



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EFICIENCIA DEL BIOCHAR GENERADO A PARTIR DE  
RESIDUOS ORGÁNICOS”

Trabajo de Investigación para optar el Grado de Bachiller en:  
INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Mayra Yadira Puquio Rios (<https://orcid.org/0000-0001-9919-5909>)

Asesor:

Elvito Fabián Villegas Silva (<https://orcid.org/0000-0001-9783-1641>)

Lima – Perú

2019



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 241 -2020-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 16 de noviembre de 2020

**VISTO:**

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **EFICIENCIA DEL BIOCHAR GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS**, presentado por:

- **Mayra Yadira Puquio Rios**

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **EFICIENCIA DEL BIOCHAR GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS** con N° de registro de la carrera: **092-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Elvito Fabián Villegas Silva** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,

**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico de Carrera  
Ingeniería Ambiental

**EFICIENCIA DEL BIOCHAR GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS**

Mayra Yadira Puquio Rios

*Universidad Científica del Sur*

[mayrapuquorios@gmail.com](mailto:mayrapuquorios@gmail.com)

**RESUMEN**

El biochar es un material bioadsorbente compuesto principalmente de carbono, capaz de retener diferentes contaminantes físicos y químicos presentes en el ambiente, con la finalidad de mejorar la calidad del suelo, aire y agua. El biochar es una fuente con gran potencial, que puede ser obtenido a partir de diferentes materias primas (cosechas, plantas secas, hojarascas, estiércol, residuos orgánicos, entre otros), entre los más comunes son los residuos sólidos, específicamente residuos orgánicos domésticos o agrícolas, ya que en el Perú se genera 19 000 mil toneladas de residuos municipales, de los cuales el 54% de estos residuos son orgánicos, lo que representa un bio recurso potencial para lidiar los grandes problemas medioambientales. Los procesos de obtención del biochar son: pirólisis lenta, rápida, ultrarrápida y gasificación; tecnologías termodinámicas que convierte la materia prima en energía renovable, sin embargo, estos procesos son alterados por diversos variables como el tipo de materia prima, el rango de calentamiento y la temperatura en el proceso de elaboración. El biochar, se aplica en la remoción de metales (cromo, cadmio y plomo), en la productividad agrícola, mitigación de los gases de efecto invernadero, entre otros, no obstante, su eficiencia dependerá de la porosidad y de las características de la biomasa, siendo más eficiente el biochar elaborado a partir de residuos agrícolas o vegetales para la remoción de

metales pesados en comparación con el biochar elaborado a partir de residuos orgánicos domésticos.

Palabras clave: Biochar, residuos orgánicos, eficiencia, bioadsorbente, materia prima, remoción de metales, procesos de obtención, aplicaciones

#### ABSTRACT

Biochar is a bioadsorbent material composed mainly of carbon, capable of retaining different physical and chemical pollutants present in the environment, in order to improve the quality of soil, air and water. Biochar is a source with great potential, which can be obtained from different raw materials (crops, dried plants, leaf litter, manure, organic waste, among others), among the most common are solid waste, specifically domestic organic waste or agricultural, since in Peru 19,000 thousand tons of municipal waste is generated, of which 54% of these wastes are organic, which represents a potential bio resource to deal with major environmental problems. The processes of obtaining biochar are: slow, fast, ultrafast pyrolysis and gasification; Thermodynamic technologies that convert raw material into renewable energy, however, these processes are altered by various variables such as the type of raw material, the heating range and the temperature in the manufacturing process. Biochar is applied in the removal of metals (chromium, cadmium and lead), in agricultural productivity, mitigation of greenhouse gases, among others, however, its efficiency will depend on the porosity and characteristics of biomass, the biochar made from agricultural or vegetable waste for the removal of heavy metals being more efficient compared to the biochar made from domestic organic waste.

Keywords: Biochar, organic waste, efficiency, bioadsorbent, raw material, metal removal, procurement processes, applications

## REVISIÓN TEÓRICA

La excesiva producción de residuos sólidos se ha convertido en un problema ambiental a nivel global, ya que según el Banco Mundial (2018) cada año se genera 2 100 millones de toneladas de residuos sólidos, donde tan solo 323 millones de toneladas son reciclables y los restantes son residuos orgánicos, lo que ha generado una gran preocupación, debido al excesivo consumismo. Asimismo, se estima que para el año 2049 los residuos incrementarán a 3400 millones de toneladas a causa del crecimiento poblacional; donde la composición de estos residuos en su mayoría seguirá siendo los residuos orgánicos, dispuestos sin ningún valor en las calles, botaderos, rellenos sanitarios o terrenos abandonados en grandes cantidades.

