

Evaluación de las características físicas del biocarbón obtenido por el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de la UCAB

*María Isabel López*¹, *Beatriz Soledad*², *Heriberto Echezuría*³, *Johana Delgado*⁴
malopez@ucab.edu.ve¹, bsoledad@gmail.com², hechezuria51@gmail.com³, johanaedelgado@gmail.com⁴
Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela

Resumen

Para el presente estudio, en el marco de las Tecnologías Apropriadas, se analizó el proceso de obtención de biocarbón mediante la pirólisis de tallos de bambú. El análisis fue realizado por el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería (CIDI) de la Universidad Católica Andrés Bello, lo cual incluyó los ensayos de rendimiento, absorción y retención de agua, y conductividad hidráulica de dicho biocarbón; todo ello con el fin de estimar su utilidad como acondicionador de suelos con fines agrícolas. Fue necesario realizar las pirólisis bajo condiciones controladas con el fin de desarrollar un método que, en principio, fuese aplicable de forma autónoma por las comunidades vecinas a la institución, para que pudiesen obtener un biocarbón apropiado, ya que la visión del presente estudio es favorecer la productividad agrícola en dichas comunidades para promover mejoras sostenibles en sus condiciones de vida. Los resultados sugieren que la pirólisis produjo un rendimiento moderado (30- 40%), el biocarbón presentó una baja retención de agua y una conductividad hidráulica moderadamente alta, todo ello sin que la pirólisis generara una emisión significativa de gases de hidrocarburos complejos que generarían pérdidas de carbón y contaminación ambiental.

Palabras clave: Pirólisis, biocarbón, rendimiento, propiedades físicas del biocarbón, Tecnologías apropiadas.

Evaluation of biochar physics properties obtained by the UCAB Engineering Center of Research and Development

Abstract:

The process to obtain biochar from bamboo stems by means of pyrolysis was analyzed in the context of Appropriate Technologies. The analyses were conducted by the Engineering Center of Research and Development (CIDI) of the Universidad Católica Andrés Bello and included tests for biochar yielding, water absorption and retention, and hydraulic conductivity of biochar. All that aiming to evaluate biochar properties as a potential soil conditioner for agriculture. It was necessary to control the conditions under which pyrolysis was conducted in order to develop an applicable method that communities nearby the institution could apply independently. In that way, those communities would obtain a biochar according to the present study vision, i.e., to improve agricultural productivity in those communities to increase their sustainable living conditions. Results suggest good pyrolysis yielding without complex hydrocarbon generation which might decrease biochar generation and increase environmental pollution. Biochar production was moderate 30-40%, whereas water absorption and retention tended to be low but hydraulic conductivity was relatively high.

Keywords: Pyrolysis, Biochar, biocarbon, yielding, production, physical properties of biochar, appropriate technologies.

I. INTRODUCCIÓN

En el marco del Programa Reto País, desarrollado por el Secretariado de Investigación de la Universidad Católica Andrés Bello, el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería (CIDI) llevó a cabo un proyecto en el que estudió la obtención del biocarbón a partir de la pirólisis de tallos de bambú [1], para que sea utilizado como acondicionador de suelos para cultivos familiares o comunitarios.

Igualmente, el CIDI determinó el rendimiento y algunas características físicas del biocarbón obtenido [2] como la permeabilidad, la absorción y la retención de agua, para reconocer si, en efecto, podría favorecer la productividad agrícola y promover así mejoras sostenibles en las condiciones de vida de las comunidades beneficiarias.

Cabe agregar que el proyecto biocarbón – CIDI, antes mencionado, está inserto en el marco de las Tecnologías Apropriadas ya que los dispositivos y métodos utilizados “se basan en un diseño sostenible que cuida el medio ambiente con la reutilización de residuos y el ahorro de energía” [3] por lo que se ajustan al contexto social, cultural y económico de las comunidades potencialmente beneficiarias.

