

Germinación de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*), papaya (*Carica papaya L.*) y maracuyá (*Passiflora edulis*) utilizando sustratos orgánicos

Germination of seeds of tomato (*Solanum lycopersicum*), papaya (*Carica papaya L.*) and passion fruit (*Passiflora edulis*) using organic substrates

Germinação de sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*), mamão (*Carica papaya L.*) e maracujá (*Passiflora edulis*) utilizando substratos orgânicos

Reina García Jhusua David¹ y Parra González Sergio David²

¹I.A., Universidad de los Llanos y

²I.A., MSc. Docente de la Universidad de los Llanos

sparra@unillanos.edu.co

Recibido 25 de Mayo 2018, Aceptado 30 de Agosto 2018

RESUMEN

La calidad de las plántulas es uno de los aspectos más importantes en el establecimiento del material vegetal proveniente del vivero, dentro de las problemáticas fitosanitarias que se presentan se encuentra el volcamiento, mal de talluelo o *damping off* causada por diferentes hongos. El biochar o biocarbón es considerado como alternativa para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, mostrando potencial como sustrato de crecimiento. Este trabajo fue realizado bajo un diseño completamente al azar evaluando el crecimiento y desarrollo en vivero de tomate (*Solanum lycopersicum*), papaya (*Carica papaya L.*) y maracuyá (*Passiflora edulis*). Los tratamientos fueron cinco sustratos de siembra: suelo, turba y tres mezclas de suelo con biocarbón al 10%, el cual fue obtenido a 450 °C utilizando como materia prima cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis*), plátano (*Musa paradisiaca L.*) y naranja (*Citrus sinensis*). Los diferentes sustratos de crecimiento no presentaron hongos patógenos asociados a enfermedades de interés como el mal de talluelo, que afecta las plántulas en vivero; esto se puede explicar por el aumento de la actividad biológica de los sustratos producida por la adición de biocarbón, que puede generar condiciones similares a las de los suelos supresivos. De acuerdo a los resultados el biocarbón de maracuyá

y plátano tuvieron un efecto mortífero, las plantas sembradas en la mezcla de suelo con biocarbón de naranja presentaron un comportamiento estadísticamente similar ($P>0.05$) con respecto al tratamiento control (turba). El comportamiento de la papaya y el maracuyá fue similar ($P>0.05$), a pesar de esto, la germinación en los tres experimentos fue inferior a la de la prueba realizada en laboratorio. Se concluye que la materia prima usada como sustrato influye en el contenido de nutrientes que tiene el biocarbón, es así que la mezcla suelo con biocarbón de naranja al 10% es un óptimo sustrato para la producción de plántulas de tomate.

Palabras clave: Biocarbón, nutrientes, plántulas, vivero, frutales.

ABSTRACT

The quality of the seedlings is one of the most important aspects in the establishment of the vegetal material coming from the nursery, within the phytosanitary problems that are presented is the overturning, badly damaged or damping off caused by different fungi. Biochar is considered as an alternative to improve physical conditions, chemical and biological of soil, showing potential as a growth substrate. This work was carried out under a completely randomized design evaluating the growth and development in nursery of tomato (*Solanum lycopersicum*), papaya (*Carica papaya L.*) and passion fruit (*Passiflora edulis*). The treatments were five substrates of sowing: soil, peat and three mixtures of soil with biochar to the 10%, which was obtained at 450 °C using as raw material husks of passion fruit (*Passiflora edulis*), banana (*Musa paradisiaca L.*) and orange (*Citrus sinensis*). The different growth substrates did not present pathogenic fungi associated with diseases of interest such as the short-leaf disease, that affects the nursery seedlings; this can be explained by the increase in the biological activity of the substrates produced by the addition of biochar, which can generate conditions similar to those of suppressive soils. According to the results, the passionfruit and banana biochar had a deadly effect, the plants sown in the soil mixture with orange biochar presented a statistically similar behavior ($P>0.05$) with respect to the control treatment (peat). The behavior of papaya and passion fruit was similar ($P>0.05$), despite this, the germination in the three experiments was lower than that of the laboratory test. It is concluded that the

raw material used as a substrate influences the nutrient content of the biochar, thus, the soil mix with 10% orange biochar is an optimal substrate for the production of tomato seedlings.

Keywords: Biochar, nutrients, seedlings, nursery, fruit trees.

