



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“OPTIMIZACIÓN DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE MEDIANTE
EL USO DEL BIOCARBÓN EN EL PERÚ”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Camila Alessandra Aquije Ramos

Asesor:

Armando Vélez Azañero

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°183-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 27 de noviembre de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Optimización de la agricultura sostenible mediante el uso del biocarbón en el Perú**, presentado por:

- **Camila Alessandra Aquije Ramos**

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: **Optimización de la agricultura sostenible mediante el uso del biocarbón en el Perú** con N° de registro de la carrera: **024-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Armando Vélez Azañero** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



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

Optimización de la agricultura sostenible mediante el uso del biocarbón en el Perú

Camila Alessandra Aquije Ramos y Armando Vélez-Zañamero

*Universidad Científica del Sur**camilaaquije97@gmail.com***RESUMEN**

La agricultura ha conseguido aumentar el rendimiento de los cultivos a través de prácticas poco sostenibles a largo plazo incrementando el uso fertilizante en un 50% y el manejo descontrolado del suelo produciendo una reducción en la calidad de los sistemas edáficos en un 33%, causando infertilidad, acidez, reducción de microorganismos y un grave impacto en el crecimiento de las plantas. Además, está enfrentando el impacto del cambio climático y los efectos que este conlleva como la contaminación del suelo y agua disponible. Sin embargo, la agricultura sostenible ha demostrado que es posible mejorar la productividad de los cultivos mediante el uso de biocarbón, identificado como una herramienta para recuperar la fertilidad del sistema edáfico, permitiendo elevar el rendimiento de los cultivos en tierras degradadas en un 25% y disminuir la concentración de CO₂ emitido a la atmósfera en un 12% anualmente a la vez que ofrece otros beneficios económicos y ambientales.

Palabras clave: Agricultura sostenible, biocarbón, cambio climático, conservación, suelo

ABSTRACT (obligatorio)

Agriculture has managed to increase crop yields through unsustainable long-term practices, increasing the use of fertilizers by 50% and uncontrolled soil management, resulting in a reduction in the quality of soil systems by 33%, causing infertility, acidity, reduction of microorganisms and a serious impact on the growth of plants. It is also facing the impact of climate change and the effects that this entails as the contamination of soil and water available. However, sustainable agriculture has shown that it is possible to improve the productivity of crops through the use of biochar, identified as a tool to improve soil fertility, allowing to increase the yield of crops on degraded land by 25% and decrease the concentration of CO₂ emitted into the atmosphere by 12% annually while offering other economic and environmental benefits.

Keywords: Sustainable agriculture, biochar, climate change, conservation, soil

INTRODUCCIÓN

La poblacional mundial en los últimos 10 años ha incrementado de 6724 millones a 7576 millones (CountryMeters, 2018), lo que ha representado en el Perú un crecimiento anual de 1,01% para el año 2017 (Gestión, 2018). Este crecimiento ha generado un problema de abastecimiento de recursos, debido a que la demanda poblacional es mayor a la capacidad de producción del suelo (Wilmoth, 2016). Además, la sobreexplotación de los sistemas edáficos, ha provocado el empobrecimiento del 33% en los suelos a nivel mundial (FAO, 2015a); incrementando el uso de fertilizantes químicos, agua y plaguicidas (FAO, 2015b), para afrontar esta demanda a costa de la contaminación del suelo y agua disponibles (Medina-Morales & Cano-Ríos, 2001).

Para el 2012, el 43,9% de los agricultores peruanos utilizaban fertilizantes químicos, elevando en 50% el consumo respecto al año 1994 (INEI, 2012), los más usados fueron la urea en un 48% (Peru Opportunity Fund, 2011), seguido del sulfato de amonio con 20% y el fosfato de amonio con 17% (Alcántara et al., 2017). Sin embargo, para el mismo año, el 61,9% de los agricultores habían integrado algún tipo de abono orgánico o sus derivados en sus cultivos cotidianos (IV Censo Nacional Agropecuario, 2012).