Por su parte, en el Perú la generación per cápita de residuos sólidos también ha ido incrementando con el tiempo, donde al día se produce 19 000 mil toneladas de residuos municipales de los cuales el 54% de estos son orgánicos y el 36% son residuos inorgánicos valorizables, representando los residuos orgánicos una amenaza para la salud, ya que genera la propagación de vectores y enfermedades (MINAM, 2019). Sin embargo, desde otra perspectiva el reaprovechamiento de estos residuos o desechos orgánicos representa un elevado potencial para la producción de biochar, un carbón bioadsorbente capaz de solucionar los problemas de contaminación (Ramírez, 2018).

## Beneficios del biochar

La aplicación del biochar en los últimos tiempos se han desenvuelto en gran medida, ya que es una alternativa ambiental, social y económicamente sostenible, que, gracias a sus múltiples usos, beneficios y aportes de mejora en la calidad del suelo, aire, agua y la productividad de cultivos; se ha ido empleando como una alternativa para enmendar los problemas ambientales (Medina y Medina, 2018 y Singh *et al.*, 2018). Paco (2010) mencionó algunos de los beneficios directos e indirectos que genera el biochar, entre ellos es el aumento de la permeabilidad del suelo, reducción de la escorrentía, incremento de la fertilidad de suelos, mejora de la estructura del suelo, retención de carbono y metales pesados y mitigación el cambio climático.

Bajo ese contexto, Escalante *et al.* (2016) definieron el biochar como un producto orgánico de carbono puro y poroso, producto de la descomposición de una biomasa a través del proceso de pirólisis en condiciones especiales, la cual puede generarse a partir de diferentes materias primas y de distintas composiciones.

El biochar, es un carbón ecológico, sólido, estable y económico, con excelente potencial, ya que actúa como una esponja bioadsorbente de sustancias orgánicas, inorgánicas y microbiológicas en agua y suelo, y gases de la atmósfera, lo que ha logrado captar la atención y el grado de interés sobre su provechoso efecto sobre los problemas ambientales. Sin embargo, sus propiedades o características fisicoquímicas son muy variables, y eso dependerá de su naturaleza y las condiciones donde se lleva a cabo el proceso de producción (Guerra, 2015 y Sonsol *et al.*, 2018).

### **Propiedades del biochar**

Las propiedades del biochar lo caracterizan como un sólidos amorfos de pigmentación oscura (negro), compuesto por partículas de distintos tamaños con altos niveles de

porosidad que varían entre 2 a 50 nm, donde la capacidad de adsorción depende del tamaño del poro que está en relación directa con la temperatura a la que será sometido en el proceso de pirólisis, puede ser de 300 a 1000 °C y con un pH variante entre 6.2 - 13 (Rouquerol, Rouquerol y Sing, 1999 y Downie, Crosky, y Munroe, 2009). Todo ello, se ven definidas por la estructura fisicoquímica del biochar, que se encuentra compuesta por altos niveles de carbono orgánico (>50%) y eso dependerá de la materia prima correspondiente (Concilco, Moreno, García, Quiroga y García, 2018).

### **Influencia de la materia prima en la calidad del biochar**

La obtención del biochar puede ser de diferentes materias primas, los más comunes son los residuos provenientes de cosechas, plantas secas, hojarasca, estiércol y residuos orgánicos domésticos, que influyen en las propiedades fisicoquímicas del biochar, su rendimiento y capacidad de adsorción (Lehmann y Joseph, 2009).

Ramirez (2018) mencionó que la aplicación de residuos orgánicos municipales para la elaboración del biochar, aplicadas en muestras de agua residual de la quebrada de Santa Lucía, Colombia, tiene una elevada eficiencia en la remoción de materia orgánica, ya que el tipo de consistencia y estructura de los residuos son parámetros que influyen en la porosidad del biochar, además de convertirse una alternativa ideal para la reducción de residuos orgánicos en nuestro país, mediante su reaprovechamiento.

