



Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrida* (Sapote)

Biochar based on residual biomasses and its influence over seedling emergence and growth in vivarium of *Capparis scabrida* (Sapote)

Eber L. Herrera¹; Cesar Y. Feijoo¹; Rubén Alfaro²; José L. Solís³; Mónica M. Gómez³; Riitta L. Keiski⁴; Gerardo J. F. Cruz^{1,*}

¹ Departamento Académico de Ingeniería Forestal y Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tumbes, Av. Universitaria s/n – Pampa Grande – Tumbes.

² Departamento Académico de Biología y Bioquímica, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Tumbes, Av. Universitaria s/n – Pampa Grande – Tumbes.

³ Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú

⁴ Environmental and Chemical Engineering, Universidad de Oulu, P.O.Box 4300, FI-90014 University of Oulu, Finland.

Received September 11, 2018. Accepted December 3, 2018.

Resumen

Se produjeron biocarbones a partir de tres tipos de biomasa residual: coronta de maíz, cáscara de café y exoesqueleto de langostino, para estudiar la influencia de diferentes dosis de los mismos en la germinación y crecimiento en vivero de semillas de la especie forestal *Capparis scabrida* (Sapote). Se realizó una exhaustiva caracterización de los biocarbones obtenidos en base a sus propiedades texturales, morfológicas, estructurales y química superficial. Semillas viables de sapote fueron colocadas en sustratos con dosis de 0, 15 y 30 %wt de cada uno de los tres tipos de biocarbones obtenidos y se colocaron en bolsas de 2 kg en condiciones de vivero. Se evaluaron los parámetros de germinación: tiempo y % de germinación; y de crecimiento de las plántulas: crecimiento de raíz y tallo, engrosamiento de tallo, incremento de masa de raíz y parte aérea y la carga microbiana en la raíz. Se determinó que el tipo de biocarbón tuvo influencia solamente en el tiempo de germinación y la dosis de biocarbón tuvo influencia en el incremento de masa de parte aérea durante el crecimiento de las plántulas. El resto de parámetros evaluados no fueron afectados ni por el tipo ni por la dosis de biocarbón.

Palabras clave: biocarbón; especies forestales; germinación; peligro de extinción; vivero.

Abstract

Biochar samples were produced using three types of residual biomass: corncob, coffee husk and shrimp exoskeleton to measure their effect at different doses on germination and growth of seeds of the forest specie *Capparis scabrida* in vivarium conditions. A comprehensive characterization of produced biochar was carried out including textural, morphological, structural and surface chemical analyzes. Viable seeds of the forestry specie were placed on substrates with doses of 0, 15 and 30% of three types of biochar and placed in 2 kg bags in a vivarium. Finally, the germination and growth of *Capparis scabrida* in vivarium conditions were not influenced by the dose and type of biochar used. Germination parameter such as time and % of germination were evaluated; while to evaluated seedling growth, stem and root growth, stem thickening, root mass and aerial part increases and microbial load over the root were assessed. It was determined that the type of biochar had an influence only on the germination time and the biochar dose had an influence on the increase of aerial part mass during the growth of the seedlings. The rest of parameters evaluated not affected either by the type or by the biochar dose.

Keywords: biochar; forest species; germination; endangered extinction; vivarium.

1. Introducción

El Perú está experimentado en los últimos años un crecimiento importante en la actividad agroindustrial con el desarrollo

de cultivos como uva, mango, cacao, café, entre otros. Producto del procesamiento de las materias primas agroindustriales en los niveles primarios y secundarios se generan

* Corresponding author
E-mail: gacruz@untumbes.edu.pe (G. Cruz).

una serie de residuos que en las condiciones actuales de manejo se encuentran causando diversos impactos negativos sobre el ambiente (Cardoen et al., 2015). En primer lugar, debido a la mala disposición de estos residuos y a su naturaleza orgánica biodegradable se generan malos olores producto de la descomposición aeróbica o anaeróbica. Además, se generan gases de efecto invernadero y partículas producto de la quema de los mismos.

Hoy en día, a pesar de existir alternativas de aprovechamiento para estos residuos, solo una fracción de los mismos son reciclados para alimentación animal, producción de abonos orgánicos, el resto son dispuestos en botaderos autorizados o no autorizados o quemados para generación de energía en condiciones no controladas, produciendo los efectos mencionados. En la región Tumbes estos efectos son palpables, principalmente por el volumen de producción, en el caso de la cascarilla y paja de arroz, las cuales son quemadas a campo abierto con los efectos ya explicados, peor si se considera la cercanía de poblaciones.

Otra de las actividades generadoras de biomasa residual en cantidades importantes sobre todo en la región Tumbes es la actividad hidrobiológica. Solo una fracción de estos residuos es aprovechada estacionalmente como insumo para elaborar harina para alimentación animal (una fracción de las cabezas). El resto de los residuos son dispuestos de manera inadecuada en botaderos informales, que originan diversos impactos ambientales tales como contaminación de suelos producto de proceso de lixiviación e infiltración, así como la contaminación atmosférica debido a gases de descomposición y malos olores que generan malestar en las poblaciones circundantes y se convierten en un foco generador de vectores.

Una de las alternativas para el reciclaje de estos materiales es su potencial utilización para la elaboración de biocarbón, un material de moderada área superficial que tiene múltiples aplicaciones en los campos de la agricultura, la generación de energía y más recientemente en el área ambiental (Sohi et al., 2010). En agricultura estos materiales se han utilizado básicamente para mejorar la calidad de los suelos (esto es aumentar la retención de agua, nutrientes y mejorar la textura del mismo) permitiendo el incremento del rendimiento de cultivos a nivel comercial (Sun y Lu, 2014; Kammann et al., 2015; Hafeez et al., 2017; Liopa-Tsakalidi y Barouchas, 2017).