El sector agrícola del Perú se basa en el desarrollo económico, por lo que sus inversiones a corto plazo, no toman en cuenta los impactos ambientales (Medina, 2018) como la infertilidad, ensalitramiento de los suelos, emisión de gases de efecto invernadero y contaminación de cuerpos de agua (Cueto, 2012). El uso incorrecto de fertilizantes daña las propiedades naturales del suelo (MINAGRI, 2017) causando infertilidad acidez, reducción de microorganismos benéficos y un grave impacto en el crecimiento de las

plantas (SACSA, 2015). Frente a estos problemas, la agricultura sostenible (AS) se presenta como una alternativa de crecimiento en los agricultores (UNAL, 2014).

La AS ha demostrado que es posible mejorar la productividad de los cultivos (FAO, 2018) frente a los problemas generados por el cambio climático (AEACSV, 2017), en comparación con los métodos convencionales como la aplicación de los fertilizantes, productos fitosanitarios y químicos (Franquesa, 2018). Filipinas, la India e Indonesia han suprimido las subvenciones a los fertilizantes y han reducido su uso entre 50% y 75%, mientras su producción de arroz sigue en aumento, demostrando que se puede satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras si se emplea un sistema de gobernanza mundial que promueva la seguridad alimentaria (FIDA, 2011).

La AS mejora además, la calidad de vida de los agricultores (FCH, 2016), a través de técnicas integradas en el manejo de fertilizantes y plagas (reducción de 72% de pesticidas), y un mayor rendimiento de cultivos por hectárea 35% (Pretty & Waibel, 2005). Por esta razón, se ha desarrollado una herramienta para el manejo sostenible de los suelos mediante el uso de biocarbón, el cual es conocido por su capacidad para enmendar y optimizar la producción de cultivos hasta en un 27% (Villar, 2015).

El biocarbón ha optimizado la agricultura sostenible en el Perú elevando la productividad del suelo hasta en un 25% permitiendo un equilibrio ambiental (COSMOS, 2018a); reducir el uso de fertilizantes y mejorar la capacidad de retención de nutrientes y agua (UPO, 2012) con bajos costes de implementación en comparación a otros productos (ACCA, 2015). En el cultivo de trigo, por ejemplo se observó que el grado de compactación del suelo disminuyó, aumentando la capacidad de retención de agua; aumentando en un 27% la producción de trigo (Olmo, 2014).

El objetivo de la investigación fue identificar la información disponible sobre la optimización de la agricultura sostenible mediante el uso del biocarbón en el Perú, por su importancia para conservar la biodiversidad del mundo mediante mejores prácticas de gestión, y a su vez identificando nuevas oportunidades de ingresos para asegurar la viabilidad económica de los productores.

MARCO TEÓRICO

1. DESCUBRIMIENTO DEL BIOCARBÓN

El biocarbón es un término relativamente nuevo; sin embargo, los suelos del mundo lo contienen desde la antigüedad debido a eventos naturales como incendios forestales (Joshi et al., 2013).

En el siglo XX, se descubrió que en la Cuenca del Amazonas se encontraban los suelos más fértiles conocidos como “Terra Preta”, elaborados por las antiguas poblaciones del Amazonas a través de técnicas que conservaban la fertilidad a largo plazo debido a la diversidad microbiana y a la materia orgánica que se encontraba en el suelo (Kastner, 2014). Charles Hartt (1874) y Herbert Smith (1879) fueron los primeros investigadores en descubrir el secreto de la fertilidad; sin embargo, recién en 1996, Will Somboek, se dedicó a promover activamente la investigación científica sobre esta materia (COSMOS, 2018b), identificando que el ingrediente clave es el carbono debido a que los suelos Terra Preta contienen hasta 9% de carbono en comparación con el 0,5% en suelos circundantes, siendo esta la causa del color oscuro de la tierra. Además, se planteó que el biocarbón se produjo mediante residuos orgánicos de hornos con bajo suministro de oxígeno cambiando el comportamiento químico del suelo, facilitando la retención de nutrientes y mejorando las condiciones de crecimiento. (IUCN, 2012).