- *El biocarbón*

El biocarbón, conocido también como *Bio-charcoal* o simplemente *Biochar*, es un tipo de carbón muy estable, que no se quema, y que puede permanecer en el suelo por un largo tiempo, por lo que se actualmente se promueve como un recurso alternativo para el mejoramiento de los mismos [4]

Diversos estudios sobre el biocarbón revelan que (i) favorece el descenso de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, por lo que podría contribuir a mitigar el impacto del cambio climático (si bien este es un tema que sigue en discusión[5] y (ii) aumenta la productividad agrícola de los suelos, en particular aquellos que son pobres en nutrientes[6].

Cabe agregar que el biocarbón puede incrementar la fertilidad de los suelos debido a su alto contenido de materia orgánica carbonizada

que favorece la absorción de diversos nutrientes. De hecho, la pérdida de dichos nutrientes a causa de las lluvias, por efecto de la lixiviación, es baja.

En ese orden de ideas, la *Food and Agriculture Organization* (FAO) ha sugerido que el biocarbón podría servir de base para nuevos modelos de agricultura sostenible[7].

El Biochar se obtiene por medio de la descomposición térmica (pirólisis) de la biomasa de origen vegetal, realizada en ausencia o limitación de oxígeno para evitar la combustión que forma óxidos de carbono [8]. Durante la pirólisis, la materia orgánica sufre una serie de reacciones simultáneas y sucesivas que se producen cuando la biomasa, en un ambiente libre de oxígeno, se somete a temperaturas elevadas que pueden ir desde los 350°C hasta los 800°C, generando entre otros productos, biocarbón. [9] Este proceso estabiliza al carbono presente en la materia orgánica y lo transforma en un material más resistente a la descomposición química y biológica.[9]

La eficiencia de la descomposición térmica depende de una serie de factores complejos como la materia prima, la temperatura [10], la presión en el incinerador y la tecnología para la carbonización, entre otros; sin embargo, la pirólisis puede llevarse a cabo, de manera efectiva, en zanjas de barro, hornos de ladrillo, barriles y otros dispositivos sencillos y de bajo costo, con la condición que la conversión de la biomasa se produzca sin oxígeno presente. Dichos dispositivos se pueden catalogar como Tecnologías Apropriadas[11]

Moreno y Jacob, [12] expresaron que “a los pobres del mundo no se les puede ayudar con producción en masa sino con producción por las masas”, ya que, de esa manera se aprovechan las diversas habilidades que la población ha adquirido a lo largo de su vida. Por lo tanto, es necesario implementar tecnologías que puedan ser utilizadas de manera eficaz y con el menor riesgo posible por los habitantes en sus lugares de origen, así podrán fortalecer sus aprendizajes de manera permanente y mejorarán, a su vez, las tecnologías con las cuales interactúan. Dichas tecnologías, definidas como apropiadas,

MARÍA ISABEL LÓPEZ, BEATRIZ SOLEDAD, HERIBERTO ECHEZURÍA, JOHANA DELGADO

deben hacer el mejor uso posible de los conocimientos actualizados, deben poder aplicarse de forma distribuida, ser ecológicamente amigables y ayudar a las personas a superarse día a día.

En el presente estudio se utilizaron tallos de bambú ya que su explotación sustentable por parte de las comunidades, además de producir biocarbón, les permitiría tener insumos para favorecer sus estructuras de vivienda, desarrollar productos de artesanía y generar otros productos secundarios como (telas, vinagre, etc.); lo que permitiría plantear esquemas de comunidades sostenibles dentro de un marco general de innovación para el desarrollo social.

II. METODOLOGÍA

- *Materiales y Equipos*

Los materiales y equipos utilizados en este trabajo de investigación fueron tallos de bambú, tambor metálico de 210 litros con tapa, tubos para chimenea, cenicero metálico cilíndrico, termocuplas marca IKD, modelo RO- 305, termopares tipo K y con terminales de aleación Ni-Cr y Ni-Al, balanzas, horno Memmert dn400 50 y 20 y Permeámetro.

