó la mayor altura y diámetro de tallo en los tratamientos con composta T2 (S + C) (29.5cm y 5.3 cm respectivamente). Ambas variables disminuyeron en T3 (S+C+B) al adicionar biochar. En el caso de la turba T4 (peat coffe) (PC) la adición de biochar T5 (PC+B) condujo a mayor altura de planta y diámetro de tallo, en ambos casos con

diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 8). Sin embargo no hubo diferencias significativas en ambas variables en los tratamientos con turba (peat coffe) y composta ya sea sin biochar T6 (S+C+PC) o adicionado éste T7 (S+C+PC+B). En el suelo (T1) la adición de biochar T8 (S+BC) sólo aumentó la altura de la planta (Cuadro 8).

El número de hojas fue similar en todos los tratamientos, con y sin biochar, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 8), por lo que podría considerarse que esta variable no fue un buen indicador de desarrollo de las plantas en vivero. El número de cruces fue mayor en los tratamientos con composta con y sin biochar: T2 (S+C), T3 (S+C+B), T6 (S+C+PC) y T7 (S+C+PC+B) (Cuadro 8). Sólo en el caso de la turba (peat coffe) T4 (PC) la adición de biochar (T5) (PC+B) aumentó el número de cruces de manera significativa (Cuadro 8). Contrariamente, en el tratamiento T2 (S+C) la adición de biochar T3 (S+C+B) significó una reducción en el número de cruces, también con carácter de estadísticamente significativo (Cuadro 8).

En este experimento se constata un comportamiento no muy claro de la composta combinada con otros materiales, turba (PC), suelo (S) y biochar (B), en las variables relacionadas con el crecimiento vegetativo del café. Blandón (2008) en un estudio en el que mezcló carbón de cascarilla de arroz con humus de lombriz, no encontró efectos positivos en el diámetro de tallo y número de hojas en plantas de café. Sin embargo, Aguilar *et al.* (2016) si observaron un incremento en la altura de plantas al adicionar composta y carbón.

Cuadro 8. Variables relacionadas con el crecimiento vegetativo del café en los tratamientos con suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)	# hojas	# cruces
T2 (S+C)	29.5 a	5.3 a	19 a	1.5 a
T3 (S+C+B)	27.8 ab	5 ab	20 a	1.3 ab
T4 (PC)	23.8 bc	4.1 c	14 a	0.3 bc
T5 (PC+B)	28.1 ab	4.9 ab	18 a	0.8 ab
T6 (S+C+PC)	26.7 ab	4.7 ab	18 a	0.7 ab
T7 (S+C+PC+B)	29.3 ab	4.8 ab	18 a	1 ab
T1 (S)	21.6 c	4.3 bc	14 a	0.1 c
T8 (S+B)	23.5 bc	4.3 bc	15 a	0.2 c

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); filas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

El área foliar fue mayor en los tratamientos con biochar (T3, T5 y T7) y en T2 que no lo contiene (Cuadro 9). Probablemente ésta es la variable que presentó con mayor claridad el efecto positivo de la adición de biochar sobre el desarrollo de las plantas de café y con carácter estadísticamente significativo. De igual forma se observó una sinergia positiva de la combinación del biochar con turba (PC) y composta (C). Aun cuando en T2 (S+C) la adición de biochar disminuyó el área foliar (Cuadro 9).

Cuadro 9. Área foliar de las plantas en las mezclas suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.

Tratamiento	Área foliar (cm ²)
T2 (S+C)	56.9 a
T3 (S+C+B)	52.3 a
T4 (PC)	37.4 ab
T5 (PC+B)	55.6 a
T6 (S+C+PC)	46.7 ab
T7 (S+C+PC+B)	51.3 a
T1 (S)	27.9 b
T8 (S+B)	35.3 ab

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); filas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos indican que sólo en el caso de la turba (peat coffe) T4 (PC) y el suelo (T1) la adición de biochar (T5 y T8) aumentó la biomasa de hojas, tallo y raíz con diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 10). Esto se asoció a valores de la relación $C/N \approx 20$ que presentaron estos tratamientos. Estos tratamientos (T4 y T1) $C/N \approx 20$ que también una relación contenidos de elementos químicos altos y un buen desarrollo de las plantas de café, lo que permite considerarlos como opciones altamente recomendables para ser usadas como sustratos en horticultura. Efectos positivos para el desarrollo de cultivos con el uso de biochar han sido reportados ampliamente en otros cultivos (Novak *et al.*, 2009; Uzoma *et al.*, 2011), pero no en café, lo que resulta un aporte interesante de este trabajo.

Los tratamientos que presentaron mayor biomasa de hojas y tallo fueron los que contienen composta y turba, con o sin adición de biochar (T2, T3, T5, T6, T7). Sin embargo el uso de composta presenta algunas desventajas, ya que requiere un control de calidad constante. Otros inconvenientes del uso de compostas es que la degradación secundaria del compost puede crear deficiencias de N en la zona radical y oxígeno. Adicionalmente, la alta disponibilidad de nutrientes para las plantas y la mineralización del carbono en las compostas se han comparado con el efecto priming, lo que puede aumentar las emisiones de CO₂ (Sohi *et al.*, 2009) y la concentración de gases efecto invernadero. En el caso de la biomasa de raíz los tratamientos con biochar (T3, T5, T7 y T8) mostraron mayor o igual biomasa que los correspondientes (T2, T4, T6 y T1) sin bochar.