Dentro de los tipos de bosque que existen en la región Tumbes existen algunas especies forestales que se encuentran categorizadas como especies en peligro crítico de acuerdo al decreto supremo N° 043-2006-AG, que establece una categorización de especies de flora silvestre amenazadas. Una de las especies categorizada en peligro crítico es *Capparis scabrida* la cual es una especie representativa de los bosques de la región. Es evidente y será importante que se establezcan medidas y se realicen estudios para mejorar la producción de plántulas de esta especie, de tal manera que se pueda recuperar la población de esta especie en los bosques de Tumbes, que, de acuerdo a la clasificación, se encuentran en peligro crítico. Por lo que se obtuvo biocarbón a partir de biomasa residual: coronta de maíz, cáscara de cacao o cáscara de café y se ha estudiado la influencia de sustratos que contienen el biocarbón producido en la germinación y calidad de plántulas de la especie forestal en peligro crítico *Capparis scabrida*.

2. Materiales y métodos

2.1. Obtención y caracterización del biocarbón

Las materias primas utilizadas fueron coronta de maíz (CC), cáscara de café (CH) y exoesqueleto de langostino (SH). Para la recolección de las mismas se identificaron las áreas de mayor producción dentro de las regiones de Piura y Tumbes, y se realizó un muestreo dirigido, recolectando submuestras de 4 áreas distintas para completar una muestra compuesta de 50 kg.

La biomasa residual se acondicionó mediante secado hasta tener un peso constante, seguido de una molienda y tamizado hasta alcanzar un tamaño de partícula menor de 0,5 mm. El material fue colocado en una bandeja de acero inoxidable para ser carbonizado en un horno en atmósfera de N_2 (250 ml/min) a una temperatura de 600 °C durante 2 h. Los biocarbones obtenidos fueron molidos y tamizados hasta alcanzar un tamaño de partícula menor de 0,25 mm, y fueron codificados como CC-B, CH-B y SH-B según la materia prima usada que fue coronta de maíz, cáscara de café y exoesqueleto de langostino, respectivamente.

Se determinaron las características texturales, morfológicas y fisicoquímicas de los biocarbones. Las características texturales se obtuvieron mediante medidas de fisorción de N_2 a la temperatura de nitrógeno líquido (-195 °C) utilizando el

equipo Micromeritics GEMINI VII. Previo a los experimentos de adsorción-desorción, las muestras fueron degasificadas con He a 250 °C durante 2 h. Para el análisis se utilizaron los modelos BET para la determinación del área superficial específica (m^2/g) y t -plot para el volumen de microporos (cm^3/g) y el área mesoporosa (m^2/g) a partir de las isothermas de adsorción con nitrógeno utilizando un analizador de área superficial. El volumen total de poros (cm^3/g) se determinó a partir del valor de adsorción de nitrógeno correspondiente a la presión relativa cercana a 1 de la curva de adsorción de la isoterma. Las características morfológicas a partir de imágenes de microscopía electrónica de alta resolución (Zeiss Ultra plus) y el contenido elemental superficial mediante un analizador espectroscópico de energía dispersiva de rayos X.

Adicionalmente, se obtuvieron los espectros infrarrojos (FTIR Shimadzu Prestige 21), espectros Raman (Horiba Yvon modelo XploRA) y los difractogramas de rayos X (Bruker modelo D8 Advance) de las muestras de biocarbón.

La humedad de las muestras se obtuvo mediante el método de la estufa a una temperatura de 100 °C y la cantidad de cenizas se determinó en una mufla a 600 °C.

2.2. Preparación de sustrato y siembra de semillas forestales

Para la obtención de semillas de la especie *Capparis scabrida*, se obtuvieron frutos secos del suelo con las siguientes características: color verde parduzco, forma de baya ovoide, de 5-10 cm de largo, de 4-8 cm de diámetro, y superficie cética de textura áspera por la presencia de abundantes pilosidades estrelladas.

La extracción de las semillas se realizó mediante el método de trillado, que consiste en presionar los frutos con ayuda de una pinza mecánica, evitando causar daño sobre las semillas. A continuación, se realizó un tamizado para separar las semillas de las impurezas provenientes del fruto. Las semillas se desinfectaron con el fungicida Vitavax en solución a razón de 0,1% como tratamiento previo a la siembra, luego se lavaron con abundante agua destilada. Se realizó la escarificación aplicando el tratamiento del remojo en agua fría durante 24 h.

Se realizaron pruebas de viabilidad tomando lotes de 10 semillas con cuatro repeticiones, utilizando el ensayo bioquímico de la solución de 2, 3, 5 cloruro de tetrazolio al 1% (Florentine et al., 2016). Esta prueba

permite conocer la actividad celular a través de una tinción de color rojo, por la reducción de esta sal incolora. Para este ensayo se cortaron las semillas longitudinalmente con la ayuda de un bisturí, dejando descubierto el embrión y cotiledones. Seguidamente las semillas fueron sumergidas en la solución de cloruro de tetrazolio depositadas en placas Petri, las cuales fueron cubiertas totalmente con papel plateado y finalmente colocadas en la estufa a 30 °C durante 4 h. Producto de esta prueba se consideraron como semillas viables cuando se tiñeron de color rojo vivo el embrión y los cotiledones, semillas parcialmente viables cuando presentaron el embrión o cotiledones teñidos de color rosado y semillas no viables cuando el embrión y cotiledones no se tiñeron.