- *Obtención del biocarbón en el CIDI*

Como se ha explicado previamente, el biocarbón del Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería (CIDI) se obtuvo mediante la pirólisis de tallos de bambú (*Guadua angustifolia*). La selección del bambú para este proceso se debió a su alta tasa de crecimiento que varía entre 15 y 20 cm diarios e, inclusive, en algunas condiciones puede alcanzar valores aún mayores. Bajo el esquema de las Tecnologías Apropriadas, en el CIDI se decidió realizar la pirolisis en tambores metálicos que soportan altas temperaturas, y que requieren el uso de una tapa también resistente, e inerte, que permita la salida de gases de chimenea, ya que dichos tambores se han aplicado en diversos estudios y comunidades que han logrado niveles significativos de auto sustento, aprovechando sus propios desechos orgánicos con fines de la producción de biocarbón [13].

En este orden de ideas, el CIDI diseñó y desarrolló un quemador rudimentario, que puede ser replicable en las comunidades que se pretende beneficiar. Dicho quemador estuvo conformado por un tambor de metal y un cenicero metálico cilíndrico, ambos con tapa y chimenea. En el tambor metálico (recipiente externo) se colocó el material combustible para que reaccionara y se produjera la energía para la pirólisis; por ello, se realizaron perforaciones en la zona inferior que permitieran la entrada del oxígeno necesario para la combustión. A su vez, en el cenicero (recipiente interno) se colocaron los trozos de tallo de bambú para realizar la pirólisis, por lo que se evitó la entrada de oxígeno al mismo. Es importante considerar la diferencia de volumen entre el cenicero y el tambor, así como las perforaciones para ventilación en la parte inferior del tambor o recipiente externo.

En el tambor se ajustó tanto la colocación del combustible dentro del quemador, como la separación de la zona baja del quemador del piso, a fin de mantener un flujo de aire que garantizara el mejor quemado y una alta temperatura (>500°C). Este dispositivo se muestra en las Figuras 1 y 2.

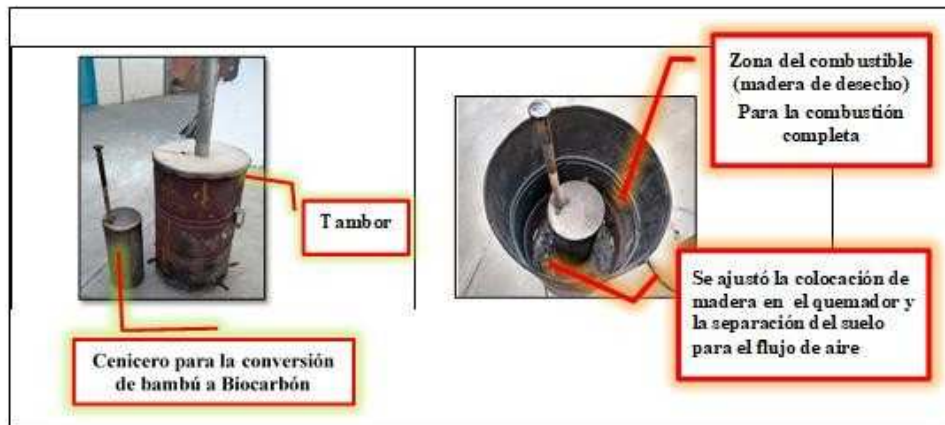


Figura 1: Diseño del quemador para efectuar la pirólisis



Figura 2: Conexiones de la termocupla en el quemador

Adicionalmente tanto el cenicero como el tambor disponían de conexiones para medir las temperaturas mediante las termocuplas antes mencionadas.

En el proceso se dan dos conversiones simultáneas, a saber: la pirólisis del bambú; proceso endotérmico que ocurre dentro del cenicero sin entrada de aire, y la combustión completa de la madera de desecho (no será aprovechada para biocarbón): Proceso exotérmico que se produce en el tambor con entrada de aire por las perforaciones en el nivel inferior del mismo, de ese modo el interior del tambor es el ambiente para el cenicero.