### **Procesos de obtención del biochar**

Los procesos de obtención del biochar son: pirólisis lenta, rápida, ultrarrápida y gasificación, que se diferencian en la variación de temperaturas, tiempo de residencia y las velocidades para su desarrollo; tecnologías termodinámicas que convierte la materia

prima en energía renovable (Brick y Wisconsin, 2010 y Canabarro, Soares, Anchieta, Kelling y Mazutti, 2013).

El proceso de pirólisis se define como la desintegración térmica de la materia orgánica (baja densidad energética) en ausencia del oxígeno, a partir de temperaturas superiores de 290°C, teniendo como resultado biochar y gases de combustión. Este proceso tiene 3 etapas, que consisten en la determinación y alimentación de la biomasa, la transformación de la biomasa y la obtención y separación de los productos finales (sólido, líquido y gas) (Klug, 2012).

El proceso de pirólisis lenta o terrafacción, es un método con elevado rendimiento para la obtención del biochar (77%), que se da a partir de temperaturas bajas (290°C) con calentamientos pausados en tiempos prolongados de 5 minutos, obteniendo sólidos (75%), gases (10%) y líquidos (15%) cada uno con un poder calorífico de 30 MJ/kg, 5 a 10 MJ/nm<sup>3</sup> y 20 MJ/kg como productos finales y tiempo promedio que permanece la biomasa sólida en el reactor es de 5 a 30 min debido a que tiene una velocidad de calentamiento lenta a 281°C/min (Urien, 2013), ideal para enmendar problemas de infertilidad y la aglomeración de metales pesados en suelos agrícolas (Callegari, Hlavinek y Giuseppe, 2018).

El proceso de pirólisis rápida, ocurre a partir de temperaturas altas (550 – 650 °C) con un rendimiento de 60% y una velocidad de calentamiento más alta que la pirólisis lenta (300 °C / min), teniendo como resultado final líquidos (bioaceites – 75%), sólidos (12%) y gases (13%) con un poder calorífico de 20 MJ/kg de sólidos y 30 MJ/kg de gases y la mitad del valor correspondiente al del diesel con respecto al líquido. Este proceso se lleva a cabo a bajo porcentaje de humedad, generando la desintegración de la biomasa



en vapores y aerosoles con un corto tiempo de residencia menor de 10 segundo, ideal para la producción de combustibles (altamente eficientes) y para la reducción de gases de efecto invernadero (Klug, 2012).

La pirólisis ultrarrápida, es un proceso con parámetros controlados que se lleva a cabo de temperaturas  $>1000^{\circ}\text{C}$  y con tiempo de residencia menor a un segundo y una velocidad de calentamiento super alta. Este proceso tiene el mismo rendimiento (60%) y porcentajes de resultados de la pirólisis rápida, pero a diferencia de los líquidos obtenidos (bioaceites, con bajo calor calorífico) a partir de las distintas biomásas a utilizar, estos bioaceites son aplicados como combustibles en turbinas y motores (Urien, 2013). Además, para llevar a cabo este proceso es importante tener en cuenta que el tamaño de partícula debe ser bastante pequeño (105-250  $\mu\text{m}$ ), para llevarse a cabo (Fow y Camino, 2018).

Finalmente, el proceso de gasificación, es un método con bajo rendimiento para la obtención del biochar (10%), que se da a partir de temperatura altas ( $>800^{\circ}\text{C}$ ), obteniendo sólidos (20%), gases (85%) y líquidos (5%) con un poder calorífico de 4-6  $\text{MJ}/\text{nm}^3$  del gas, aplicados como un combustible para motores de turbinas, producción de productos químicos, etc., con un tiempo de residencia de 30 a 40 min (Fow y Camino, 2018; Klug, 2012 y Urien, 2013). Los residuos orgánicos agrícolas, forestales, municipales son posibles materias primas para la gasificación (Qian *et al.*, 2013).

Por otra parte, los procesos ya mencionados se ven alterados por distintas variables que afectan el desarrollo del proceso. Escalante *et al.* (2016) mencionaron que la composición de la materia prima, el rango de calentamiento y la temperatura, generan un efecto secundario en el proceso de producción del biochar, donde la composición de

la biomasa varía según su origen y su composición, mientras que el rango de calentamiento variará de acuerdo con su intensidad y la velocidad de calentamiento, generando que la biomasa tenga distintas reacciones y transformaciones finales.