RESUMO

A qualidade das mudas é um dos aspectos mais importantes no estabelecimento do material vegetal proveniente do viveiro, Dentro dos problemas fitossanitários apresentados estão o volcamento, mal de talluelo o *damping off* causada por diferentes fungos. Biocarvão ou biochar é considerado como uma alternativa para melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo, mostrando potencial como substrato de crescimento. Este trabalho foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, que avaliou o crescimento e desenvolvimento em viveiros de tomateiro (*Solanum lycopersicum*), mamão (*Carica papaya L.*) e maracujá (*Passiflora edulis*). Os tratamentos foram cinco substratos de semeadura: solo, turfa e três misturas de solo com biocarvão a 10%, obtido a 450 °C usando como matéria-prima casca de maracujá (*Passiflora edulis*), banana (*Musa paradisiaca L.*) e laranja (*Citrus sinensis*). Os diferentes substratos de crescimento não apresentaram fungos patogênicos associados a doenças de interesse como a doença das folhas curtas, que afeta as mudas de viveiro; isso pode ser explicado pelo aumento da atividade biológica dos substratos produzidos pela adição de biocarvão, que podem gerar condições semelhantes às dos solos supressivos. De acordo com os resultados, o biocarvão de maracujá e banana teve um efeito mortal, as plantas semeadas na mistura do solo com o biocarvão de laranja apresentaram comportamento estatisticamente similar ($P>0.05$) em relação ao tratamento testemunha (turfa). O comportamento do mamão e maracujá foi semelhante ($P>0.05$), apesar disso, a germinação nos três experimentos foi menor que a do teste laboratorial. Conclui-se que a matéria prima utilizada como substrato influencia o teor de nutrientes do biocarvão, assim, a mistura do solo com 10% de biocarvão de laranja é um ótimo substrato para a produção de mudas de tomateiro.

Palavras-chave: Biochar, nutrientes, mudas, viveiro, árvores frutíferas.

INTRODUCCIÓN

La etapa de germinación se considera de gran importancia para obtener una planta de buena calidad, sin embargo, dentro de las problemáticas fitosanitarias que se presentan se encuentra el volcamiento, mal de talluelo o *damping off* causada por diferentes hongos como *Rhizoctonia spp.*, *Pythium spp.*, *Fusarium spp.* y *Phytophthora spp.* entre otros, los cuales pueden encontrarse en el suelo o en las semillas (Castro *et al.*, 2008).

El mal de talluelo es considerado la principal enfermedad de los germinadores, debido a que reduce en un alto porcentaje la germinación de las semillas e impide el crecimiento de las plántulas (Tovar, 2008). La enfermedad ha sido diagnosticada con mayor frecuencia en semilleros que en almácigos, se puede presentar en semillas (preemergencia), ocasionando su pudrición reduciendo la germinación; en plántulas (postemergencia), el patógeno se localiza en el cuello produciendo necrosis y su estrangulamiento, lo cual ocasiona retraso en el crecimiento y muerte repentina. Esta patología es ocasionada por hongos que son habitantes naturales del suelo, por lo cual su control debe enfocarse de manera preventiva, mediante el tratamiento químico o físico del suelo. Cuando la enfermedad se presenta en semilleros, después de la emergencia, se recomienda eliminar las plántulas afectadas y la aplicación de fungicidas químicos (Balatti *et al.*, 2017; Tamayo *et al.*, 1999).

En regiones de clima cálido en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) uno de los problemas fitosanitarios limitantes en la germinación y crecimiento es el marchitamiento vascular ocasionado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) causante de grandes pérdidas económicas (Carrillo *et al.*, 2003). Otras de las enfermedades que se encuentran en los sustratos utilizados para la germinación del tomate son cáncer bacteriano (*Clavibacter michiganensis*), el nematodo del nudo causada por *Meloidogyne spp.*, observándose que la mayor pérdida de plántulas es

por hongos como *Pythium spp.*, *Fusarium spp.* y *Rizoctonia spp.*, causantes de la enfermedad conocida como mal del talluelo (PH, 2006).

La papaya (*Carica papaya L.*) tiene un valor económico importante a nivel mundial por su alta rentabilidad y aceptación del fruto, sin embargo, su semilla tiene un proceso de germinación tardío y errático que es afectado por la presencia de la sarcotesta, membrana que contiene compuestos fenólicos inductores de latencia, misma que inhibe el intercambio de líquidos y gases, prolongando el período de secado y facilitando la colonización de hongos (Gardan *et al.*, 2004). Cuando se utiliza almácigo es común que ocurra germinación incompleta y emergencia irregular, así como incidencia de “secadera” o “*Damping off*”, que reduce la población de plantas. La plantación definitiva exige plantas vigorosas y sanas, por lo cual es necesario enfatizar en aspectos de la semilla relacionados con la calidad fisiológica y sanitaria. Uno de los patógenos de la papaya que se transmite por semilla es *Erwinia*, que provoca la muerte de plantas y reduce la producción. La pudrición de semilla, raíces y tallo causada por *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Fusarium* también reduce significativamente la población de plantas de papaya (Romero *et al.*, 2013).

La enfermedad de la secadera de la familia *Passifloraceae* ocasionada por *Fusarium solani*, es la más importante en Colombia, la muerte de plántulas es más frecuente en almácigos que en semilleros y pasa desapercibida porque las plantas se tardan 45 días en manifestar los primeros síntomas, lo cual causa que se lleven plantas “aparentemente sanas” al campo de cultivo. Otras enfermedades que afectan en semillero y almacigo a esta familia son: mildew blanco (*Ovulariopsis spp.*), mancha del ojo de pollo (*Phomopsis*) y nematodo del nudo (*Meloidogyne spp.*) (Ortiz y Hoyos, 2012).