Cuadro 10. Biomasa de hojas, tallo y raíz de las plantas en las mezclas suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.

Tratamiento	Hojas (g)	Tallo (g)	Raíz (g)
T2 (S+C)	3.7 a	1.9 a	1.5 a
T3 (S+C+B)	3.3 ab	1.7 a	1.5 a
T4 (PC)	2 bc	0.81 b	0.7 b
T5 (PC+B)	3.6 a	1.3 ab	1.5 a
T6 (S+C+PC)	2.7 ab	1.3 ab	1.0 ab
T7 (S+C+PC+B)	2.9 ab	1.3 ab	1.3 ab
T1 (S)	1.8 c	0.83 b	0.71 b
T8 (S+B)	2.1 bc	0.94 b	1.1 ab

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); filas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Con respecto a la longitud de la raíz, T2 (S+C) fue el tratamiento que presentó la mayor longitud (1391.6 cm) (Cuadro 11). La adición de biochar a este tratamiento T3 (S+C+B) la disminuyó. Contrariamente en la turba T4 (PC) la adición de biochar en T5 (PC+B) aumentó la longitud de la raíz. En los tratamientos restantes, no se obtuvieron efectos estadísticamente significativos en la longitud de raíz de las plantas de café, por la adición de biochar (Cuadro 11).

Cuadro 11. Longitud y volumen de raíz de las plantas en las mezclas suelo, composta, turba (peat coffe) y biochar.

Tratamiento	Longitud de raíz(cm)	Volumen de raíz (cm3)
T2 (S+C)	1391.6 a	5.5 ab
T3 (S+C+B)	1016.9 ab	4.6 ab
T4 (PC)	607.9 b	3.1 b
T5 (PC+B)	1056.8 ab	7a
T6 (S+C+PC)	779.7 b	4.2 ab
T7 (S+C+PC+B)	921.3 b	5.1 ab
T1 (S)	682.4 b	2.7 b
T8 (S+B)	872.3 b	4.5 ab

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe); filas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Con respecto al volumen de raíz, la adición de biochar solamente presentó efectos estadísticamente significativos en los tratamientos con turba T5 (PC+B) y suelo T8 (S+B). Destaca significativamente el efecto del biochar combinado con turba (PC) en T5 (Cuadro 11). Si bien en el resto de los tratamientos no se observaron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 11), en la Figura 11 se presentan evidencias del efecto positivo del biochar en el desarrollo de la raíz. La formación de las raíces tanto la pivotante como las secundarias fueron favorecidas por la adición de biochar. Esta es una ventaja de los tratamientos con biochar porque permitirá a la planta captar mayor cantidad de agua y nutrimentos para un desarrollo óptimo una vez trasplantada a las fincas cafetaleras (Arcila, 1992). Adicionalmente brindará un mayor soporte favoreciendo también la supervivencia de los árboles.

En este caso, la adición de biochar mejoró las propiedades físicas de las mezclas, lo cual se vio reflejado en el desarrollo de la raíz de las plantas, lo que coincide con Arcila (1992) quien opina que las condiciones físicas del suelo importantes para el desarrollo y distribución de las raíces son la textura, estructura (espacio poroso) y densidad aparente, las cuales controlan propiedades como la resistencia y la relación entre la tasa de difusión de oxígeno y el contenido de agua (aireación) (Figura 11).