Ante lo mencionado, Antal y Gronli (2003), exponen que, para el proceso de obtención del biochar, los procesos que se llevan a cabo a bajas temperaturas, el biochar obtenido tendrá mayor eficiencia en la absorción de contaminantes, ya que, el número de poros será mayor, mientras que a altas temperaturas este disminuye, por el cual esta variable se encuentra en función a la materia prima, la temperatura y rango de calentamiento.

### **Eficiencia del biochar como adsorbente**

El biochar es un adsorbente económico y fácil de fabricar, con múltiples aplicaciones en diferentes ámbitos: industria, medicina, farmacia y el medio ambiente (Prías et al., 2011). Empleado en mayor porcentaje en el ámbito ambiental (agua, suelo y aire), ya que ha mostrado tener alta efectividad en el tratamiento de aguas residuales y agua potable, purificación del agua, en la eliminación de olores y sabores, recuperar suelos contaminados por metales pesados, purificar el aire y minimizar los gases de efecto invernadero (Valdés y Zaror, 2010).

Concilco, Moreno, García, Quiroga y García (2018) manifestaron que la aplicación del biochar en suelos contaminados, interviene de manera positiva en mejora de la condición del suelo y el rendimiento en la agricultura, avalando lo mencionado, Iglesias et al. (2018) quienes sostienen que, existe muchos estudios del uso del biochar como una estrategia viable para mejorar las condiciones físico químicas y biológicas de suelo (fertilidad), la retención y absorción de nutrientes y captura de carbono, ya que este contribuye en la mitigación del cambio climático por la disminución de CO<sub>2</sub>.

No obstante, para la aplicación del biochar en el suelo, se debe tener en cuenta el tipo y vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión del suelo, las condiciones meteorológicas del lugar, la forma en que se aplicará el biochar (profundidad) y la cantidad que se utilizará (Major, 2010).

En adición a ello, Forero y Navarro (2017) expusieron que la aplicación del biochar a partir de residuos orgánicos provenientes de las actividades agrícolas (cáscara de mazorca, naranja, papa, plátano, malezas y verduras) de la finca la Padrera en Bogotá, Colombia, contribuye no solo en la calidad del agua, sino también en la calidad del suelo, la productividad de cultivos, absorción de nutrientes, capacidad de contener el agua e incremento de la materia orgánica. Asimismo, Veloso et al. (2019) mencionaron que la aplicación de biochar en cultivos generan efectos positivos, ya que contribuye significativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas de papaya, así como también la condición del suelo, sin embargo, mostró tener deficiencia en la adsorción de nitrógeno.

Por otra parte, Hermosín, Cox y Gámiz (2017) manifestaron que la aplicación de biochar en muestras de agua (superficial o subterránea) contaminadas, influye de manera eficiente en el control y eliminación de las sustancias tóxicas presentes en el agua, acreditando lo mencionado Parra *et al.* (2018) exponen en su estudio que, el uso del biochar adquirido a partir de diferentes residuos orgánicos agrícolas (cáscara de maní, semillas del árbol del Paraíso, semillas del árbol guindo y rastrojo de soya) con el fin de tratar las aguas contaminadas por cromo en el Humedal de Jaboque, Colombia, tuvo como resultado una elevada eficiencia en reducción de la turbidez, olor y color y la adsorción y reducción de concentración del cromo con un porcentaje de remoción de 85.9%

(biochar a partir de semillas del árbol del Paraíso), 81.4% ( a partir de semillas de guinda), 80% ( a partir de rastrojo de soya) y 85% ( a partir de cáscara de maní), convirtiéndose como una alternativa de descontaminación (Gamiz et al., 2017).

Bajo este contexto, existen estudios que afirman la eficiencia y beneficios del biochar obtenido a partir de residuos orgánicos en la absorción de metales pesados y contaminantes orgánicos.

La polución por metales pesados es uno de los problemas ambientales más concurrentes, que no solo se da en nuestro país, sino también a nivel global, ya que la cantidad y variedad de contaminantes químicos en el medio ambiente está creciendo constantemente de modo considerable, generando un desequilibrio debido a la adición de estos contaminante, provenientes de agua de usos industriales, agrícolas, domésticos y mineras, que traen consigo consecuencias graves en la salud y el medio ambiente, ya que las elevadas concentraciones de metales pesados presentes en suelos y cuerpos de agua, ejercen resultados peligrosos (FAO,2006).