Los sustratos fueron elaborados a base de arena de río desinfectada mediante insolación, al que se le añadió uno de los tres tipos de biocarbón, con dosis del mismo de 0%wt, 15%wt y 30%wt y dos repeticiones por cada uno de los tratamientos. A continuación, se llenaron en bolsas de almacigo, identificadas con un código por tipo de biomasa residual y composición porcentual de biocarbón, ver detalle en la [Tabla 1](#).

Las semillas fueron sembradas directamente en bolsas de almacigo conteniendo 200 g de sustrato previamente preparado. Se colocaron dos semillas por bolsa, haciendo un total de 10 bolsas por cada sustrato, las cuales permanecieron en condiciones ambientales, instaladas en el vivero forestal de la Universidad Nacional de Tumbes.

Tabla 1
Descripción de los tratamientos utilizados en el presente estudio

Código de muestra	Tipo de biocarbón	Cantidad en el sustrato
T1		0%
T2	Coronta de maíz (CC-B)	15%
T3		30%
T4		0%
T5	Cáscara de café (CH-B)	15%
T6		30%
T7		0%
T8	Exoesqueleto de langostino (SH-B)	15%
T9		30%

2.3. Características evaluadas de la germinación y el desarrollo de plántulas

Los parámetros medidos para evaluar la germinación de las semillas de la especie *Capparis scabrida* fueron el número de días hasta inicio de la germinación y el porcentaje de germinación. El número de días hasta el inicio de la germinación fue determinado mediante la observación y conteo, a partir de la primera semilla germinada hasta antes de 23 días de

instaladas en las bolsas de almacigo. Se considera la germinación de una semilla, cuando la emergencia de la radícula alcanzó 2 mm de longitud. Estos valores en promedio son los que se han comparado para ver la diferencia entre los tratamientos aplicados.

Luego de 98 días de la siembra de las semillas se extrajeron las plántulas desarrolladas. A estas plántulas se les determinó longitud de raíz (cm) y tallo (cm), diámetro de tallo (mm), masa de raíz (g), masa de la parte aérea (g) y masa seca de la parte aérea (g). Para la medición de las longitudes y diámetro de tallo se utilizó un pie de rey, mientras que para las masas una balanza analítica (Sartorius Quintix). La masa seca de la parte aérea fue determinada después de ser secada a 60 °C en una estufa (Memmert SN55) hasta alcanzar un peso constante.

Debido a que las plántulas que germinaron tenían diferentes tiempos de desarrollo se han normalizado los valores obtenidos de los parámetros de crecimiento dividiéndolo entre el número de días que pasaron desde la germinación hasta la extracción de las plantas de las bolsas, obteniéndose valores independientes del tiempo en cm/día, mm/día y g/día. Estos valores en promedio son los que se han comparado para ver la diferencia entre los tratamientos aplicados. Adicionalmente, la carga microbiana de la rizósfera de las plántulas emergidas fue determinada. Para ello se utilizaron los métodos clásicos de crecimiento microbiano en placas utilizando medios de cultivos selectivos para determinar heterótrofos totales, mohos y actinomicetos (UFC/g).

Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar donde los tratamientos fueron los tipos de biocarbón aplicado y 3 bloques que correspondieron al porcentaje de biocarbón utilizado. Al haber diferencia significativa se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey al 1%.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización de los biocarbones

En cuanto a la forma de la isoterma de adsorción de nitrógeno (Fig. 1a), los biocarbones CC-B y CH-B muestran una forma de Isoterma tipo I de acuerdo a la IUPAC (Thommes et al., 2015), característico de materiales que son predominantemente microporosos con la presencia de histeresis que sugiere también la presencia de mesoporos. El biocarbón SH-B muestra una estructura netamente mesoporosa sin la presencia, al menos significativa de microporos. La distribución de tamaños (Fig. 1b) de mesoporos revela que las

muestras CC-B y CH-B tienen un significativo número mayor de poros entre 2 y 5 nm, rango de tamaño cercano a la región microporosa, mientras que la muestra SH-B tiene poros de 7 nm. En la Tabla 2 se muestran las características texturales derivadas de las isotermas de adsorción, mostrando que las muestras CC-B y CH-B son las que tienen mayores áreas superficiales específicas de 569 y 328 m²/g respectivamente, mientras que la muestra SH-B apenas tiene un área superficial específica de 81 m²/g. Respecto al área superficial mesoporosa y al volumen de microporos, la Tabla 2 también indica que las muestras CC-B y CH-B tienen mayor superficie mesoporosa y volumen de poros en la región microporosa que la muestra SH-B. Evidentemente las muestras CC-B y CH-B presentan un buen desarrollo de estructura micro-mesoporosa a diferencia de la muestra SH-B que no contiene la misma.