En los últimos años se ha identificado que no solo en la Amazonía se contenían este tipo de suelos, sino también en México, Ecuador, Perú, Benin y Liberia en el Oeste de África donde se han encontrado evidencias de su existencia, y en Estados Unidos de América desde hace más de 10 mil años. Un nuevo enfoque con múltiples beneficios respecto al biocarbón se ha realizado debido a que los principios para generar biocarbón no han cambiado a lo largo de los siglos, pero los métodos si lo han hecho demostrando que se puede producir de una manera amigable con el ambiente (Orlando, 2012; USBI, 2018, & Sheil *et ál.*, 2012).

2. BIOCARBÓN

El biocarbón es un material sólido rico en carbón que se obtiene a través del calentamiento de biomasa en un entorno pobre de oxígeno y se aplica para la mejora del suelo (Institut für Ökologie und Klimafarming, 2011). La pirólisis es un proceso de descomposición termoquímico complejo (Spokas *et ál.*, 2012) que convierte la materia orgánica en productos en función de la velocidad de calentamiento y el tiempo de residencia de la biomasa en los reactores como bioaceites, biogás y biocarbón de alto rendimiento, este último a través del calentamiento a temperaturas comprendidas entre 350° C hasta y 650° C (Urien, 2013). Para considerarse biocarbón debe estar compuesto entre 80 y 90% de una forma estable de carbono y es necesario que se encuentre mezclado con el suelo para que el carbono que se encuentra presente en el biocarbón no se libere y al mismo tiempo mejore las propiedades del suelo evitando efectos perjudiciales en el ambiente a corto y largo plazo. (Vargas-Parada, 2016 & Verheijen, 2010). Debido a su estructura altamente aromática, el biocarbón es química

y biológicamente más estable en comparación a la materia orgánica de la que proviene (IBI, 2012).

El biocarbón se ha identificado como una herramienta para la lucha contra el cambio climático y al mismo tiempo para recuperar la riqueza del suelo, permitiendo recuperar el rendimiento de las tierras degradadas y así disminuir la concentración de CO₂ emitido a la atmósfera en un 12% anualmente a la vez que ofrece otros beneficios económicos y ambientales (Scholz *et ál.*, 2014 & Abenza, 2012). Los sistemas de biocarbón son esenciales para los países en desarrollo, y se podrían aprovechar para enfrentar los problemas de alcance mundial relacionados con la producción de alimentos y el cambio climático. (Woolf, 2010; Sohi, 2009 & Carlson & Hawkins, 2018).

2.1. Materia prima

Las cáscaras de nueces, coco, los residuos de la caña de azúcar, los desechos de olivo y tabaco y materiales de la biomasa de la agricultura son adecuados para la pirólisis; además, los árboles de eucalipto están siendo investigados por su potencial como materia prima, convirtiéndolo en un recurso comercialmente viable para la producción de biocarbón. Asimismo, los desechos municipales son excelentes debido al suministro constante; sin embargo, en las áreas industriales pueden contener altos niveles de sustancias tóxicas que van a hacer que el biocarbón no sea apto para suelos agrícolas. Por ello, que el biocarbón debe tener una alta estabilidad para retener el CO₂ por un tiempo indefinido contribuyendo al cambio climático pero dicha estabilidad varía según el tipo de materia prima y la técnica de pirólisis que se utilice en su elaboración; sin embargo, la viabilidad de la producción de biocarbón depende del tamaño y de la cantidad de materia prima que se encuentra cercana a las plantas de pirólisis para

minimizar los costos de transporte (Cox *et ál.*, 2012; Sanz, 2013; Downie *et ál.*, 2009 & Abenza, 2012).

2.2. Abono Orgánico

Son sustancias compuestas por restos de procedencia animal y vegetal que se agregan al sistema edáfico para mejorar las características físicas, biológicas y químicas (Morris, 2009). Actualmente su uso es de gran importancia, pues han demostrado ser una herramienta imprescindible por su capacidad de aportar nutrientes incrementando la actividad de los microorganismos, el rendimiento y mejora de la calidad del suelo, aumentando la fertilidad y actuando en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Se consideran abonos orgánicos al compost, humus de lombriz, abono verde, turba, entre otros (Huerto, 2013 & InfoAgro, 2018). Se recomienda su uso en suelos degradados por la erosión y bajos en contenido de materia, su aplicación recuperará la calidad de producción en cualquier suelo (Gomero & Velásquez, 1999).