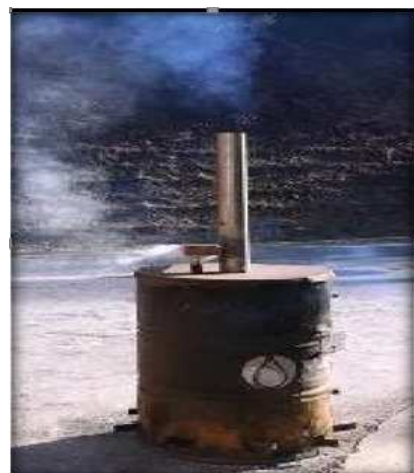


Figura 3. Pirólisis en proceso

Se realizaron las pirólisis con muestras de las diferentes secciones de bambú en un intervalo de temperaturas de 450 ° C a 700 ° C, la duración de cada pirólisis fue de aproximadamente 60 minutos, y se observó que la salida de humo en ambas chimeneas era continua y controlada (Figura 3).

Una vez culminado el proceso, el dispositivo, sin abrir, se mantuvo a la intemperie durante toda la noche para que alcanzara la temperatura ambiente, ya que si el sistema se abría a temperaturas superiores se podía generar una combustión indeseada, lo que ocasionaría pérdida de biocarbón, y es un claro riesgo de un accidente

1. Rendimiento en el biocarbón en el CIDI

Al concluir cada pirólisis, y tras haber alcanzado la temperatura ambiente, se procedió a abrir el dispositivo, recoger el biocarbón obtenido (figura 4) para determinar la masa de biocarbón formado y, con los datos conseguidos, calcular el rendimiento, entendido con la relación entre los Kg. de biocarbón obtenido entre los Kg. de Bambú en la pirólisis.



Figura 4. Biocarbón del CIDI

- *Propiedades físicas del biocarbón*

El biocarbón es un sólido de grano fino que posee una alta porosidad, los poros de mayor tamaño dependen de la materia prima y los de menor tamaño son generados por la pirólisis.

[14]

Este aspecto es muy importante ya que, debido a dicha porosidad, la presencia de biocarbón incrementa la capacidad de retención de agua del suelo, y con ello aumenta su contenido de humedad, lo que influye, al menos, en un

descenso de los costos de riego.[15]

Asimismo, de acuerdo con Ibañez [16] “el Biochar producido a mayores temperaturas posee mejores propiedades con vistas a retener agua y nutrientes que los que fueron fabricados a temperaturas inferiores”, y en este sentido se estima que “la capacidad de adsorción más alta de biocarbón se logra dentro de la gama de temperaturas de 450 ° C a 700 ° C”

[17], intervalo que coincide con las temperaturas de las pirólisis realizadas en el CIDI.

Es por eso que el biocarbón preparado con las especificaciones dadas por el CIDI, como tecnología apropiada, tendrá un alto contenido de micro poros.

En ese orden de ideas, se conoce que una muestra de biocarbón saturado almacena una gran cantidad de agua que puede salir de la estructura sólida para estar disponible, por ejemplo, para la agricultura.

Por lo antes expuesto, se consideró necesario realizar los ensayos para determinar la absorción y retención de agua, así como la permeabilidad del biocarbón producido en el CIDI.

A. *Determinación de la absorción y retención de agua del biocarbón del CIDI*

Para este ensayo se toma una muestra de biocarbón saturado en agua y se somete a un calentamiento en un horno que trabaja en ausencia de oxígeno, para evitar la reacción de combustión, luego se toman medidas de masa total vs. tiempo hasta alcanzar peso constante.

En el presente trabajo se utilizó un procedimiento recomendado por García [18] para saturación de ladrillos de construcción, el cual se describe a continuación:

- Se midió la masa inicial del biocarbón seco.
- Se colocó agua en una olla de presión abierta, hasta aproximadamente la mitad de su volumen de dicho recipiente, y sometió a calentamiento.