Tabla 2

Características texturales y proximal y elemental superficial de las muestras de biocarbón

Muestra	CC-B	CH-B	SH-B
Propiedades texturales			
S _{BET} (m ² /g)	569	328	81
S _{meso} (m ² /g)	134	155	56
V _{micro} (cm ³ /g)	0,18	0,08	0,01
Análisis proximal (%wt)			
Cenizas	1,5	3,1	62,4
Humedad	95,5	96,9	97,9
Contenido elemental superficial (%wt)			
C	79,34	87,57	78,04
O	16,31	7,69	17,09
Na	—	—	0,78
K	2,60	0,66	0,91
Ca	1,62	2,77	1,33
Mg	—	0,39	0,48
Si	0,14	0,25	—
Al	—	0,21	—
S	—	0,16	0,65
P	—	0,31	0,74

Los espectros infrarrojos (FTIR) (Figura 1c) de las muestras CC-B y CH-B son similares, sin embargo, la muestra SH-B muestra un espectro distinto al de las dos muestras antes mencionadas. Los picos presentados por la muestra SH-B son más intensos que los mostrados por las otras dos muestras estudiadas correspondiendo más a materia prima sin carbonizar que a un material carbonizado. Ambas muestras CC-B y CH-B muestran picos alrededor de 2100 cm⁻¹ que corresponden a vibraciones C≡C de grupos alquinos (Alhamed y Bamufleh, 2009); la banda cercana a 1550 cm⁻¹ correspondería a vibraciones C=C de compuestos aromáticos (Sahu et al., 2010), C=O en la estructura de la quinona (Tsai et al., 2001) y/o grupo carboxilato (Oliveira et al., 2009). Los picos sobre los 1020 cm⁻¹ sugieren la presencia de C-O (estrechamiento) que probablemente pertenezcan a grupos funcionales alcohol, éter o éster.

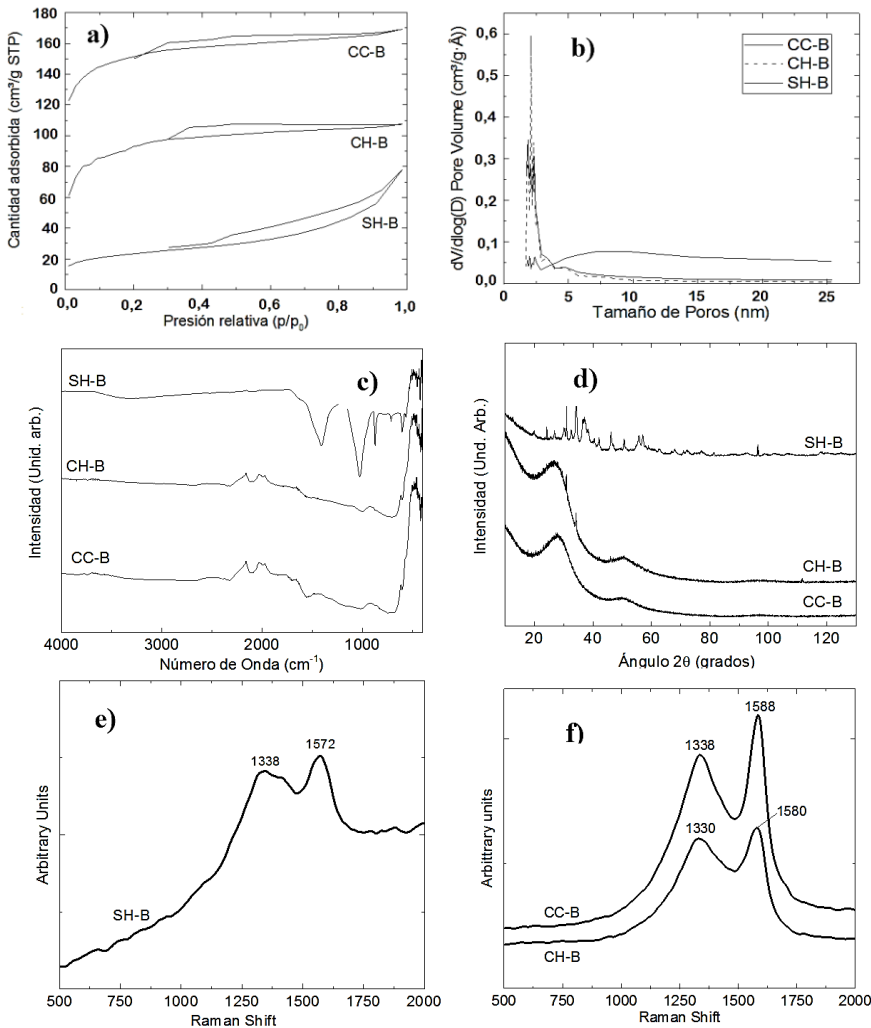


Figura 1. a) Isotermas de adsorción de nitrógeno (77 K); b) distribución de tamaños de mesoporos (poros de entre 2 y 50 nm); c) Espectro IR; d) difractograma de rayos X; e) y f) espectro Raman de las muestras de biocarbón.

El pico ancho alrededor de 600 cm^{-1} correspondería a la presencia de grupos O-H. Estos son picos propios de materiales carbonizados como carbón activado o biocarbón.

Los diagramas de difracción de rayos X (XRD) (Figura 1d) para las muestras CC-B y CH-B presentan dos picos anchos alrededor de 24° y 50° , los cuales estarían asignados a los planos (002) y (100) del grafito desordenado (Acharya et al., 2009) y que son comunes en este tipo de estructuras carbonizadas. La muestra SH-B no muestra estos dos picos, indicando la no presencia de grafito desordenado, además por el contrario muestra diferentes picos provenientes de las estructuras de la materia prima parcialmente carbonizada. El espectro Raman de los biocarbones muestra la presencia de las bandas D y G centradas en 1338 y 1588 cm^{-1} para la muestra CC-B y en 1330 y 1580 cm^{-1} para la

muestra CH-B. Este espectro es común para materiales carbonizados (Chu y Li, 2006), la banda D corresponde a la banda relacionada con el desorden de la estructura gráfica, mientras que la banda G corresponde a la ordenada del material, donde se presentan básicamente enlaces simples C-C. Para el caso de las muestras SH-B estas dos bandas son apenas imperceptibles, su intensidad es muy baja comparada con las otras dos muestras. En las imágenes de microscopía electrónica de barrido de la Figura 2 se puede apreciar para la muestra CC-B (Figura 2a,b) que poros de forma irregular que se encuentran entre el rango de $0,5\text{ }\mu\text{m}$ hasta $15\text{ }\mu\text{m}$ aproximadamente, mientras que para la muestra CH-B no se aprecian una cantidad significativa de poros, pero los pocos poros presentes tiene formas ovoides y presentan tamaños en un rango inferior que para la muestra anterior.