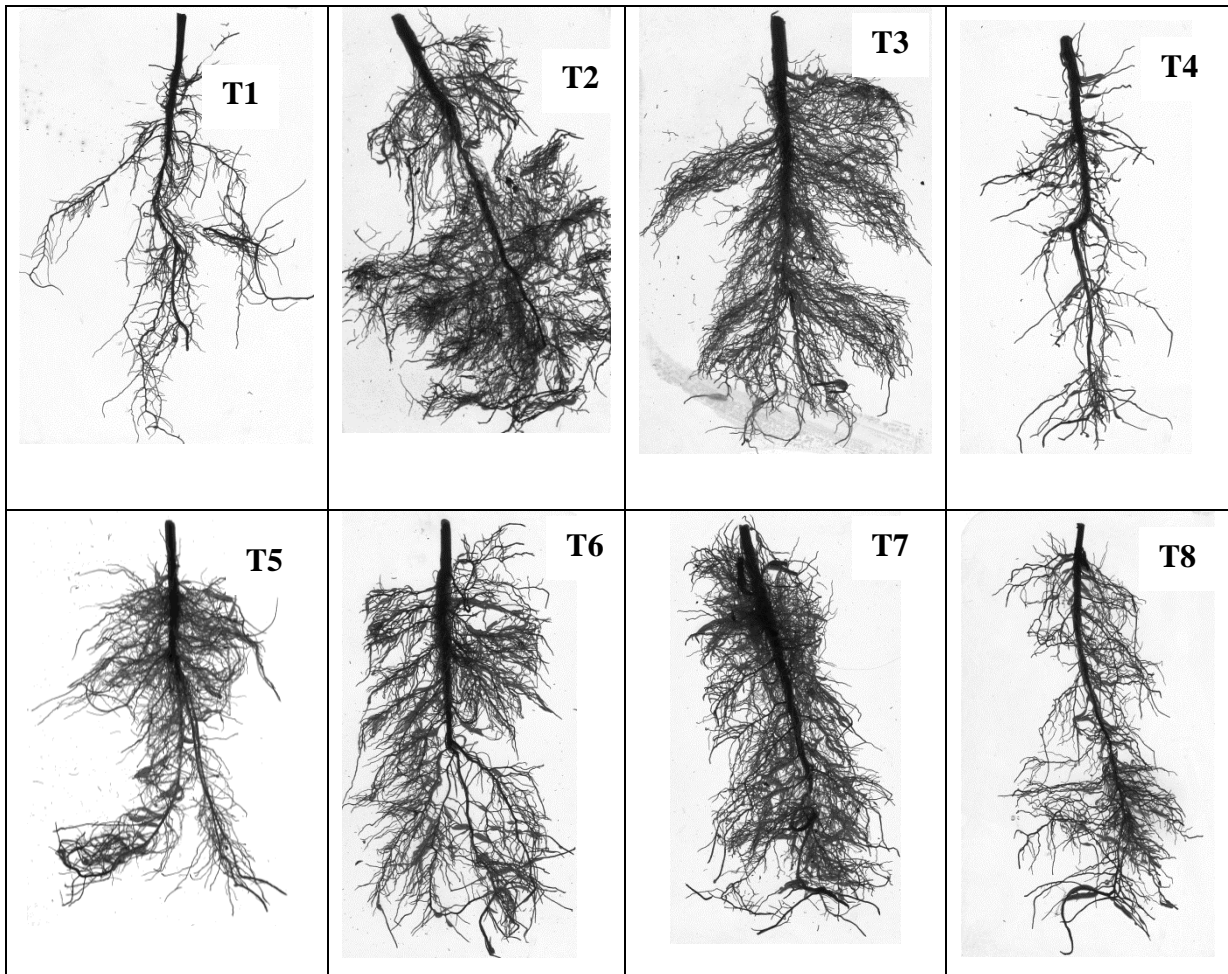


Figura 9. Raíces de plantas de café desarrolladas en mezclas de suelo (S), Composta (C), turba (PC), y biochar (B).

3.3 Análisis de material vegetal

Los resultados del análisis de varianza de macro y micronutrientes en hojas indicaron diferencias estadísticamente significativas en todos los elementos analizados (N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn) (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de varianza de macro y microelementos de hojas de café en mezclas de diferentes sustratos.

Elemento	Valores de P
N (g/100 g)	0.0009*
P (g/100 g)	0.0001**
k (g/100 g)	0.0217*
Ca (g/100 g)	0.0001**

Mg (g/100 g)	0.0001**
Na (g/100 g)	0.0001**
Fe (Ppm)	0.0001**
Cu (Ppm)	0.0072**
Zn (Ppm)	0.0001**
Mn (Ppm)	0.0001**

ns= no significativo (P>0.05) * = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01)

Los contenidos de macro y microelementos en hoja de café obtenidos en los tratamientos evaluados (Cuadro 13) fueron similares a los reportados por Argueta *et al.* (1997) en un estudio en Puerto Rico con la variedad Caturra utilizando diferentes mezclas con peat moss y como testigo suelo+cachaza.

En el caso de N, el mayor contenido de este elemento (> 3 %) en hoja se obtuvo para los tratamientos con suelo T1 (S), T8 (S+B) y para la turba T4 (PC) (Cuadro 13). El resto de los tratamientos presentaron valores de N ≤ 3 %. En el caso de P y Mg los valores más altos correspondieron a los tratamientos con turba T4 (PC) y T5 (PC+B) (0.34 % P y 0.45-0.62 % Mg). En el resto de los tratamientos los valores fueron menores, 0.1-0.2 % P y 0.3-0.4 % Mg.

Cuadro 13. Comparación de medias del análisis vegetal en hojas de café

Tratamiento	N (g/100 g)	P (g/100 g)	K (g/100 g)	Ca (g/100 g)	Mg (g/100 g)	Na (g/100 g)	Fe (Ppm)	Cu (Ppm)	Zn (Ppm)	Mn (Ppm)
T2 (S+C)	2.8 b	0.17 b	2.9 ab	2.0 a	0.39 bc	0.012 c	181 b	15 c	13b	75 d
T3 (S+C+B)	2.9 b	0.17 b	2.9 ab	2.0 a	0.33 bc	0.012 c	228 b	21 bc	12 b	98 cd
T4 (PC)	3.1 ab	0.34 a	2.7 ab	1.9 a	0.45 b	0.019 bc	239 b	17 bc	14 b	91 cd
T5 (PC+B)	2.7 b	0.34 a	2.3 b	2.0 a	0.62 a	0.023 b	211 b	19 bc	13 b	84 d
T6 (S+C+PC)	2.8 b	0.15 bc	3.2 a	1.8 a	0.33 c	0.022 b	232 b	37 a	13 b	165 ab
T7 (S+C+PC+B)	2.9 b	0.17 b	3.1 ab	2.1 a	0.37 bc	0.021 b	194 b	17 bc	14 b	199 a
T1 (S)	3.5 a	0.07 d	2.5 ab	1.3 b	0.28 c	0.032 a	400 a	26 b	14 b	111 cd
T8 (S+B)	3.21 ab	0.1 cd	3 ab	1.7 a	0.31 c	0.023 b	358 a	38 a	17 a	129 bc

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peat coffee); filas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, P≤0.05).