El maracuyá (*Passiflora edulis*) es un cultivo tropical promisorio para Colombia, que ocupa el segundo lugar en producción a nivel mundial, sin embargo, se ha registrado una importante disminución de la producción originada por el inadecuado manejo agronómico del cultivo, conllevando a problemas fitosanitarios, provocados principalmente por patógenos como *Fusarium oxysporum* y *F. solani* causantes de

la enfermedad conocida como pudrición seca, marchitez, fusariosis o secadera. Lo anterior ha generado demanda de investigaciones sobre el control de estos patógenos desde la etapa en la que se colocan las semillas en los germinadores (Suárez *et al.*, 2008). Otros hongos como *Alternaria spp.* son frecuentes en los cultivos de maracuyá y se caracterizan por la presencia de manchas de color pardo rojizo en hojas con márgenes acuosas, en tallos y pecíolos las lesiones son alargadas de color rojizo y se desarrollan también abundantes cuerpos fructíferos de patógenos sobre ellas, la infección con estos hongos es favorecida por alta humedad relativa y altas temperaturas, principalmente cuando hay cambios repentinos de lluvia a sol y viceversa (Neusa, 2016).

La producción de plántulas sanas y vigorosas depende básicamente de una adecuada desinfección del suelo utilizado para los semilleros, porque éstas pueden ser atacadas por hongos, bacterias, nematodos, insectos y malezas, afectando sus procesos de germinación, crecimiento y desarrollo, lo que causa pérdidas económicas. Tradicionalmente, la desinfección de semilleros se ha realizado con productos químicos, los cuales, aunque son efectivos para el control de hongos, nematodos y bacterias, están prohibidos o restringidos en muchos países por su alta toxicidad para los seres humanos y animales y por su efecto adverso sobre el medio ambiente (MAG, 2005). Por esta razón existe preocupación en el mundo por reducir la contaminación y conservar los recursos naturales; dada esta situación se han considerado otros factores para la selección de sustratos como: 1. Suprimir patógenos, 2. Ser reciclables, 3. Evitar lavado de nutrientes, 4. Optimizar el consumo del agua, y 5. Estar libres de patógenos y no causar daño al medio ambiente (Román *et al.*, 2013).

Uno de los sustratos que cumplen con dichas características es el biocarbono o “*biochar*”, en inglés, que es un producto de grano fino y poroso similar en apariencia al carbón vegetal; se produce a partir de un proceso denominado pirólisis, que consiste en la descomposición química de sustancias orgánicas a altas temperaturas en ausencia de oxígeno, sin embargo, en términos prácticos realizar

un proceso de pirólisis en ausencia total de oxígeno no es posible, por lo que siempre ocurre una oxidación mínima de materia orgánica (Verheijen *et al.*, 2010).

Hay varios factores en el proceso de producción del biocarbón que determinan sus características, entre los cuales está el tipo de biomasa utilizada para su fabricación, que puede tener efectos sobre el suelo y la microbiota, lo cual va a influir en la estructura y función del biocarbón. Para su producción se utiliza restos de materia orgánica en descomposición, desechos de cultivos, mazorcas ó cascaras de nueces, ramas de árboles, arbustos o cualquier otro residuo agrícola, estando su rendimiento productivo condicionado al grado de descomposición de la celulosa, hemicelulosa y lignina (Fagbenro *et al.*, 2015).

Para la producción de biocarbón se utiliza la pirólisis lenta debido a que hay un mayor rendimiento de subproducto sólido (biocarbón) que de subproducto líquido (bioóleo) y gaseoso (sintegas). La pirolisis lenta consiste en utilizar una temperatura baja-moderada entre 400 y 650°C, un reactor operando a presión atmosférica y un tiempo de residencia largo (Sohi *et al.*, 2009).

El biocarbón puede mantener altos niveles de materia orgánica y nutrientes aprovechables para las plantas, reteniéndolos, lo que es importante en suelos que tienen baja capacidad iónica. La producción y aplicación de biomasa pirolizada (biocarbón) al suelo ha sido una herramienta utilizada para el almacenamiento de carbono en ecosistemas terrestres porque puede incrementar la fertilidad del suelo puesto que mejora su capacidad para absorber e intercambiar nutrientes y materia orgánica, teniendo un efecto positivo sobre la abundancia y diversidad de microorganismos, por lo tanto su uso contribuye con la reducción del uso de agua y de fertilizantes químicos (Khodadad *et al.*, 2011).

El biocarbón ha tomado importancia dentro de la agricultura como enmienda orgánica debido a sus potenciales beneficios en el secuestro de carbono en suelo, rendimiento de los cultivos y lixiviación de nutrientes. Este producto guarda una similitud con el carbón activado, el cual reacciona con moléculas orgánicas tóxicas adsorbiéndolas y disminuyendo su disponibilidad en el suelo (Escalante *et al.*,

2016), por lo que se le puede atribuir que también esté involucrado en el proceso de adsorción, sin ser elementos idénticos, además debido a la textura y estructura del biocarbón, la humedad en el suelo aumenta, permitiendo que se genere un ambiente propicio para el establecimiento de la microbiota (Leiva, 2012).

Al observar el gran potencial que tiene el biocarbón como enmienda en el suelo, se realizó un estudio de viabilidad para utilizarlo como sustrato libre de patógenos para la germinación y crecimiento tomate (*Solanum lycopersicum*), maracuyá (*Passiflora edulis*) y papaya (*Carica papaya L.*) en etapa de vivero, por lo tanto el objetivo de este proyecto fue evaluar el comportamiento de estas plantas utilizando biocarbón, obtenido de cáscaras de: maracuyá (*Passiflora edulis*), naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*).