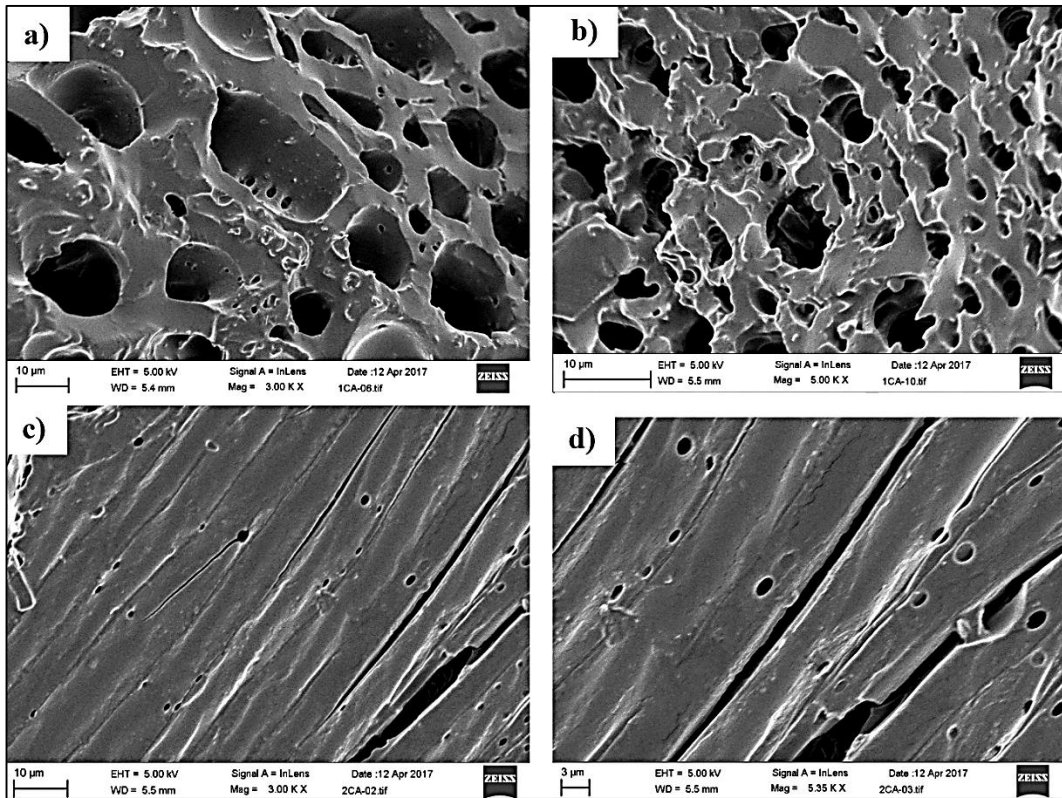


Figura 2. Imágenes de microscopía electrónica de las muestras de carbón CC-B (a,b) y CH-B (c,d).

La muestra SH-B no fue posible enfocar en el microscopio debido a la presencia de material orgánico en la superficie del biocarbón perteneciente a la materia prima que no son conductoras o no son estable al haz de electrones incidentes y causan brillo, las imágenes son indistinguibles.

Los biocarbones mostraron altos contenidos de humedad entre 95,5 y 97,9 % (Tabla 1). A pesar del secado al que fueron sometidos al final del proceso de producción, los biocarbones adsorbieron rápidamente agua, suponiendo una alta higroscopia y la posibilidad de retener agua.

La muestra SH-B mostró un alto contenido de cenizas de 62,4%, conteniendo una significativa cantidad de minerales. A diferencia de la muestra CC-B y CH-B que apenas alcanzaron 1,5 y 3,1% respectivamente.

Los resultados de EDS de las muestras (Tabla 2) permiten inferir que en el contenido de elementos en las zonas superficiales de las muestras predomina el carbono y oxígeno, siendo el carbono el elemento más abundante en este tipo de compuestos carbonizados como el biocarbón. Adicionalmente, las muestras contenían elementos como Na, K, Ca, Mg, Si, Al, S, P. Sin embargo, la muestra SH-B

mostró mayor cantidad de elementos como Mg, S y P.