Las hojas de café en todos los tratamientos presentaron porcentajes de K ~ 3 %. El menor porcentaje de K en hoja en T5 (PC+B) (2.3 %) indicaría retención de este elemento por el biochar (Cuadro 13). Ello confirma la propiedad del biochar en la retención de elementos

químicos. En cuanto al Calcio, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de este elemento en hoja, en todos los tratamientos. Con excepción del suelo (T1) donde el biochar (S+B) (T8) aumentó el porcentaje de Ca en hojas (1.3 a 1.7 %). En la mayoría de los tratamientos las hojas de café presentaron contenidos de Na ~ 0.02 %. Excepto en los tratamientos con composta (T2 y T3) que reportaron porcentajes de Na menores (0.012 %). La adición de biochar aumentó el porcentaje de Na en hoja en T5 (PC+B) (0.019 a 0.023 %) pero la disminuyó en T8 (S+B) (0.032 a 0.023 %), siendo estas diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 13).

En todos los tratamientos no hubo diferencias estadísticamente significativas en el contenido de Fe y Zn en hojas (Cuadro 13). Con excepción de los tratamientos T1 (S) y T8 (S+B), donde los elevados contenidos de Fe (~ 400 ppm Fe) en hojas indican que hubo una mayor disponibilidad de este elemento si se considera que la cascarilla de café pirolizada presentó concentraciones de Fe cercanos a 400 ppm. En los tratamientos donde se usó composta (C) y turba (PC) el Fe quedó retenido por estos materiales y no quedó disponible para las plantas. En caso del Zn la adición de biochar al suelo (T8) aumentó el contenido de este elemento en la hoja de ese tratamiento. La adición de biochar también aumentó los niveles de Mn en hoja con excepción de la turba (peat coffee) T5 (PC+B) donde se observó una disminución del contenido de Mn.

Los resultados del análisis de macro y micronutrientes en tallo de café indicaron diferencias significativas en los elementos la mayoría de los elementos (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn) excepto Na donde no fue significativa (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza de macro y microelementos de tallos de café en mezclas de diferentes sustratos.

Elemento	Valores de P
N (g/100 g)	0.0049**
P (g/100 g)	0.0001**
K (g/100 g)	0.0001**
Ca (g/100 g)	0.0002**
Mg (g/100 g)	0.0001**
Na (g/100 g)	0.3307ns

Fe (Ppm)	0.0001**
Cu (Ppm)	0.0001**
Zn (Ppm)	0.0001**
Mn (Ppm)	0.0001**

ns= no significativo (P>0.05) * = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01).

El contenido de N en tallo varió entre 1.20 y 1.55 % para los distintos tratamientos. La adición de biochar aumentó el contenido de N en tallo en el tratamiento con composta T3 (S+C+B) (1.26 a 1.32 %) pero lo disminuyó en el de turba T5 (PC+B) (1.20 a 1.32 %). Los porcentajes de P en hoja fueron cercanos al 0.1 % en la mayoría de los tratamientos. Los tratamientos con suelo (T1 y T8) presentaron los menores contenidos de P (0.02 %) y los de turba (T4 y T5) los más elevados (0,35-0.37 %). El contenido de K en tallo varió de 2.4 a 1.2 %. No se observó efecto debido a la adición de biochar en los tratamientos T2 (S+C) ni en T6 (S+C+PC). Sin embargo, la adición de biochar disminuyó el K en tallo en la turba T5 (PC+B) (2.4 a 1.6 %) y en el suelo T8 (S+B) (1.9 a 1.2 %). El Ca en tallo fue cercano a 0.7 % para la mayoría de los tratamientos, con excepción de T6 (S+C+PC), T7 (S+C+PC+B) (0.59 %K) y T8 (S+C) (0.35 %). En general, la adición de biochar no mostró diferencias significativas en el contenido de K, excepto en el suelo T8 (S+B) donde disminuyó el contenido de Ca en tallo. El Mg en tallo varió entre 0.10 a 0.17 % con excepción de los tratamientos con turba (T4 y T5) donde fue mayor (0.25-0,30 %). La adición de biochar tampoco tuvo efectos significativos en el contenido de Mg en tallo. El contenido de Na varió entre 0.02 y 0.01 % y no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ni por adición de biochar.

Cuadro 15. Comparación de medias del análisis en tallos de café

Tratamiento	P		K	Ca (g/100 g)	Mg (g/100 g)	Na (g/100 g)	Fe (Ppm)	Cu (Ppm)	Zn (Ppm)	Mn (Ppm)
	N (g/100 g)	(g/100 g)	(g/100 g)							
T2 (S+C)	1.26 b	0.12 b	1.8 ab	0.75 a	0.17 b	0.017 a	214 c	43 b	22 c	26 e
T3 (S+C+B)	1.32 ab	0.12 b	2.1 ab	0.75 a	0.17 b	0.014 a	333 c	50 b	30 bc	28 ed
T4 (PC)	1.55 a	0.35 a	2.4 a	0.67 a	0.25 a	0.018 a	580 b	57 b	49 a	34 cd
T5 (PC+B)	1.2 b	0.37 a	1.6 bc	0.65 a	0.3 a	0.013 a	207 c	51 b	40 ab	33 cd
T6 (S+C+PC)	1.32 ab	0.10 b	1.5 bc	0.59 ab	0.13 b	0.011 a	277 c	55 b	24 c	43 cd
T7	1.39 ab	0.13 b	1.5 bc	0.59 ab	0.15 b	0.015 a	238 c	59 b	26 bc	68 a