METODOLOGÍA

Este trabajo se realizó en el municipio de Villavicencio, Meta ubicado en el Piedemonte llanero, una altura de 426 msnm, la temporada de lluvias tiene una duración de 8.6 meses, la humedad relativa del aire es menor en el primer trimestre del año, la cual se encuentra entre 70 y 84% La clasificación del clima tropical monzonico, la temperatura promedio 25.5°C y precipitación de 3856 mm anuales, presión atmosférica 1015 hPa y velocidad de viento 7 km/h - E (90°) (IDEAM, 2016).

La investigación se dividió en dos etapas, la primera consistió en la elaboración del biocarbón a partir de las cascaras de maracuyá (*Passiflora edulis*), naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) y la segunda en la evaluación del desarrollo y crecimiento de las plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*), maracuyá (*Passiflora edulis*) y papaya (*Carica papaya L.*) germinadas en los sustratos a base de biocarbón preparados previamente.

La materia prima para elaborar el biocarbón se limpió y cortó en fragmentos pequeños para facilitar su secado en una estufa de circulación de aire a una temperatura de 70°C, el tiempo de esta operación varió en un rango de 72 a 96 horas, en función del contenido de humedad de los residuos, mediante observación se determinó el fin de esta actividad, inmediatamente después, una muestra de 100

g de cada materia prima fue tomada y enviada al laboratorio para su caracterización química. Una vez seco el material fue carbonizado en una estufa a gas con un tiempo de permanencia de tres horas a temperatura de 450°C (Belalcázar, 2013), después de este proceso una alícuota de 100 g de cada tipo de biocarbón (naranja, plátano y maracuyá) se caracterizó para conocer el contenido de nutrientes como fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B) y azufre (S), los cuales se determinaron realizando digestión húmeda y siguiendo los protocolos de análisis de tejido vegetal consignados en el manual de métodos analíticos de laboratorio de suelos (IGAC, 2006).

De la granja experimental de la Universidad de los Llanos ubicada en Villavicencio se recolectaron 100 kg de suelo, que fue solarizado y fumigado con una solución de formol al 10%, posteriormente secado a la sombra, desterronado y tamizado, el cual fue usado para ser mezclado con el sustrato en una relación 1:10 (IGAC, 2014).

Los siguientes parámetros fueron caracterizados en cada una de las muestras que conformaron los tratamientos evaluados en la fase de vivero: pH en agua (método potenciométrico relación 1:1); materia orgánica (MO) (Walkley Black); azufre (S) (fosfato monobásico de calcio); calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na) (acetato de amonio 1N pH 7.0); fósforo (P) (Bray II); aluminio (Al) (cloruro de potasio 1N); elementos menores (DTPA); boro (B) (ácido clorhídrico); la determinación de: MO, Ca, Mg y Al se efectuaron por titulación; P, B, S por espectrofotometría uv-bis y Cu, Fe, Mn, Zn por espectrofotometría de absorción atómica (IGAC, 2006).

Se evaluó el crecimiento y desarrollo del tomate, maracuyá y papaya en un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones para cada especie, plantadas en cinco sustratos de crecimiento diferentes (tratamientos) (Tabla 1). La unidad experimental estuvo constituida por 40 plántulas de cada especie sembradas en bandejas. El experimento se estableció en una estructura que buscaba asemejar las condiciones de un invernadero, con un registrador de datos con exactitud de ± 0.01 ubicado en el centro del área de estudio, midiendo cada minuto la temperatura y humedad relativa; el análisis de varianza (ANAVA) y la prueba de significancia por

el estadígrafo de Student Newman-Keuls (SNK) fue realizada con el software R (R-Project, 2008).

Tabla 1. Formulaciones de los sustratos de crecimiento

SUSTRATO	TRATAMIENTO
Suelo + Biocarbón de Plátano	T1 (BP)
Suelo + Biocarbón de Maracuyá	T2 (BM)
Suelo + Biocarbón de Naranja	T3 (BN)
Suelo sin Biocarbón	T4 (S)
Turba	T5 (T)

Turba: Es un abono orgánico, rico en carbono, de estructura esponjosa donde se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Composición de la turba calcinada a 500°C: SiO₂: 10-45; Al₂O₃: 1-11; Fe₂O₃: 1.1-5.5; CaO: 2-45; MgO: 1-20; MnO: 0.1-0.3; K₂O: 0.1-2.5; Na₂O: 0.2-5; P₂O₅: 1-3 y SO₃: 5-20.