- Cuando la temperatura comenzó a subir se introdujo el biocarbón previamente pesado, se cerró dicha olla de presión y una vez que comenzó a escapar el vapor, se mantuvo el calentamiento durante 15 minutos.

- Una vez culminado este tiempo, se detuvo el calentamiento, se extrajo el biocarbón, se secó el exceso de agua de su superficie con papel secante, y luego se determinó la masa de biocarbón saturado por el agua absorbida.

- Posteriormente el biocarbón saturado en agua se colocó en un horno en ausencia de oxígeno a temperatura constante de 40 grados centígrados hasta alcanzar peso constante. (Figura 5).



Figura 5: Horno Memmert dn400

- Con las masas de biocarbón saturado y seco se calculó la relación de agua absorbida (ver ecuación 1).
- Con la masa de biocarbón seco, y a peso constante, se calculó la relación de agua retenida (ver ecuación 2).

En este caso, debido a inconvenientes derivados de la situación país, no fue posible registrar las medidas a los intervalos de tiempo previstos; no obstante, ya que el horno se mantuvo en funcionamiento, se pudo medir la masa después de, aproximadamente, doce días, cuando se encontró el peso constante.

- Se calculó la relación de masa de agua que puede absorber los biocarbones con la ecuación 1:

$$Relación = \frac{Masa\ húmeda\ t=0 - Masa\ seca}{Masa\ seca} \quad (1)$$

- Se calculó la relación de masa de agua que retienen los biocarbones con la ecuación 2:

$$Relación = \frac{Masa\ húmeda\ t=final - Masa\ seca}{Masa\ seca} \quad (2)$$

B. Determinación de la permeabilidad del biocarbón

El biocarbón está formado por partículas sólidas que dejan espacios vacíos interconectados lo que permite el flujo de agua a través de ellos. Esto convierte al biocarbón en un material permeable al agua.

El grado de permeabilidad se puede determinar con un permeámetro, para ello se aplica una diferencia de presión hidráulica a una muestra de biocarbón saturado en agua y se determina el flujo de salida. El coeficiente de permeabilidad es expresado en términos de velocidad (cm/s).

En el presente trabajo el procedimiento seguido fue el siguiente:

- Una vez limpia y seca, la celda del permeámetro se llena con biocarbón hasta alcanzar una altura de 7,4 cm, teniendo cuidado de no dejar espacios vacíos. Sobre él se coloca un filtro, en forma de disco y del diámetro de la celda, al que se superponen las esferas metálicas que presionan y fijan al biocarbón, finalmente dicha celda se cierra permitiendo la entrada de agua a través de la manguera que sale del depósito.
- El depósito de agua está colocado a una altura fija de 140 cm ($\square H$) y se mantiene conectado al agua corriente. Es el que alimenta a la celda, previamente tapada.
- Se alimenta agua y se espera hasta que el biocarbón se haya saturado, es decir, que no haya evolución de burbujas de aire desde el biocarbón y se mantiene constante el flujo de agua que sale del

sistema.

- En ese punto se realizan las medidas de masa de agua que sale por unidad de tiempo (masa de agua cada 15 segundos aproximadamente).
- El flujo (m =masa de agua que sale cada unidad de tiempo) se determina por la diferencia entre las masas de un recipiente externo vacío y con la cantidad de agua expulsada, durante un periodo

de tiempo dado.

- Por último, a partir de la masa de agua se calcula el volumen descargado ($d= 1 \text{ g/cm}^3$); entendiéndose que el volumen por unidad de tiempo es el caudal.
- La alimentación del agua se mantiene abierta durante todo el experimento.