(S+C+PC+B)										
T1 (S)	1.39 ab	0.02 c	1.9 ab	0.74 a	0.17 b	0.017 a	788 a	97 a	31 bc	52 ab
T8 (S+B)	1.47 ab	0.03 c	1.2 c	0.35 b	0.1 b	0.017 a	365 c	99 a	33 bc	49 bc

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peat coffe); filas con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

En el contenido de Fe solo la adición de biochar en el T3 (S+C+B) aumentó el contenido de este elemento. En todos los tratamientos no se observan diferencias estadísticamente significativas en el contenido de Cu (Cuadro 15), con excepción de los tratamientos T1 (S) y T8 (S+B), donde los elevados contenidos de Cu (~ 99 ppm Cu) en tallos indican que hubo una mayor disponibilidad de este elemento. En el contenido de Zn la adición de biochar aumentó, con excepción del T5 (PC+B). Y en el contenido de Mn solo en el T8 (S+B) no aumentó.

3.4 Evaluación participativa

En la figura 12 se muestran los resultados de la evaluación participativa (apéndice 1), donde se observa que en el parámetro de vigor de planta el T5 (PC+B) fue el que tuvo la calificación más alta con 9.8, en seguida el T7 (S+C+PC+B) con un valor 8.9, después el T2 (S+C) con una puntuación de 8.6, y el resto de los tratamientos presentaron valores menores a 8.2. Los tratamientos 5 (PC+B) y 7 (S+C+PC+B) tenían la adición del biochar.

En el parámetro de peso de la bolsa los tratamientos 4 (PC) y 5 (PC+B) fueron los mejor calificados debido a que el peso de la bolsa fue menor (300g), los tratamientos 7 (S+C+PC+B), 2 (S+C) y 3 (S+C+B) tuvieron una calificación de 9 los cuales estuvieron compuestos de las diferentes mezclas, por el contrario el T1 (S) fue el que tuvo el valor más bajo por su mayor peso (1.2 kg). Este parámetro es de importancia para los productores debido a que resulta más práctico para el transporte de las plantas hacia los cafetales. De acuerdo a esto la adición de biochar favorece esta condición.

Con respecto a la evaluación del parámetro de raíz las plantas con mejor calificación fueron las correspondientes al T5 (PC+B) con 9.8, le siguieron los tratamientos 4 (PC) y 7 (S+C+PC+B) con una puntuación de 9, mientras que los demás tratamientos tuvieron valores menores a estos.

Se observó que el T5 (PC+B) fue el mejor calificado con 9.8 de acuerdo a la valoración de los productores, seguido de los tratamientos 4 (PC) y 7 (S+C+PC+B), con 9, por el contrario el T1 (S) fue el que obtuvo la puntuación más bajo. El T2 (S+C) es el que ellos realizan de manera tradicional y como se discutió en las variables relacionadas con la planta, este tratamiento mostró los valores más altos en altura, diámetro de tallo, número de cruces, área foliar y longitud de raíz, sin embargo la calificación de los productores estuvo por debajo de los tratamientos 5, 7 y 4 debido a que ellos le dieron mucha importancia a el parámetro de peso de la bolsa, característica que facilita el transporte del vivero a la parcela.

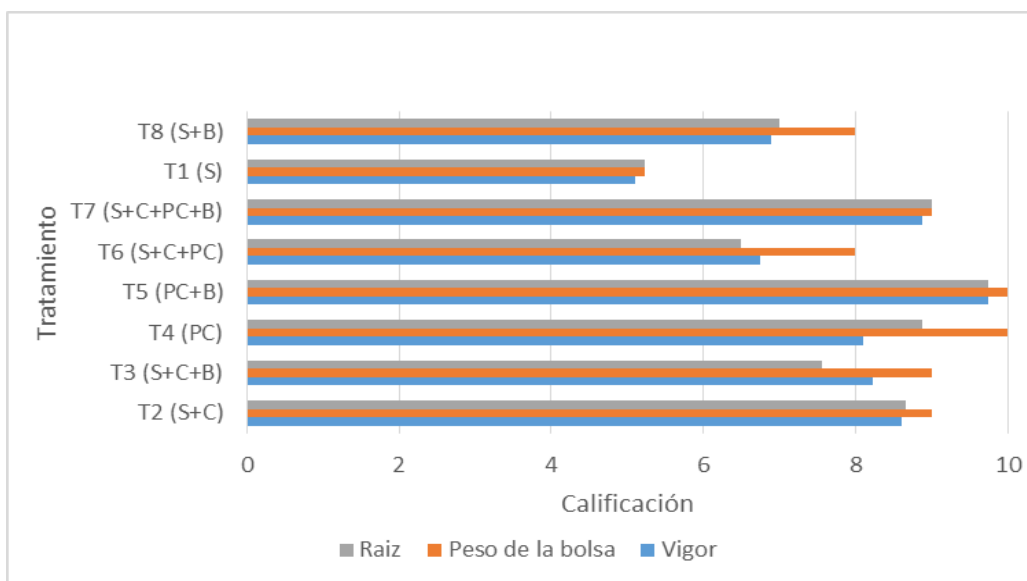


Figura 10. Evaluación participativa del grupo de productores de Capulapa, Huatusco, Veracruz; S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peat coffe).