Ante esa problemática De La Cruz (2018) buscó alternativas para lidiar con ello, por lo cual elaboró biochar a partir de residuos de poda (molle) recolectado en el Cementerio Presbítero, Lima, Perú, con el fin de reducir la concentración de plomo presente en el suelo cercanos a industrias, teniendo como resultado una eficiencia equivalente de 50.29%, concluyendo que el biochar producido tiene una influencia significativa en la remoción de plomo presente en el suelo.

De igual modo, Panéz (2017) expresó que el biochar a partir de residuos vegetales contribuye en la reducción la concentración de Cadmio presente en el suelo y agua, donde se obtuvo como resultado una eficiencia equivalente 92,3% en la retención de

cadmio en el agua y un 84,6% en el suelo, concluyendo que el biochar producido por vegetales tiene la capacidad suficiente para remover metales pesados, así como también mejorar la calidad de suelo y agua.

Ramirez (2018) expone otra manera de producir biochar, donde menciona que el 60% de los residuos orgánicos generados por la población, son un gran potencial para la producción de biochar y que pueden ser aplicados como una técnica de remediación. Además, existe muchos estudios que avalan su eficiencia, como en la reducción de materia orgánica en aguas residuales de la quebrada Santa Lucía de la ciudad de Chachapoyas, el cual se tuvo como objetivo reducir los niveles de concentración de DBO y DQO<sup>1</sup> mediante la aplicación de biochar a partir de residuos orgánicos, teniendo como resultado un 75% de eficiencia en remoción de DBO<sup>2</sup> y de 71% de eficiencia en la remoción de DQO, donde se concluyó que la eficiencia del biochar dependerá de su porosidad y las características de la activación.

Por otro parte, Herrera *et al.* (2018), exponen que la producción de biochar a partir de residuos agrícolas del maíz, café y exoesqueleto de langostino, presenta una influencia significativa en el desarrollo de raíz y tallo del Sapote (*Capparis scabrida*), indicando que el biochar contribuye positivamente en la calidad del suelo, ya que aumenta su fertilidad. De igual modo, Iglesias *et al.* (2018) demostraron que la elaboración del biochar a partir de residuos de eucalipto contribuye en la calidad y rendimiento de cultivos del maíz en regiones de Ecuador.

---

<sup>1</sup> DQO: Demanda química de oxígeno

<sup>2</sup> DBO: Demanda bioquímica de oxígeno

Por su parte, Sevilla *et al.* (2019) realizaron una comparación de dos tipos de residuos y mencionan que la aplicación del biochar a partir de lodos de depuradora agrícola y caña de azúcar indican un mismo resultado, es decir una misma eficiencia en la adsorción de nutrientes, incremento de la productividad del suelo, convirtiéndose en una alternativa ideal para brindar una solución a los problemas de contaminación por lodos de depuradores y residuos orgánicos agrícolas. Siendo de vital importancia continuar realizando investigaciones sobre la aplicación de este bioadsorbente, ya que puede contribuir en otros aspectos medioambientales.

## **CONCLUSIONES**

El biochar es un material bioadsorbente, capaz de retener diferentes contaminantes físicos y químicos presentes en el ambiente, con la finalidad de mejorar la calidad del suelo, aire, agua y la productividad agrícola, donde su obtención puede ser a partir de diferentes materiales primas, entre los más usuales son los residuos orgánicos domésticos y agrícolas.

La eficiencia del biochar depende de sus propiedades y características fisicoquímicas, como la textura, con una porosidad mayor a 50 nm, una morfología de pigmentación oscura, generado a partir de residuos agrícolas con un proceso de obtención a partir de 300°C a 1000 °C.