A continuación, se presentan imágenes del permeámetro (figura 6):

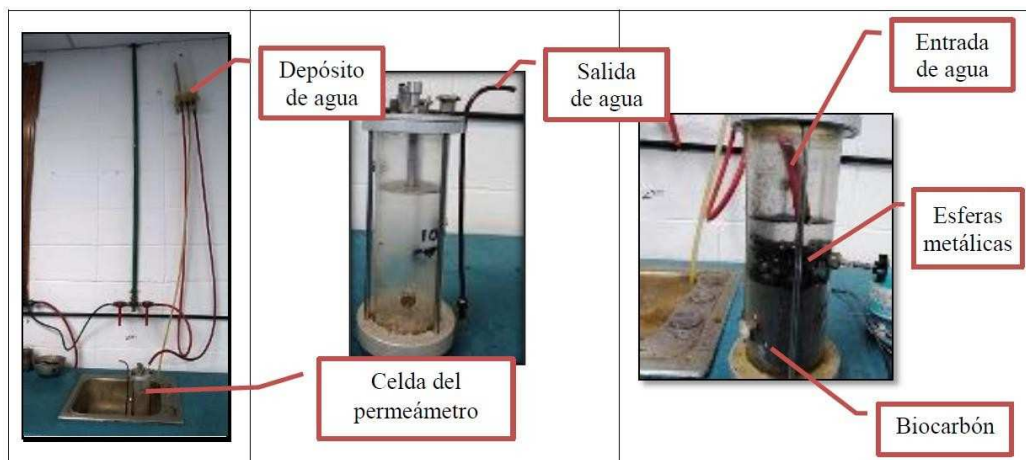


Figura 6: Permeámetro

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los procedimientos realizados en esta investigación:

1. Rendimiento en el biocarbón

En la Tabla I se presenta la masa de biocarbón formado y con los datos conseguidos se calculó el rendimiento entendido con la relación entre los Kg. de biocarbón obtenido entre los Kg. de Bambú en la pirólisis.

Al comparar los diferentes resultados obtenidos del rendimiento del biocarbón, se observa un 21% y un 44% aproximadamente de rendimiento, con un consumo promedio de 5,26 Kg. de madera combustible por cada Kg. de biocarbón producido.

- Durante las pirólisis se observó que el humo que salía del cenicero era de color

blanco, por lo tanto, se infiere que ello obedece al alto porcentaje de agua en el bambú y a que debido a las condiciones de la pirólisis, no se generaron hidrocarburos de peso molecular medio o mayores.

Tabla I: Rendimiento del biocarbón obtenido en la pirólisis

Rendimiento	Kg. biocarbón/ Kg. de Bambú	Kg combustible/ Kg.biocarbón
Sector alto	0,25	5,83
Sector medio	0,21	5,88
Sector bajo	0,44	4,08

Fuente: Elaboración propia

- Resulta interesante que el sector bajo del bambú dio mejores rendimientos en la obtención de biocarbón que la parte media o la parte alta. Eso se debe a que el espesor del culmo es más grueso abajo y va reduciéndose con la altura. Así, hay más material pirolizable a medida que se está más abajo en la planta. Esto permite utilizar los sectores bajos de la planta que no se utilizan en construcción para fabricar el biocarbón.

Es necesario realizar nuevos ensayos para determinar si estos resultados son reproducibles.

2. Propiedades físicas del biocarbón

Los resultados obtenidos de la absorción y retención de agua, así como la permeabilidad del biocarbón producido en el CIDI, se presentan a continuación.

Tabla II: Relación de absorción y retención de los biocarbones de bambú obtenidos en la parte baja, media, y alta del tallo

	Biocarbón del bambú parte baja	Biocarbón del bambú parte media	Biocarbón del bambú parte alta
Relación de absorción	2.57	2.96	1.80
Relación de retención	0.23	0.23	0.005

Fuente: Elaboración propia

Las relaciones de absorción varían entre 1,8 y 3 veces, y las relaciones de retención entre 0,23 y 0.005; es decir, el biocarbón obtenido en el CIDI retiene muy poca cantidad de agua con relación a la que absorbe, lo que la hace potencialmente disponible para la agricultura.

Cuando la proporción de biocarbón en el suelo es la adecuada, entonces su alta capacidad de absorción de agua le permite almacenar grandes cantidades en el suelo

que quedan disponibles como agua libre para el uso de las plantas.