Una prueba de germinación fue realizada antes de la siembra, evaluando cuarenta semillas en cajas de Petri con papel húmedo, previo a la siembra, las bandejas fueron desinfectadas con solución de hipoclorito a una concentración de 10% y una semilla se plantó en cada alveolo. Después del montaje del ensayo iniciaron las evaluaciones de: porcentaje de germinación (PG), velocidad media de germinación (VMG) y tiempo medio de germinación (TMG); continuando 45 días después de la siembra con la medición de altura y diámetro de tallo en cuello de la raíz con pie de rey digital (± 0.01 mm). Finalmente, las plantas fueron secadas en una estufa de circulación de aire a una temperatura de 45°C para la determinación de la materia seca. En el momento de la extracción de las plantas una muestra de aproximadamente 30 g de sustrato fue tomada por cada tratamiento, con la finalidad de determinar la presencia de hongos fitopatógenos, usándose el método de la dilución del suelo en placa (Moreira *et al.*, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar los contenidos de nutrientes de la materia prima del biocarbón (Tabla 2) con los cánones de interpretación propuestos por Silva, (1999), se observa que los niveles de: P, Ca, Mg, K, en la cáscara se encuentran encima de los niveles de

suficiencia en tejido foliar. Cabe destacar que las plantas de plátano y de naranja tienen altos requerimientos de potasio (Ronchini *et al.*, 2004), el potasio tiene alta movilidad en la planta y cumple funciones de transporte de fuentes a sumideros, explicando su alto contenido en el epicarpio (Tabla 2) (Maathuis, 2009). En contraste, el contenido de elementos menores de cada una de las materias primas no superó los niveles de suficiencia (Silva, 1999), probablemente a causa del uso poco frecuente de elementos menores en los planes de fertilización en las áreas en que se realizaron las colectas, además en esa región los suelos son deficientes en estos micronutrientes (Tabla 3) (IGAC, 2014).

Tabla 2. Caracterización de la materia prima usada en la elaboración del biocabón

Material	K	Ca	Mg	P	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
	%			Ppm						
Plátano	4.89	0.21	0.07	0.10	3.50	20.00	52.50	19.00	23.74	999.51
Maracuyá	0.76	0.85	0.08	0.05	4.50	51.00	8.50	14.00	24.41	647.38
Naranja	2.89	0.30	0.10	0.10	3.00	65.50	16.00	99.50	16.65	1892.58

Contenidos de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) expresados como porcentaje (%). Fósforo (P), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B) y azufre (S) expresados como partes por millón (ppm).

Tabla 3. Contenido de nutrientes en el suelo y bio-char usados en las mezclas

Sustrato	pH	MO	Na	Al	Ca	Mg	K	P	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
		%	Cmolc Kg ⁻¹						Ppm					
Suelo*	4.5	3.1	0.01	2.4	0.8	0.10	0.09	1.20	0.85	27.50	1.70	0.30	0.77	0.51
Plátano	8.7	49.4	1.13	0.3	3.00	3.00	174.52	350.20	1.20	21.25	35.00	9.20	4.58	152.73
Maracuyá	8.0	52.5	1.23	0.3	5.00	6.00	110.00	362.83	0.80	25.00	120.0	45.00	5.04	393.89
Naranja	5.6	50.7	1.14	0.4	21.0	3.00	26.79	289.10	1.80	5.00	40.00	4.90	4.01	218.51

*Textura FA. Contenidos de materia orgánica (MO) expresado como porcentaje (%). Sodio (Na), aluminio (Al), calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) expresados como centimoles (Cmolc Kg⁻¹). Fósforo (P), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B) y azufre (S) expresados como partes por millón (ppm).

Después de convertir la materia prima en biocarbón se observa un incremento en la concentración de carbono orgánico, elementos mayores (bases), fósforo y pH

(Tabla 3), sin embargo esta tendencia no fue observada en el contenido de elementos menores; el aumento del carbono orgánico se debe a la reducción del hidrogeno y oxigeno por la evaporación del agua adsorbida (Novak *et al.*, 2009), la temperatura usada en la elaboración (450°C), aumentó la concentración de elementos mayores; la volatilización de P, K, Ca, Mg sucede a temperaturas superiores a 700°C., lo contrario se observa cuando las altas temperaturas son usadas en el proceso de elaboración, el contenido de elementos menores aumenta (Lehmann y Joseph, 2015).

Los contenidos de nutrientes y pH del biocarbón obtenido en este experimento fueron comparables con los reportados por otros autores que usaron bajas temperaturas en la elaboración (Alonso *et al.*, 2016; Peterson *et al.*, 2013), estos mismos autores también han reportado el aumento en el contenido de nutrientes cuando el biocarbón es adicionado al suelo. Inicialmente el suelo usado en este trabajo tenía bajo contenido de elementos mayores y menores, y alta acidez potencial e intercambiable (Tabla 3), indicando una baja fertilidad natural; después de aplicar los tratamientos hubo disminución en los diferentes tipos de acidez (Tabla 4).

Tabla 4. Contenido de nutrientes en el suelo después de aplicar las mezclas de biocarbón

Sustrato	pH	MO	Na	Al	Ca	Mg	K	P	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
		%	Cmolc Kg ⁻¹					Ppm						
Plátano	7.7	9.5	0.48	0.10	1.30	0.70	30.00	166.9	1.35	239.37	12.85	3.95	3.64	66.30
Maracuyá	7.5	8.2	0.58	0.10	2.30	1.30	22.00	176.3	1.35	208.75	10.05	4.00	3.35	129.55
Naranja	6.6	6.4	0.12	0.15	3.10	0.70	7.00	45.1	1.10	335.62	5.75	1.30	2.57	24.25

*Textura FA. Contenidos de materia orgánica (MO) expresado como porcentaje (%). Sodio (Na), aluminio (Al), calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) expresados como centimoles (Cmolc Kg⁻¹). Fósforo (P), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B) y azufre (S) expresados como partes por millón (ppm).