3.5 Análisis de costos de producción

En el cuadro 16 se presentan los costos de producción por planta de cada uno de los tratamientos evaluados, los tratamientos T1 (S), T2 (S+C), T3 (S+C+B) y T8 (S+B) son los que tienen el costo más bajo alrededor de \$3.00 por planta, los tratamientos con peat coffe

el costo por planta es mayor a \$5.00. La adición de biochar en los tratamientos aumentó a \$0.20, por lo que puede ser una alternativa como sustrato en viveros.

Cuadro 16. Analisis de costo de produccion por planta de cafe en las diferentes mezclas

Tratamiento	Costo por planta
T2 (S+C)	\$3.10
T3 (S+C+B)	\$3.30
T4 (PC)	\$5.30
T5 (PC+B)	\$5.00
T6 (S+C+PC)	\$4.10
T7 (S+C+PC+B)	\$4.30
T1 (S)	\$2.70
T8 (S+B)	\$2.90

S: suelo; C: composta; B: biochar; PC: turba (peatcoffe)

4 Conclusiones

Los tratamientos con turba (peat coffee) (T4 y T5) favorecieron el desarrollo de poblaciones de bacterias, hongos totales, solubilizadoras de fosfato y degradadores de celulosa.

El tratamiento usado por los productores de manera tradicional (T2) (suelo y composta) presentó los valores más altos en la mayoría de las variables evaluadas en el desarrollo vegetativo de la planta de café.

Tratamientos que combinan composta, turba (peat coffee) y biochar también mostraron valores altos en algunas de las variables evaluadas en el desarrollo vegetativo de las plantas de café.

El uso de composta y biochar en el desarrollo de plantas de café en vivero es una alternativa al uso de turba (peat coffee), debido a que los costos son menores. Este estudio aporta información valiosa para incorporar este material a los medios hortícolas para viveros de plantas de café y otros cultivos hortícolas.

Los tratamientos con turba (peat coffe) sola o combinada con biochar y composta fueron los seleccionados en la evaluación participativa de los productores de la Sociedad "Cooperativa Gruta del Río Jamapa" de acuerdo a los parámetros de vigor, raíz y peso de bolsa. El peso de la bolsa fue la característica considerada de mayor importancia en la evaluación debido a que disminuye el peso de la bolsa, lo cual facilita el traslado y manipulación de plantas de café del vivero a la parcela.

5 Literatura citada

Abujabhah, I.S., Bound, S.A., Doyle, R., Bowman, J.P., 2016. Effects of biochar and compost amendments on soil physico-chemical properties and the total community within a temperate agricultural soil. *Appl. Soil Ecol.* 98, 243–253.

Adulla, H.M., El-Shatoury, S.A., 2007. Actinomycetes in rice straw decomposition. *Waste Manage.* 27, 850–853.

Aguilar, J.C.E., Alvarado, C.A., Martinez, A.F., Galdámez, G.J., Gutierrez, M.A. y Morales, C.J.A. 2016. Assessment of three organic fertilizers on coffee (*Coffea arabica* L.) in nursery stage. *Siembra* (3)011-020.

Arcila-Pulgarin Jaime. 1992. Factores que limitan el desarrollo de las raíces del cafeto. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE). *Avances técnicos* 176:8.

Argueta, F.M., Rodríguez, R. y Monroig, M. 1997. Evaluación de medios de cultivo de café (*Coffea arabica*) L. variedad Caturra. *Agronomía Mesoamericana* 8(2): 143-146.

Basak, B., Bhunia, S. Dutta, A. Dey. 2013. Biodegradación mejorada de 4-clorofenol por *Candida tropicalis* PHB5 través de la optimización de parámetros fisicoquímicos usando Taguchi enfoque matriz ortogonal *Int. Biodeterior. Biodegradation*, 78:17–23.

Bais, H.P., Weir, T.L., Perry, L.G., Gilroy, S. and Vivanco, J.M. 2006. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol.* 57:233-66.

Blandon Avilés Jorge Luis. 2008. Producción de almácigos de café en tubetes en tres sustratos y tres tipos de fertilización. Tesis de licenciatura. Zamorano, Honduras. Pp 26.

Bragina, L. Oberauner, Wappis, C. Zachow, B. Halwachs, GG Thallinger, H. Müller, G. Berg El *Sphagnum* microbioma apoya ecosistema pantano de funcionar en condiciones extremas *Mol. Ecol.*, 23 (2014), págs. 4498 – 4510.

Bukovská, P., Püschel, D., Hršelová, H., Jansa, J. and Gryndler, M. 2016. Can inoculation with living soil standardize microbial communities in soilless potting substrates?. *Applied Soil Ecology.* 108: 278-287.

Chen, J., Liu, X., Zheng, J., Zhang, B., Lu, H., Chi, Z., Pan, G., Li, L., Zheng, J., Zhang, X., Wang, J., Yu, X., 2013. Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China. *Appl. Soil Ecol.* 71, 33–44.

Chen, J.H., Li, S.H., Liang, C.F., Xu, Q.F., Li, Y.C., Qin, H and Fuhrmann, J.J. 2017. Response of microbial community structure and function to short-term biochar amendment in an intensively managed bamboo (*Phyllostachys praecox*) plantation soil: Effect of particle size and addition rate. *Science of the total environment.* 574:24-33.

Fox, A., Kwapinski, W., Griffiths, B.S. and Schmalenberger, A. 2014. The role of sulfur- and phosphorus-mobilizing bacteria in biochar-induced growth promotion of *Lolium perenne*. *Federation of European Microbiological Societies.* 90:78-91.