3.2. Experimentos con la especie forestal

En la Tabla 3 aparecen los valores promedio del número de días al inicio de la germinación y el porcentaje de germinación de la especie estudiada. El promedio del número de días hasta la germinación depende de los tratamientos ensayados, siendo las semillas germinadas en sustratos que contenían biocarbón de coronta de maíz (CC-B) las que tardaron un mayor tiempo para iniciar la germinaron, mientras que las semillas sembradas en sustratos con los biocarbones de cascara de café (CH-B) y exoesqueleto de langostino (SH-B) lograron iniciar la germinación en menor tiempo, siendo estas dos últimas estadísticamente iguales. A pesar de que la muestra de biocarbón CC-B presenta propiedades texturales superiores a las muestras CH-B y SH-B, son estas dos últimas muestras las que contienen minerales esenciales como Magnesio (Mg), Azufre (S) y Fosforo (P), y la muestra CH-B presenta todos los minerales que contienen las muestras anteriores más Aluminio (Al) (Tabla 2). Al ser el biocarbón un material pobre en nutrientes, si se compara con un fertilizante o abono, la mayor área super-

ficial del mismo podría tener un efecto negativo sobre la disponibilidad de los nutrientes. Es así que la mayor área superficial específica de la muestra CC-B y una mayor disponibilidad de sitios activos de adsorción de nutrientes, en conjunto con la falta de nutrientes como Al, Mg, S y P serían las causas para que las semillas sometidas a este biocarbón presenten el mayor tiempo de inicio de la germinación. En cuanto al promedio de germinación (%) no se apreció diferencia significativa en cuanto al tipo de biocarbón, ni respecto de la dosis del mismo. La presencia de biocarbón no tendría efecto sobre el promedio de germinación de la especie forestal estudiada.

Los resultados de los parámetros de crecimiento de las plántulas de la especie estudiada se muestran en la [Tabla 4](#). Solo en el parámetro incremento de masa de la

parte aérea se logró determinar diferencia significativa respecto de la dosis de carbón, encontrándose que el tratamiento con una dosis de 15% de carbón fue mejor que el testigo y que los tratamientos que contenían 30% de carbón. Esto está en concordancia con el hecho de que cantidades excesivas de biocarbón podrían tener un efecto tóxico sobre el crecimiento de las plántulas. [Buss y Masek \(2014\)](#) encontraron que los compuestos recondensados producidos durante la pirólisis del biocarbón tiene un efecto fitotóxico, por ende, a mayor cantidad de biocarbón mayor es la probabilidad de que el biocarbón ejerza un efecto fitotóxico. El efecto negativo de dosis excesivas de biocarbón sobre el crecimiento de diferentes especies vegetales también ha sido reportado por otros autores ([Solaiman et al., 2011](#); [Li et al., 2015](#)).

Tabla 3
Resultados de parámetros de germinación de semillas de sapote con aplicación de biocarbón

Tratamiento	Descripción	N° de Repetición	Días hasta la germinación	Germinación (%)	Promedio de días hasta la germinación	Promedio de Germinación (%)
T1	CC-B, 0%	1	30	25	39 ^a	50
		2	48	75		
T2	CC-B, 15%	1	41	25	41 ^a	25
		2	41	25		
T3	CC-B, 30%	1	NG (*)	0	48 ^a	25
		2	48	25		
T4	CH-B, 0%	1	30	25	30 ^b	25
		2	30	25		
T5	CH-B, 15%	1	30	25	35,5 ^b	25
		2	41	25		
T6	CH-B, 30%	1	NG	0	41 ^b	25
		2	41	25		
T7	SH-B, 0%	1	30	25	30 ^b	25
		2	30	25		
T8	SH-B, 15%	1	34	25	32 ^b	25
		2	30	25		
T9	SH-B, 30%	1	NG	0	34 ^b	50
		2	34	50		

(*) No germinaron

Tabla 4
Resultados de parámetros de desarrollo de plántulas de sapote con aplicación de biocarbón

Muestra	Descripción	Días hasta la cosecha	Dimensiones de planta			Masa de raíz (g)	Masa parte aérea (g)	Masa seca parte aérea (g)	Promedio crecimiento raíz (cm/día)	Promedio de crecimiento de tallo (cm/día)	Promedio engrosamiento tallo (mm/día)	Incremento de masa de raíz (g/día)	Incremento de masa parte aérea (g/día)	Incremento de masa seca parte aérea (g/día)
			Raíz (cm)	Tallo (cm)	Diámetro de Tallo (mm)									
T1	CC-B, 0%	68	23,0	4,0	3,1	0,18	0,23	0,06	0,20	0,08	0,04	0,004	0,006 ^b	0,002
		50	3,4	4,8	2,1	0,32	0,44	0,17						
T2	CC-B, 15%	57	12,9	4,6	2,0	0,34	0,48	0,18	0,23	0,07	0,04	0,005	0,010 ^a	0,004
		57	13,0	3,9	3,0	0,28	0,69	0,24						
T3	CC-B, 30%	NG(*)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Al(**)	X	X	X	X	X	X						
T4	CH-B, 0%	68	14,0	4,3	3,0	0,28	0,66	0,28	0,21	0,06	0,04	0,005	0,010 ^b	0,004
		68	15,0	3,8	3,0	0,41	0,69	0,25						
T5	CH-B, 15%	68	12,5	5,0	3,0	0,35	0,57	0,22	0,22	0,07	0,05	0,008	0,009 ^a	0,003
		57	15,0	4,0	3,0	0,61	0,57	0,20						
T6	CH-B, 30%	NG	X	X	X	X	X	X	0,21	0,06	0,04	0,004	0,003 ^c	0,001
		57	12,0	3,7	2,2	0,22	0,17	0,07						
T7	SH-B, 0%	68	11,4	3,1	2,0	0,33	0,82	0,34	0,19	0,06	0,04	0,005	0,008 ^b	0,003
		68	14,0	4,5	3,0	0,34	0,29	0,11						
T8	SH-B, 15%	64	16,0	4,0	3,0	0,35	0,56	0,22	0,22	0,06	0,04	0,005	0,011 ^a	0,004
		68	13,0	3,5	2,4	0,36	0,93	0,35						
T9	SH-B, 30%	NG	X	X	X	X	X	X	0,27	0,06	0,03	0,005	0,003 ^c	0,001
		64	17,0	4,0	2,2	0,30	0,19	0,07						

(*) No germinaron; (**) Ataque de insectos.