Es evidente el aumento de la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de nutrientes después de mezclar el suelo con biocarbón al 10% (Tabla 4), tal efecto es explicado por la presencia de componentes oxidables como anhidro celulosa, polisacáridos y alcoholes, la baja condensación de estructuras aromáticas y la poca

formación de grafito, resultado de la baja temperatura usada en la pirolisis (Novak *et al.*, 2009). El aumento en el pH y la reducción del aluminio intercambiable (Tabla 4) puede ser explicado por la formación de carbonatos y óxidos de Ca, Mg, y K del proceso de pirolisis, estos óxidos reaccionan con el aluminio y los hidrogeniones presentes en suelo, lo cual también fue reportado por Alonso *et al.*, (2016). Los incrementos en el contenido de nutrientes en los sustratos de los tratamientos evaluados son el resultado de las reacciones de disolución, precipitación y lixiviación de sales solubles cuando el biocarbón entra en contacto con el suelo, estas reacciones ocurren porque el compuesto es termodinámicamente inestable en condiciones oxidativas (Joseph *et al.*, 2010).

El contenido de K en el sustrato después de aplicar los tratamientos puede ser calificado como alto en la mezcla suelo con biocarbón de plátano (BP) y en la de suelo con biocarbón de maracuyá (BM), es decir T1 y T2 respectivamente (Tabla 4). Es importante recordar que los altos contenidos de sales de K, Na, y Mg pueden afectar la germinación de semillas de plantas no halófitas como las hortalizas (Tobe *et al.*, 2003). En los experimentos realizados el tratamiento T1 (BP) tuvo un efecto deletéreo en el crecimiento y desarrollo de las plántulas (Tabla 5).

Tabla 5. Crecimiento y desarrollo de las especies evaluadas en los diferentes experimentos

Tratamiento	Tomate					Papaya					Maracuyá				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
% de germinación	0.00 ^a	6.67 ^a	30.00 ^b	8.33 ^a	36.67 ^b	0.00 ^a	3.33 ^a	32.50 ^a	35.00 ^b	6.67 ^a	-	-	3.33	3.33	6.67
T50'	-	15.33	15.33	14.33	12.67	-	17.00	19.33	17.67	13.00	-	-	-	15.33	16.00
Diámetro de tallo	-	-	1.25 ^b	0.61 ^a	0.97 ^{ab}	-	-	1.37	1.30	1.00	-	-	0.28	0.67	0.75
Altura de planta	-	-	87.91 ^b	48.36 ^a	66.08 ^{ab}	-	-	51.02 ^b	28.68 ^a	43.33 ^b	-	-	16.92 ^a	42.60 ^b	58.70 ^c
Longitud de raíz	-	-	3.51 ^a	2.02 ^a	7.82 ^b	-	-	3.53 ^b	0.96 ^a	6.29 ^c	-	-	5.10 ^b	2.70 ^a	5.90 ^b
MST	-	-	0.04 ^b	0.01 ^a	0.02 ^a	-	-	0.05 ^b	0.02 ^a	0.02 ^a	-	-	0.02	0.03	0.03

Superíndices con letras diferentes indican diferencias estadísticas ($P < 0.05$) por la prueba Student Newman-Keuls (SNK). T1 = Suelo + Biocarbón de Plátano; T2 = Suelo + Biocarbón de Maracuyá; T3 = Suelo + Biocarbón de Naranja; T4 = Suelo sin Biocarbón; T5 = Turba. B = Biocarbón. P = Plátano, M = Maracuyá y N = Naranja. S = Suelo y T = Turba. T50' = Tiempo medio de germinación. MST = Materia seca total

Se observó un comportamiento similar ($P>0.05$) en el tiempo medio de germinación ($T50'$) de todas las especies evaluados; en el tomate, el porcentaje de germinación fue mayor en los tratamientos T3 y T5, el diámetro del tallo, altura de la planta y materia seca total fue mayor ($P<0.05$) en T3, mientras que longitud de la raíz lo fue en T5; en la papaya el porcentaje de germinación fue mayor ($P<0.05$) en T4, en altura de la planta fue superior en T3 y T5, mientras que la longitud de la raíz fue mayor en T5 y la materia seca total en T3; en el maracuyá el porcentaje de germinación, diámetro de tallo y materia seca total fue similar ($P>0.05$) en los tratamientos, en altura de las plantas el mejor comportamiento ($P<0.05$) se observó en T5, mientras que en longitud de raíz lo fue en T3 y T5 (Tabla 5). A pesar que en campo el porcentaje de germinación fue más alto en T3 y T5, en todos tratamientos evaluados en las diferentes especies vegetales fue inferior al de la prueba realizada en laboratorio (Tabla 6).

Tabla 6. Prueba de germinación de las especies evaluadas realizada en laboratorio

Especie	% Germinación	T50'
Tomate	91.67	3.00
Papaya	25.83	14.67
Maracuyá	57.5	7.00

T50' = Tiempo medio de germinación.