Hammer, E.C., Balogh-Brunstad, Z., Jakobsen, I., Olsson, P.A., Stipp, S.L.S., Rillig, M.C., 2014. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces. *Soil Biol. Biochem.* 77, 252–260.

Lehmann, J., Rilling, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D., 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biol. Biochem.* 43, 1812–1836.

Nassar AH, El-Tarabily KA, Sivasithamparam K. Growth promotion of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by a polyamine-producing isolate of *Streptomyces griseoluteus*. *Plant Growth Regul.* 2003; 40:97–106.

Opelt K, Berg C, Schonmann S, Eberl L, Berg G (2007) High specificity but contrasting biodiversity of Sphagnum-associated bacterial and plant communities in bog ecosystems independent of the geographical region. *The ISME Journal*, 1, 502–516.

Riaz, M., Roohi, M., Arif, M.S., Hussain, Q., Yasmeen, T., Shahzad, T., Shahzad, M., Muhammad, H.F., Arif, M. and Khalid. 2017. Corn-cob-derived biochar decelerates mineralization of native and added organic matter (AOM) in organic-matter depleted alkaline soil. *Geoderma*. 294:19-28.

Sánchez-García, M., Albuquerque, J.A., Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Cayuela, M.L., 2015. Biochar accelerates organic matter degradation and enhances N mineralisation during composting of poultry manure without a relevant impact on gas emissions. *Bioresour. Technol.* 192, 272–279.

Sun, D., Lan, Y., Xu, E.G., Meng, J. and Chen, W. 2016. Biochar as a novel niche for culturing microbial communities in composting. *Waste Management*. 54:93-100.

Vazquez Martinez Mario. 1991. Análisis del crecimiento y nutrición del cafeto (*Coffea arabica* L.) cv. Catimor bajo condiciones de vivero. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Pp 108.

Warnock DD, Lehmann J, Kuyper TW & Rillig MC (2007) Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. *Plant Soil* 300: 9–20.

Warnock, D.D., Mummey, D.L., McBride, B., Major, J., Lehmann, J., Rillig, M.C., 2010. Influences of non-herbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: Results from growth-chamber and field experiments. *Appl. Soil Ecol* 46, 450–456.

Wei, L., Shutao, W., Jin, Z., Tong, X. 2014. Biochar influences the microbial community structure during tomato stalk composting with chicken manure. *Bioresour. Technol.* 154, 148–154.

Zhao, Y., Zhao, Y., Zhang, Zhechao, Wei, Y., Wang, H., Lu, Q., Li, Y., Wei, Z. 2017. Effect of thermo-tolerant actinomycetes inoculation on cellulose degradation and the formation of humic substances during composting. *Waste Management.* 10 p.

CONCLUSIONES GENERALES

De la pirolisis de la cascarilla de café se obtuvo un biochar que presentó una muy baja densidad aparente y una alta porosidad, características que son deseadas en un sustrato. El pH alcalino del biochar le confiere la opción de ser usado como material de encalado. El biochar presentó contenidos altos de carbono total, y niveles bajos de Cu, Zn y Mn. El Fe es alto debido a los altos niveles de este elemento en la cáscara de café sin pirolizar.

El biochar de cascarilla de café al mezclarse con suelo, composta y peat coffe presentó características físicas, químicas y microbiológicas que permiten usarlo como sustrato para el desarrollo de plantas de café en vivero. De la combinación del biochar con turba (peat coffe) y composta se generaron mezclas con una relación C/N ~ 20, lo que les confiere un alto potencial para ser usadas como sustratos en viveros de plantas de café. Sin embargo, la adición de biochar a estas mezclas condujo a un abatimiento de N_{total} y retención de Fe, Zn y Mn, por lo que debe considerarse antes de su uso. Otro aspecto que requiere atención fueron los valores bajos de la CIC de estas mezclas, lo que se explicó por una aparentemente oclusión de los sitios de intercambio resultado de la combinación de estos materiales.

Las mezclas de suelo con composta presentaron condiciones adecuadas para un importante desarrollo de microorganismos como bacterias y actinomicetos principalmente. Las poblaciones de hongos totales y solubilizadoras de fosfatos fueron más abundantes en las mezclas de suelo con turba (peat coffee). En general, la presencia de plantas de café favoreció un incremento de todas las poblaciones microbianas a los siete meses después del trasplante, pero no hubo diferencia estadísticamente significativa por la adición de biochar. La inocuidad de estas mezclas se confirmó con las pruebas de germinación de semillas de rábano que fueron positivas en todos los tratamientos con biochar.

El tratamiento T2 que combina composta con suelo, comúnmente usado por los productores, presentó los valores más altos de altura de la planta, diámetro de tallo, número de cruces, área foliar, biomasa de hoja y tallo, y longitud de raíz. Lo cual hace que se considere como el más conveniente para ser usado.

El uso de la turba (peat coffee) favoreció desarrollo de microorganismos como bacterias y hongos, solubilizadoras de fosfato, degradadoras de celulosa. También presentó valores altos de biomasa en hoja y tallo. La turba se caracterizó por presentar elevados contenidos de elementos como N, Mg, P, entre otros. Por ello puede ser considerada como un potencial sustituto de sustratos en desarrollo de plantas de café en vivero. Se observó una sinergia positiva de la combinación del biochar con turba (PC) y composta (C).