En el resto de parámetros promedio de crecimiento del tallo, promedio de engrosamiento de tallo, el promedio de crecimiento de raíz, incremento de masa de raíz e incremento de masa seca de la parte aérea no ha habido un efecto significativo de la cantidad o tipo de biocarbón utilizado. Resultados parecido a los encontrados por Dharmakeerthi et al. (2012), quienes realizaron una investigación donde aplicaron biocarbón hasta 2 % solo y acompañado de un fertilizante basado en N y Mg y llegaron a la conclusión de que el uso de biocarbón solo no tenía efecto alguno en los parámetros de crecimiento de *Hevea brasiliensis*, sin embargo fue esencial la adición del fertilizante en conjunto con el fertilizante para mejorar el crecimiento, incluso comparado con el uso del fertilizante solo. Parece ser que si bien es cierto el biocarbón aporta algunos nutrientes al suelo, estos no serían suficientes o no estarían disponibles para ser usados por las plantas, sin embargo, al combinarse con alguna fuente de nutrientes ejercen un efecto sinérgico en el crecimiento. A pesar de ello la aplicación conjunta de biocarbón con fertilizantes ha sido calificada como no realista (McElligott, 2011), pero a nivel de vivero podría ser aplicable.

Tabla 5
Carga microbiana de la rizósfera de plántulas germinadas de Sapote en los diversos tratamientos

Muestra	Heterótrofos totales (UFC/g)	Mohos (UFC/g)	Actinomicetos (UFC/g)
T1 CC-B, 0%	0,3x10 ⁵	4,0x10 ⁵	3,0x10 ⁵
T2 CC-B, 15%	0,4x10 ⁵	2,7x10 ⁵	0,5x10 ⁵
T3 CC-B, 30%	1,40x10 ⁵	1,00x10 ⁵	9,00x10 ⁴
T4 CH-B, 0%	2,0x10 ⁵	1,4x10 ⁵	1,4x10 ⁵
T5 CH-B, 15%	1,4x10 ⁵	0,1x10 ⁵	0,7x10 ⁵
T6 CH-B, 30%	3,7x10 ⁵	0,6x10 ⁵	0,9x10 ⁵
T7 SH-B, 0%	0,3x10 ⁵	7,2x10 ⁵	4,0x10 ⁵
T8 SH-B, 15%	0,9x10 ⁵	0,2x10 ⁵	0,5x10 ⁵
T9 SH-B, 30%	0,1x10 ⁵	0,1x10 ⁵	0,4x10 ⁵

En cuanto al crecimiento bacteriano en la rizósfera de las plántulas que crecieron en los diversos tratamientos, no se determinó una influencia estadísticamente significativa ni del tipo en función de la materia prima utilizada ni de la dosis de biocarbón sobre el recuento de heterótrofos totales, mohos y actinomicetos. Sin embargo, si se hace un análisis de los resultados de mohos y actinomicetos, microorganismos más representativos de la rizósfera se puede notar que para los biocarbones derivados de las tres materias primas las concentraciones de los mismos disminuyen al aumentar la dosis del mismo. Esto estaría en concordancia con lo encontrado por Gul et al. (2015), quienes mencionan que los carbones elaborados a altas tempera-

turas (≥ 600 °C) tienden a reducir la agregación en suelos de textura grueso (como los sustratos arenosos utilizados en el presente estudio) y además la alta área superficial retiene la baja cantidad de nutrientes que aportan los biocarbones, derivando en la reducción de la abundancia de microorganismos.

Esto tampoco contradice lo mencionado por Gluszek et al. (2017) que postula que el efecto de las propiedades físico químicas del biocarbón pueden tener un efecto negativo o positivo sobre los microorganismos presentes en la rizósfera. Sin embargo, el mismo autor (Helliwell, 2016) plantea que los efectos del uso de biocarbón a largo plazo siempre son positivos para los organismos de la rizósfera.

4. Conclusiones

Se produjo biocarbón a partir de tres distintas materias primas coronta de maíz, cascara de café o exoesqueleto de langostino con propiedades texturales variables tales como áreas superficiales específicas entre 81 a 569 m²/g. Los biocarbones derivados de coronta de maíz y café mostraron una estructura micro-mesoporosa, mientras que el derivado de exoesqueleto de langostino mostró una estructura predominantemente mesoporosa. Los análisis de FTIR, RAMAN y XRD muestran que las muestras derivadas de coronta de maíz y cascara de café han sido carbonizadas y tiene una estructura y grupos funcionales clásicos de adsorbentes como biocarbón y carbón activado, a diferencia de la muestra derivada de exoesqueleto de langostino que no tiene esas características.

El tipo de biocarbón (según tipo de materia prima) tuvo influencia solo en el tiempo de germinación y la dosis de biocarbón tuvo influencia en el incremento de masa de parte aérea durante el crecimiento de las plántulas de la especie *Capparis scabrida* (Sapote). El resto de parámetros evaluados no fueron afectados ni por el tipo ni por la dosis de biocarbón.

Se recomienda se utilicen bajas dosis de biocarbón derivado de biomasa residual en la germinación y crecimiento de especies forestales para evitar los efectos tóxicos del mismo y a su vez su combinación con alguna fuente de nutrientes para aprovechar de la mejor manera los efectos positivos del uso de estos materiales adsorbentes.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Tumbes por el financiamiento a través de recursos ordinarios (Resolución N°0262-20167UNTUMBES-R-I). Al

Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria de la UPAO –Trujillo por el apoyo con los análisis de EDS. Al CONCYTEC (Contrato N° 024-2016) por el apoyo en la realización de análisis de caracterización de biocarbones.