El biochar es un adsorbente, que ha demostrado tener una alta efectividad en la remoción de metales pesados (cromo, cadmio y plomo) siendo más eficiente el biochar obtenido a partir de residuos agrícolas, con un porcentaje de remoción de casi el 90% frente al obtenido a partir de residuos orgánicos domésticos cuyo porcentaje de remoción es aproximadamente de 70%.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antal, M. & Gronli, M. (2003) The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(8), 1619-1640. doi: 10.1021/ie0207919
- Banco Mundial (2018) *Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes*. Washington, EE.UU. Grupo Banco Mundial. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Brick, S. & Wisconsin, M. (2010) Biochar: Assessing the Promise and Risks To Guide U.S. Policy. NRDC Issue Paper. New York, California: Natural Resources Defense Council. Recuperado de [https://www.nrdc.org/sites/default/files/biochar\\_paper.pdf](https://www.nrdc.org/sites/default/files/biochar_paper.pdf)
- Canabarro, N.; Soares, J., Anchieta, C., Kelling, C., y Mazutti, M. (2013) Thermochemical processes for biofuels production from biomass. *Sustainable Chemical Processes*, 1(1), 22, 221-228. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v3i3.375>
- Callegari, A., Hlavinek, P. y Giuseppe, A. (2018) Producción de energía (biodiesel) y recuperación de materiales (biochar) a partir de la pirólisis de lodos urbanos. *Revista Ambiente y Água*, 13 (2), 1-11. doi: <http://dx.doi.org/10.4136/ambiente.2128>
- Concilco, E., Moreno, A., García, M. Quiroga, H. y García, O. (2018) Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena

forrajera. *Terra Latinoamerica*, 36 (3), 221-228. doi:  
<https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.375>

Concilco, E.; Moreno, A.; García, M.; Quiroga, H. y García, O. (2018) Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena forrajera. *Terra Latinoamericana*, 36 (3), 221-228. doi:  
<https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.375>

De La Cruz, L. (2018) *Eficiencia del biochar a partir de residuos de poda para inmovilizar plomo en el suelo a nivel laboratorio UCV, 2018* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú.

Downie, A.; Crosky, A. y Munroe, P. (2009) *Developing a Biochar Classification and Test Methods*. Earthscan, 107-123. London, United Kingdom.

Escalante, A.; Pérez, G.; Hidalgo, G.; López, J.; Campo, J.; Valtierra, E. y Etchevers, J. (2016) Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34 (3), 367-382. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>

Forero, D. & Navarro, J. (2017) *Implementación de alternativa de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos mediante el proceso de pirólisis lenta para la obtención de materiales de uso agrícola* (Tesis para título). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

Fow, A. & Camino, V. (2018) *Procesos de producción y aplicaciones del biocarbón*. Congreso Internacional de Investigación e Innovación 2018: Centro de estudios Cortazar. Recuperado de



[https://www.researchgate.net/profile/Anthony\\_Fow/publication/328565688\\_PR\\_OCESOS\\_DE\\_PRODUCCION\\_Y\\_APLICACIONES\\_DEL\\_BIOCARBON/links/5bd5089e299bf1124fa751b4/PROCESOS-DE-PRODUCCION-Y-APLICACIONES-DEL-BIOCARBON.pdf#page=1813](https://www.researchgate.net/profile/Anthony_Fow/publication/328565688_PR_OCESOS_DE_PRODUCCION_Y_APLICACIONES_DEL_BIOCARBON/links/5bd5089e299bf1124fa751b4/PROCESOS-DE-PRODUCCION-Y-APLICACIONES-DEL-BIOCARBON.pdf#page=1813)

Gámiz, B., Velarde, P., Spokas, K., Hermosín, M. y Cox, L. (2017). Biochar soil additions affect herbicide fate: importance of application timing and feedstock species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65 (15), 3109-3117. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00458>

Guerra, P. (2015) *Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana* (tesis pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Hermosín, M., Cox, L. y Gámiz, B. (2017) Arcillas y biocarbones para la eliminación de contaminantes de origen agrícola en aguas: ensayo en filtro a escala precomercial. Universidad de Sevilla, Andalucía, España.

Herrera, E.; Feijo, C.; Alfaro, R.; Solís, J.; Gómez, M.; Keiski, R. y Cruz, G. (2018) Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrida* (Sapote). *Scientia Agropecuaria*, 9(4): 569 – 577. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2018.04.13

Iglesias, S., Alegre, J., Salas, C. y Egüés, J. (2018) El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*, 9 (1), 25 – 38. doi: 10.17268/sci.agropecu.2018.01.03

Klug, M. (2012) Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química PUCP*, 26 (1-2), 37 - 40. Recuperado de: [revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547](http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547)

Lehmann, J. & Joseph, S. (2009) Biochar for environmental management. *Earthscan*. London, United Kingdom. Recuperado de <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%2013-01-09.pdf>