- *Determinación de la permeabilidad del biocarbón*

Una vez realizado el procedimiento experimental presentado en la metodología, se efectuaron los cálculos para obtener la permeabilidad de los biocarbones obtenidos, empleándose las siguientes ecuaciones tomadas de Das [19], pp 204-205:

Para las relaciones de la masa de agua que pueden absorber y retener el biocarbón fueron los siguientes:

$$i = \frac{\Delta H}{L}$$

Gradiente Hidráulico (i) (3)

Conductividad Hidráulica (Permeabilidad)

$$K = \frac{(Q)*(L)}{(\Delta H)*(A)}$$

(4)

Donde:

- A es el área de la celda
- L es la altura del biocarbón dentro de la celda
- ΔH es la altura del depósito
- Q es el gasto de agua que pasa a través del biocarbón.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla III.

Tabla III: Permeabilidad de los biocarbón de bambú, obtenidos en la parte baja, media, y alta del tallo

Permeabilidad	K (cm/seg)	i
Parte baja	$2,10 \times 10^{-3}$	18,92
Parte media	$8,90 \times 10^{-4}$	13,96
Parte alta	$1,77 \times 10^{-3}$	19,10

Fuente: Elaboración propia

- Los resultados sugieren que los biocarbones obtenidos tienen una velocidad de flujo de agua

MARÍA ISABEL LÓPEZ, BEATRIZ SOLEDAD, HERIBERTO ECHEZURÍA, JOHANA DELGADO

(permeabilidad) media - alta, lo que se considera como una conductividad hidráulica moderadamente alta.

Estos valores de conductividad hidráulica son muy buenos para adecuar suelos arcillosos, los cuales tienen conductividades hidráulicas muy bajas aunque pueden retener mucha agua debido a la atracción de las fuerzas eléctricas presentes en la superficie de las partículas de suelo al agua alrededor para formar lo que se denomina la "doble capa". Así, aunque cuando la arcilla está saturada hay mucha agua a nivel de las raíces, la misma es difícil de utilizar por la planta. Luego, debido a la baja conductividad de la arcilla es muy difícil que se reponga el agua utilizada por la planta.

Ahora bien, al mezclar la arcilla con el biocarbón, se obtiene un aumento significativo de la conductividad hidráulica que permite el acceso de agua libre a nivel de las raíces la cual puede ser muy fácilmente utilizada por la planta. Por ello, es necesario realizar ensayos con un cultivo patrón en diferentes suelos producto de las mezclas de biocarbón con arcillas a fin de evaluar su efecto en la conductividad hidráulica.

Por otra parte, también es necesario realizar nuevos ensayos para determinar si los resultados de la Tabla 3 son reproducibles.

IV. CONCLUSIONES

Una vez efectuados los diferentes análisis, se concluye lo siguiente:

- Con relación al rendimiento en la obtención del biocarbón, los resultados sugieren que, con el quemador utilizado, sencillo y de bajo costo, se obtuvo un buen aprovechamiento del carbón para la pirólisis del bambú, ya que la fracción producida oscila entre 30% y 40%, además el humo que se observa a la salida del cenicero, de color blanco, no se relaciona con una pérdida significativa de hidrocarburos complejos.

- En lo que respecta a la absorción de agua y permeabilidad, se obtuvo que los biocarbones producidos absorben entre 1,8 y 3,0 veces su peso en agua, con una retención que no excede de 0,25, por lo que se podrían considerar que retienen una fracción baja de agua, además los biocarbones producidos tienen un valor de la permeabilidad moderadamente alto (17).
- Dado lo complejo del estudio y control de los factores que afectan la productividad agrícola, no es posible hacer relaciones simples entre estos factores y el potencial uso agrícola del biocarbón. Sin embargo, los resultados sugieren que habría una buena disponibilidad de agua para las raíces.