Referencias bibliográficas

- Acharya, J.; Sahu, J.N.; Mohanty, C.R.; Meikap, B.C. 2009. Removal of lead(II) from wastewater by activated carbon developed from Tamarind wood by zinc chloride activation. *Chemical Engineering Journal* 149(1-3): 249-262.
- Alhamed, Y.A.; Bamufleh, H.B. 2009. Sulfur removal from model diesel fuel using granular activated carbon from dates' stones activated by ZnCl₂. *Fuel* 88(1): 87-94.
- Buss, W.; Masek, O. 2014. Mobile organic compounds in biochar - a potential source of contamination - phytotoxic effects on cress seed (*Lepidium sativum*) germination. *J Environmental Management* 137: 111-119.
- Cardoen, D.; Joshi, P.; Diels, L.; Sarma, P.M.; Pant, D. 2015. Agriculture biomass in India: Part 2. Post-harvest losses, cost and environmental impacts. *Resources, Conservation and Recycling* 101: 143-153.
- Chu, P.K.; Li, L. 2006. Characterization of amorphous and nanocrystalline carbon films. *Materials Chemistry and Physics* 96(2-3): 253-277.
- Dharmakeerthi, R.S.; Chandrasiri, J.A.S.; Edirimanne, V.U. 2012. Effect of rubber wood biochar on nutrition and growth of nursery plants of *Hevea brasiliensis* established in an Ultisol. *SpringerPlus* 1(1): 84.
- Florentine, S.K.; Weller, S.; Graz, P.F.; Westbrooke, M.; Florentine, A.; Javaid, M.; Fernando, N.; Chauhan, B.S.; Dowling, K. 2016. Influence of selected environmental factors on seed germination and seedling survival of the arid zone invasive species tobacco bush (*Nicotiana glauca* R. Graham). *The Rangeland Journal* 38(4): 417.
- Gluszek, S.; Sas, L.P.; Sumorok, B.; Kozera, R. 2017. Biochar-Rhizosphere Interactions—a Review. *Polish journal of Microbiology* 66(2): 151-161.
- Gul, S.; Whalen, J.K.; Thomas, B.W.; Sachdeva, V.; Deng, H. 2015. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 206: 46-59.
- Hafeez, Y.; Iqbal, S.; Jabeen, K.; Shahzad, S.; Jahan, S.; Rasul, F. 2017. Effect of biochar application on seed germination and seedling growth of *Glycine max* (L.) Merr. Under drought stress. *Pakistan Journal of Botany* 49: 7-13.
- Helliwell, R. 2016. Effect of biochar on plant growth. *Arboricultural Journal* 37(4): 238-242.
- Kammann, C.I.; Schmidt, H.P.; Messerschmidt, M.; Linsel, S.; Steffens, D.; Muller, C.; Koyro, H.W.; Conte, P.; Joseph, S. 2015. Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Science Report* 5: 11080.
- Li, Y.; Shen, F.; Guo, H.; Wang, Z.; Yang, G.; Wang, L.; Zhang, Y.; Zeng, Y.; Deng, S. 2015. Phytotoxicity assessment on corn stover biochar, derived from fast pyrolysis, based on seed germination, early growth, and potential plant cell damage. *Environmental Science and Pollution Research* 22(12): 9534-43.
- Liopa-Tsakalidi, A.; Barouchas, P.E. 2017. Effects of biochar on pepperoncini (*Capsicum annuum* L. cv. Stavros) germination and seedling growth in two soil types. *Australian Journal of Crop Science* 11(03): 264-270.
- McElligott, K.M. 2011. Biochar amendments to forest soils: effects on soil properties and tree growth. Tesis de Maestría, Universidad de Idaho, Estados Unidos. 103 pp.
- Oliveira, L.C.; Pereira, E.; Guimaraes, I.R.; Vallone, A.; Pereira, M.; Mesquita, J.P.; Sapag, K. 2009. Preparation of activated carbons from coffee husks utilizing FeCl₃ and ZnCl₂ as activating agents. *Journal of Hazardous Materials* 165(1-3): 87-94.
- Sahu, J.N.; Acharya, J.; Meikap, B.C. 2010. Optimization of production conditions for activated carbons from Tamarind wood by zinc chloride using response surface methodology. *Bioresource Technology* 101(6): 1974-82.
- Sohi, S.P.; Krull, E.; Lopez-Capel, E.; Bol, R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. In *Advances in agronomy* 105: 47-82.
- Solaiman, Z.M.; Murphy, D.V.; Abbott, L.K. 2011. Biochars influence seed germination and early growth of seedlings. *Plant and Soil* 353(1-2): 273-287.
- Sun, F.; Lu, S. 2014. Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177(1): 26-33.
- Thommes, M.; Kaneko, K.; Neimark, A.V.; Olivier, J.P.; Rodriguez-Reinoso, F.; Rouquerol, J.; Sing, K.S.W. 2015. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry* 87(9-10): 1051-1069.
- Tsai, W.T.; Chang, C.Y.; Lin, M.C.; Chien, S.F.; Sun, H.F.; Hsieh, M.F. 2001. Adsorption of acid dye onto activated carbons prepared from agricultural waste bagasse by ZnCl₂ activation. *Chemosphere* 45(1): 51-58.