Major, J (2010) Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems: *International Biochar Initiative*. Recuperado de [https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI\\_Biochar\\_Application.pdf](https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Application.pdf)

Medina, L. & Medina, I. (2018) Prototipo autotérmico móvil para producción de biocarbón con biomasa de esquilmos de aguacate. *Terra Latinoamericana*, 36 (2), 121-129. doi: <http://dx.doi.org/10.28940/terra.v36i2.217>

MINAM (2019) *Implementación de un Sistema Integrado de Manejo de Residuos Sólidos Municipales*. Guía para el Cumplimiento de la meta 3 del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal 2019. Lima, Perú. Recuperado de [https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu\\_publicaciones/mig/municipalidades\\_pmm\\_pi/guia\\_meta3\\_A\\_B\\_C\\_D\\_E.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publicaciones/mig/municipalidades_pmm_pi/guia_meta3_A_B_C_D_E.pdf)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006) Preocupaciones en materia de salud y medio ambiente asociadas con los metales pesados: ¿Necesidad de una acción mundial ulterior?. *Seguridad Química para el*

Desarrollo Sostenible. Recuperado de

[https://www.who.int/ifcs/documents/forums/forum5/abstract\\_sp.pdf?ua=1](https://www.who.int/ifcs/documents/forums/forum5/abstract_sp.pdf?ua=1)

Paco, D. (2012) *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, España.

Panéz, L. (2017) *Aplicación de Biochar de Restrojos Vegetales para la Inhibición de la biodisponibilidad de Cadmio (Cd) en Suelos Contaminados – 2017* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú

Parra, E.; Ruiz, E., Torres, G., Álvarez, G., Quintero, Q. y Reyes, A. (2018) *Determinación de la eficiencia del biochar a base de cascarilla de maní para la adsorción del cromo presente en el agua que entra al humedal Jaboque como un aporte para su descontaminación* (tesis pregrado). Universidad Manuela Beltrán. Bogotá, Colombia.

Prías, J.; Rojas, C., Echeverry, N., Fonthal, G. y Ariza, H. (2011) Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor *Guadua Angustifolia* Kunth. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(135), 158 – 166. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082011000200004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000200004)

Qian, K.; Kumar, A.; Patil, K.; Bellmer, D.; Wang, D.; Yuan, W.; & Huhnke, R. (2013). Effects of biomass feedstocks and gasification conditions on the physiochemical properties of char. *Energies*, 6(8), 3972–3986. Recuperado de: <https://www.mdpi.com> › pdf

- Ramírez, I. (2018). *Eficiencia del Biochar obtenido a partir de residuos orgánicos municipales para la remoción de materia orgánica en aguas residuales, Chachapoyas, Amazonas* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú.
- Rouquerol, F., Rouquerol, I. y Sing, K. (1999) *Adsorption by powders and porous solids*. Academic Press. ISBN: 978-0-12- 598920-6. London, United Kingdom.
- Sevilla, R., Queiroz, B., Leidivan, F., Arruda, R., Facco, R. y Fernandes, L. (2019) Biochar in sugar beet production and nutrition. *Ciência Rural*, 49 (5), 1-8. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20180684>
- Singh, M., Singh, G., Pal, B., Singh, B., Prakash, O., Sagi, S. y Berry, R. (2018) Efectos interactivos del biochar de residuos de arroz y fertilizante N en las funciones del suelo y la biomasa de cultivos en suelos contrastantes. *Revista de ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 18 (1), 41-59. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005000201>
- Sonsol, R., Rodrigues, C., Pacheco, C. y Anastácio, C. (2018) Explaining the water-holding capacity of biochar by scanning electron microscope images. *Revista Caatinga*, 31 (4), 972-978. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n420rc>
- Valdés, H. & Zaror, C. (2010) Influencia de la composición química superficial del carbón activado en la adsorción de benzotiazoles. *Ingeniare, Revista Chilena de Ingeniería* 18(1), 38-43. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052010000100005>
- Veloso, R., Aparecida, L., Gongalvez, M., Gandini, B. y Antonio, M. (2019) Biochar and mucuna increase papaya plant growth and nutrition, as well as soil fertility.

*Pesquisa Agropecuária Tropical*, 49(1) 1-8. doi: [http://dx.doi.org/10.1590/1983-](http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632019v4955210)

[40632019v4955210](http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632019v4955210)