Los diferentes sustratos de crecimiento no presentaron hongos patógenos asociados a enfermedades de interés relacionadas con el mal de talluelo que afecta a las plántulas en vivero; esto se puede explicar por el aumento de la actividad biológica de los sustratos producida por la adición del biocarbón que genera condiciones similares a las de suelos supresivos (Jha *et al.*, 2010; Lehmann y Joseph, 2015).

El potasio es conocido por ser un elemento esencial que mitiga el efecto de diferentes tipos de estrés abiótico por tener funciones biofísicas y bioquímicas en la planta (Cakmak, 2005), sin embargo, al comparar el contenido de este elemento en

las mezclas evaluadas su disponibilidad fue más alta en BM y BP (Tabla 4), tratamientos en los que las plantas no se desarrollaron (Tabla 5); La despolarización parcial del plasmalema reduce la capacidad de absorción de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (antagonismo de iones) y genera su deficiencia, y esto ocurre cuando hay una alta disponibilidad de K^+ en el suelo o medios de crecimiento. Igualmente, altas concentraciones de sales afectan la germinación, prolongando su periodo y reduciendo su porcentaje debido a la reducción del potencial osmótico, que afecta el factor hídrico, situación que se puede interpretar como una “sequía fisiológica” (Taiz y Zeiger, 2015).

Las condiciones ambientales afectan la germinación, la temperatura influye en la absorción de agua de la semilla y otras reacciones bioquímicas, la foto-conversión del fitocromo es un factor que aumenta o reduce la germinación y es dependiente de la temperatura (Heschel *et al.*, 2007), en las especies estudiadas la mayor germinación se obtiene cuando la temperatura se encuentra en rangos de 20 a 25°C en tomate (Estrada y Vallejo, 2004) y 20 a 30°C para el maracuyá (Fernandes y Nakagawa, 2005) (Osipi y Nakagawa, 2005). La temperatura y humedad relativa en que se desarrolló este trabajo en algunas ocasiones superaron las consideradas óptimas para la fase inicial de las plantas evaluadas, esto también puede explicar las diferencias observadas en la prueba de germinación en laboratorio (Tabla 6) y esta variable evaluada en campo en los tres experimentos realizados (Tabla 5).

CONCLUSIONES

La materia prima usada influye en el contenido de nutrientes que tiene el biocarbón, es así que el de naranja al 10% al mezclarlo con suelo presentó un comportamiento similar al de la turba en la producción de plántulas de tomate.

El del biocarbón obtenido de plátano y maracuyá ambos al 10% tuvo un efecto mortífero en el crecimiento y desarrollo inicial de plántulas, permitiendo pensar que la relación ideal es menor a la usada en el presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alonso L., Cruz A., Jiménez D., Ocampo Á., Parra S. Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 19 (2): 341-349. 2016.
2. Balatti P., Lorrán S., Lori G., Malbrán I., Mónaco C., Parelló A., Rollán C., Rolleri J., ronco L., Sisterna M., Stocco M. Curso de fitopatología. Guía de trabajos prácticos. 2017. Recuperado 06 Diciembre 2017. Disponible En: http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/36295/mod_resource/content/1/Fitopatolog%C3%ADa%20-%20Gu%C3%ADa%20Parte%20Especial%202017.pdf
3. Belalcázar S. Evaluación del biocarbón derivado de cascarilla de arroz como potenciador del establecimiento y proliferación de bacterias en suelos no perturbados, Bióloga. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad ICESI, Santiago de Cali. 59 p. 2013.
4. Cakmak I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168 (4): 521-530. 2005.
5. Carrillo J.A., Montoya T.d.J., García R.S., Cruz J.E., Márquez I., Sañudo A.J. Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder y Hansen, en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21 (2): 123-127. 2003.
6. Castro T., Rivillas O., Serna C., Mejía C. Germinadores de café: construcción, manejo de *Rhizoctonia solani* y costos. *Avances Técnicos Cenicafé*. 368 1-12. 2008.
7. Escalante A., Pérez G., Hidalgo C., López J., Campo J., Valtierra E., Etchevers J.D. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*. 34 (3): 367-382. 2016.
8. Estrada E., Vallejo F. Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia., Palmira, Cali. 346 p. 2004.
9. Fagbenro J.A., Oshunsanya S.O., Oyeleye B.A. Effects of gliricidia biochar and inorganic fertilizer on moringa plant grown in an oxisol. *Communications in soil science and plant analysis*. 46 (5): 619-626. 2015.
10. Fernandes E.A., Nakagawa J. Avaliação da potencialidade fisiológica de sementes de maracujá-doce (*Passiflora alata* Dryander) submetidas ao armazenamento. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 27 (1): 52-54. 2005.
11. Gardan L., Christen R., Achouak W., Prior P. *Erwinia papayae* sp. nov., a pathogen of papaya (*Carica papaya*). *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. 54 (1): 107-113. 2004.
12. Heschel M.S., Selby J., Butler C., Whitlam G.C., Sharrock R.A., Donohue K. A new role for phytochromes in temperature-dependent germination. *New Phytologist*. 174 (4): 735-741. 2007.
13. IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Tiempo y clima. 2016. Recuperado 16 Diciembre 2016. Disponible En: <http://www.ideam.gov.co/>

14. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Imprenta Nacional, Bogotá, Colombia. 648 p. 2006.
15. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Estudio general de suelos y zonificación de tierras: departamento de Vichada, escala 1:100.000. Bogotá, Colombia. 385 p. 2014.
16. Jha P., Biswas A., Lakaria B., Rao A.S. Biochar in agriculture—prospects and related implications. *Current science*. 99 (9): 1218-1225. 2010.
17. Joseph S., Camps M., Lin Y., Munroe P., Chia C., Hook J., Van Zwieten L., Kimber S., Cowie A., Singh B., Lehmann J., Foid N., Simemik R., Amonette J. An investigation into the reactions of biochar in soil. *Soil Research*. 48 (7): 501-515. 2010.
18. Khodadad C.L., Zimmerman A.R., Green S.J., Uthandi S., Foster J.S. Taxa-specific changes in soil microbial community composition induced by pyrogenic carbon amendments. *Soil Biology and Biochemistry*. 43 (2): 385-392. 2011.
19. Lehmann J., Joseph S. Biochar for environmental management: Science, technology and implementation. Routledge, Earthscan, London & Sterling. 944 p. 2015.
20. Leiva N. Metodología para el cálculo de la humedad del suelo usando parámetros topográficos (MDE), climáticos y edáficos en un sector del piedemonte depositacional del municipio de Villavicencio, Magister en Geomática. Facultad de Agronomía, Escuela de Posgrados, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 129 p. 2012.
21. Maathuis F.J. Physiological functions of mineral macronutrients. *Current opinion in plant biology*. 12 (3): 250-258. 2009.
22. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Programa Nacional de Frutas de El Salvador. Guía técnica de semilleros y viveros de frutales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), El Salvador. 40 p. 2005.
23. Moreira F.M., Huisling J., Bignell D. Manual de biología de suelos tropicales. Instituto Nacional de Ecología, México DF. 2012.
24. Neusa A.N. Establecimiento de un sistema productivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en el municipio de Uribe Meta como alternativa de fortalecimiento empresarial y conocimientos técnicos, Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de la Salle, 92 p. 2016.
25. Novak J.M., Busscher W.J., Laird D.L., Ahmedna M., Watts D.W., Niandou M.A. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil science*. 174 (2): 105-112. 2009.
26. Ortiz E., Hoyos L.M. Descripción de la sintomatología asociada a fusariosis y comparación con otras enfermedades en gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) en la región del Sumapaz (Colombia). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 6 (1): 110-116. 2012.
27. Peterson S.C., Appell M., Jackson M.A., Boateng A.A. Comparing corn stover and switchgrass biochar: Characterization and sorption properties. *Journal of Agricultural Science*. 5 (1): 1-8. 2013.
28. Productores de Hortalizas (PH). Plagas y enfermedades del tomate. Guía de identificación y manejo. Publicación de Meister Media, 23 p. 2006.

29. R-Project. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. 2008. Recuperado 08 Diciembre 2017. Disponible En: <http://www.R-project.org>
30. Román P., Martínez M.M., Pantoja A. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Santiago de Chile 108 p. 2013.
31. Romero J.A., Rangel J.A., Rojas M., Rodríguez R., Robles L. Identificación y patogenicidad de hongos en semilla de papaya (*Carica papaya* L.). Ciencia y Tecnología Agropecuaria México. 1 (2): 12-19. 2013.
32. Ronchini P.R., Quaggio J.A., Ferreira M., Bataglia O.C. Nutrient balance for citrus nurseries production in substrate under screen-house. Revista Brasileira de Fruticultura. 26 (2): 300-305. 2004.
33. Silva D.J. Análise de plantas: amostragem e interpretação, Embrapa Semiárido- Documentos (INFOTECA-E), 1-9. 1999.
34. Sohi S., Lopez E., Krull E., Bol R. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report 05/09, Reino Unido, p 17-31. 2009.
35. Suárez C.L., Fernández R.J., Valero N.O., Gámez R.M., Páez A.R. Antagonismo in vitro de *Trichoderma harzianum* Rifai sobre *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., asociado a la marchitez en maracuyá. Revista Colombiana de Biotecnología. 10 (2): 35-43. 2008.
36. Taiz L., Zeiger E. Fisiología vegetal. Artmed, Porto Alegre. 954 p. 2015.
37. Tamayo P.J., Giraldo B., Morales J.G. 1999. Enfermedades en semilleros y almácigos de granadilla. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 52 (2): 773-779.
38. Tobe K., Zhang L., Omasa K. Alleviatory effects of calcium on the toxicity of sodium, potassium and magnesium chlorides to seed germination in three non-halophytes. Seed Science Research. 13 (1): 47-54. 2003.
39. Tovar J.C. Evaluación de la capacidad antagonista "in vivo" de aislamientos de *Trichoderma* spp frente al hongo fitopatógeno *Rhizoctonia solani*, Microbiólogo Agrícola y Veterinario. Facultad de Ciencias, Facultad de Ciencias, Bogotá, DC. 76 p. 2008.
40. Verheijen F., Jeffery S., Bastos A., van der Velde M., Dias I. Biochar Application to Soils, a Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 166 p. 2010.