V. RECOMENDACIONES

Se sugieren estudios posteriores para repetir los ensayos de la pirólisis así como nuevos ensayos y análisis de los gases emitidos en la pirólisis y las propiedades ya estudiadas, además, se recomienda experimentar con cultivos que puedan ser implementados en las comunidades para estudiar la productividad de los mismos al usar los biocarbones producidos o mezclas de dichos biocarbones con suelos de fertilidad baja.

REFERENCIAS

- [1] Urien, A. (2013) Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. Trabajo de Fin de Máster de Investigación. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf
- [2] Delgado, J., Echezuría, H, Muñiz R., López, M., Soledad, B. (2019). Segundo informe administrativo del proyecto Reto País: Estudio de la obtención y características del biocarbón a partir de biomasa vegetal, como recurso para la agricultura sustentable. Informe no publicado
- [3] López, M, Soledad, B. Echezuría, H, Muñiz R., Delgado, J (2019). Estudio De La Obtención Y Características Del biocarbón A Partir De Biomasa Vegetal, Como Recurso Para La Agricultura Sustentable. Informe no publicado.
- [4] Portal Educativo de Antioquia, (s/f) Tecnologías Apropriadadas. <https://www.antioquiatic.edu.co/noticias-general/item/48-sabes-que-son-las-tecnologias-apropriadadas>

- [5] Cowie, A., Van Zwieten, L., Pal Singh, B., y Anaya de la Rosa, R. (2017) Biochar as a strategy for sustainable land management and climate change mitigation. GLOBAL SYMPOSIUM ON SOIL ORGANIC CARBON.
Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-br997e.pdf>
- [6] FAO (2017). Liberación del potencial del carbono orgánico del suelo. Documento de resultados. Simposio internacional sobre el carbono orgánico del suelo. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/b-i7268s.pdf>
- [7] Stern DI, Kaufmann RK (2014) Anthropogenic and natural causes of climate change. *Climatic change* 122:257–269
- [8] Muñiz, R., Echezuría, H., López E, María Isabel. (2018) El biocarbón: ¿Un Recurso Para La Agricultura O Un Riesgo Para El Ambiente? II Congreso Internacional De Investigación E Innovación Universidad De Carabobo Facultad De Ciencias Económicas Y Sociales
- [9] Song W, Guo M (2012) Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *J Anal Appl Pyrol* 94:138–145
- [10] Fisher T, Hajaligol M, Waymack B, Kellogg D. (2002). Pyrolysis behavior and kinetics of biomass derived materials. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 62: 331-349.
- [11] Urien, A. (2013) Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. Trabajo de Fin de Máster de Investigación. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de: http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf
- [12] Galinato SP, Yoder JK, Granatstein D (2011) The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. *Energy Policy* 39:6344–6350
- [13] Escalante Rebolledo, Ariadna, Pérez López, Guadalupe, Hidalgo Moreno, Claudia, López Collado, Jorge, Campo Alves, Julio, Valtierra Pacheco, Esteban, & Etchevers Barra, Jorge D.. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382. Recuperado en 12 de julio de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300367&lng=es&tlng=es.
- [14] Moreno, M. E., y Jakob, S. I., El Aprovechamiento del Bambú para impulsar el desarrollo económico sustentable en México, Observatorio de la Economía Latinoamericana, Vol.37, Dic 2012.
- [15] Culturaedafica (2018) Agrologia. Biochar (biocarbón) <https://agrologia.wordpress.com/2018/08/12/bi-ochar-biocarbon/>
- [16] Juan José Ibáñez el 14 julio, 2014. Todo lo que no sabemos del Biochar y ni tan siquiera nos hemos planteado (Una conjetura acerca de su origen y función). <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2014/07/14/144663>
- [17] EstoEsAgricultura 24 mayo, 2019 Cómo hacer biochar de forma casera. <https://estoesaagricultura.com/como-hacer-biochar-de-forma-casera/>
- [18] García, V. A., Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción agua de los ladrillos, <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1264/1395>
- [19] Das, B., Principles of Geotechnical Engineering (8th Ed.) (SI)-(Cengage Learning, 2014)