El área foliar fue probablemente la variable que presentó con mayor claridad el efecto positivo de la adición de biochar en el desarrollo de plantas de café. En cambio el no. de hojas no es un buen indicador del desarrollo vegetativo del café.

Otros tratamientos evaluados que presentan biochar en su constitución T3 (suelo+composta+biochar), T5 (peat coffee+biochar) y T7 (suelo+composta+peat coffee+biochar) presentaron valores altos en algunas de las variables evaluadas en el desarrollo vegetativo de plantas de café. Por lo que pueden ser considerarlos como opciones para ser usadas como sustratos. Adicionalmente estas mezclas al presentar biochar en su composición permitirían capturar carbono en el suelo, con ello disminuir la huella de carbono asociada al café.

La evaluación participativa de los productores de la Sociedad "Cooperativa Gruta del Río Jamapa" indicó que los tratamientos con turba (peat coffe) solo o combinado con biochar y composta fueron los seleccionados por los productores como los mejores. Ello en función a variables como vigor de la planta, peso de la bolsa, desarrollo de la raíz y costo.

El uso de biochar en sustratos hortícolas para reproducir en vivero plantas de café, que es la propuesta que se hace en este trabajo, es una oportunidad para dar valor agregado a residuos de subproductos de café que tienen uso limitados actualmente, como es el caso de la cascarilla. Es también una alternativa al uso de turba (peat coffe) cuyo costo es elevado, es un producto de importación y que pone en riesgo la subsistencia de uno de los ecosistemas más frágiles como las turberas. Finalmente constituye una oportunidad de desarrollar tecnologías amigables con el medio ambiente, que permitan conservar y usar la experiencia generada en la producción de este cultivo y plantear posibilidades de desarrollo de proyectos productivos relacionados con la adaptación al cambio climático y el desarrollo de energía limpia ya que el biochar es un subproducto de la pirolisis cuyo principal objetivo es la generación de biocombustibles.

APÉNDICES

Apéndice 1

Consenso de productores para la evaluación participativa

Tratamiento	Repetición	Calificación		
		Vigor (color, tamaño, número de cruces)	Peso de la bolsa	Raiz
T1 (S)	1	8	7	9
T1 (S)	2	4	5	4
T1 (S)	3	10	5	10
T1 (S)	4	5	5	5
T1 (S)	6	3	5	3
T1 (S)	7	3	5	3
T1 (S)	8	3	5	3
T1 (S)	9	8	5	8
T1 (S)	10	2	5	2
T2 (S+C)	2	10	9	10
T2 (S+C)	3	10	9	10
T2 (S+C)	4	10	9	10
T2 (S+C)	5	10	9	10
T2 (S+C)	6	10	9	10
T2 (S+C)	7	5	9	5
T2 (S+C)	8	10	9	10
T2 (S+C)	9	7	9	8
T2 (S+C)	10	5	9	5
T3 (S+C+B)	1	10	9	10
T3 (S+C+B)	2	10	9	10
T3 (S+C+B)	3	9	9	9
T3 (S+C+B)	4	9	9	9
T3 (S+C+B)	5	10	9	5
T3 (S+C+B)	6	8	9	8
T3 (S+C+B)	8	10	9	9
T3 (S+C+B)	9	6	9	6
T3 (S+C+B)	10	2	9	2
T4 (PC)	1	7	10	9
T4 (PC)	2	9	10	9

T4 (PC)	3	8	10	9
T4 (PC)	4	8	10	9
T4 (PC)	5	9	10	10
T4 (PC)	6	9	10	9
T4 (PC)	7	6	10	5
T4 (PC)	9	8	10	10
T4 (PC)	10	9	10	10
T5 (PC+B)	1	10	10	10
T5 (PC+B)	2	10	10	9
T5 (PC+B)	3	10	10	10
T5 (PC+B)	4	9	10	10
T5 (PC+B)	5	9	10	9
T5 (PC+B)	6	10	10	10
T5 (PC+B)	7	10	10	10
T5 (PC+B)	9	10	10	10
T6 (S+C+PC)	1	10	8	10
T6 (S+C+PC)	2	2	8	2
T6 (S+C+PC)	3	4	8	4
T6 (S+C+PC)	4	4	8	4
T6 (S+C+PC)	5	8	8	6
T6 (S+C+PC)	6	8	8	9
T6 (S+C+PC)	8	8	8	7
T6 (S+C+PC)	9	10	8	10
T7 (S+C+PC+B)	2	10	9	10
T7 (S+C+PC+B)	3	4	9	4
T7 (S+C+PC+B)	4	8	9	9
T7 (S+C+PC+B)	5	10	9	10
T7 (S+C+PC+B)	6	10	9	10
T7 (S+C+PC+B)	7	10	9	10
T7 (S+C+PC+B)	8	9	9	9
T7 (S+C+PC+B)	9	10	9	10
T7 (S+C+PC+B)	10	9	9	9
T8 (S+B)	1	8	8	8
T8 (S+B)	2	8	8	5
T8 (S+B)	4	10	8	10
T8 (S+B)	5	6	8	8
T8 (S+B)	6	4	8	4
T8 (S+B)	7	6	8	8
T8 (S+B)	8	8	8	8
T8 (S+B)	9	7	8	7
T8 (S+B)	10	5	8	5

Apendice 2

Experimento en vivero



Establecimiento del experimento en vivero agosto 2015



Toma de datos del experimento, enero 2016



Evaluacion final de los tratamientos, mayo 2016