El biocarbón es considerado un abono orgánico, proveniente de la biomasa, de alto rendimiento (Carlson & Hawkins, 2018 & Agriculturers, 2015) debido a su función como un imán reteniendo agua, microorganismos y nutrientes como el nitrógeno, azufre, fósforo, calcio y composta dando un mayor rendimiento de los recursos disponibles facilitando el crecimiento y fructificación de las plantas (COSMOS, 2018c).

2.3. Tipos de biocarbón

El biocarbón tiene diferentes propiedades químicas debido a que se puede obtener a partir de varias fuentes de biomasa (Cox, 2012).

2.3.1. Biocarbón de estiércol

El biocarbón proveniente de estiércol tiene un contenido de minerales más alto que los derivados de fuentes de madera, por lo que puede proporcionar más nutrientes a la tierra, posiblemente con una liberación lenta, por ejemplo al combinar biocarbón de paja de cultivo con compost de estiércol más solución pirógena podría ayudar a combatir el estrés por salinidad del maíz y mejorar la productividad en las tierras de cultivo salinos en regiones áridas o semiáridas amenazadas cada vez más por el cambio climático (Cox, 2012 & Lashari et ál., 2015).

2.3.2. Biocarbón de papel

Algunos biocarbones, particularmente aquellos hechos con residuos y abonos de fábricas de papel que se procesan a altas temperaturas, tienen un efecto limitante y beneficiarían los suelos que tengan un pH bajo (Cox, 2012); los beneficios agronómicos del biocarbón de papel deben verificarse para diferentes tipos de suelo y cultivos (Méndez et ál, 2015), por ejemplo en el análisis de riesgo del biocarbón producido por los efluentes de una planta de tratamiento de la fábrica de papel se observó que los metales pesados se enriquecen en la matriz del biocarbón después de la pirólisis, pero la biodisponibilidad y la ecotoxicidad de los metales pesados en el biocarbón se redujeron significativamente a medida que las fracciones de metales pesados móviles y biodisponibles se transformaron en fracciones relativamente estables (Devi & Saroha, 2014).

2.3.3. Análisis del biocarbón de roble blanco y rojo, arroz y de trigo

El biocarbón producido a partir de estas materias primas presentaron 90,8, 80,7 y 80,4% de carbono, 7,2, 9,11 y 9,03% de oxígeno, 1,7, 2,79 y 2,75% de hidrógeno, respectivamente, demostrando la amplia variedad de la composición química de los

biocarbones (Cheng *et ál.*, 2008 & Qiu *et ál.*, 2008). Al incorporar biocarbón de casco de arroz a un suelo contaminado con metales pesados se redujo significativamente a medida que se aumentaba la tasa de aplicación de biocarbón; sin embargo, se debe considerar el mantenimiento del estado de los nutrientes del suelo para garantizar un crecimiento óptimo de los cultivos (Kim *et ál.*, 2015).

3. PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA

El biocarbón es conocido por su potencial para elevar la productividad agrícola mediante la mejora de la calidad de las tierras degradadas, la disminución de la lixiviación de nutrientes y las emisiones de CO₂ al ambiente (IBI, 2015). Además, se determinó que a pesar del aumento de los fenómenos meteorológicos, al aplicar el biocarbón, los ecosistemas del suelo enriquecen el rendimiento agrícola (Hottle, 2013 & Biederman, 2013). Se ha demostrado que el biocarbón promueve la productividad y el rendimiento de la planta a través de varios mecanismos como los biocarbones alcalinos, ya que son más efectivos para aumentar la biomasa siendo beneficiosos en latitudes bajas donde los suelos son ácidos. Además, la aplicación del biocarbón cambia las condiciones físicas como su color oscuro alterando la dinámica térmica y facilitando una germinación rápida, permitiendo más tiempo de crecimiento (Steiner *et al.*, 2008 & Genesio *et al.*, 2012), por ejemplo en la Amazonía peruana se desarrolló el biocarbón a partir de dos materias primas como el aserrín de maderas tropicales y cáscaras de nuez de Brasil para restaurar los bosques en áreas degradadas por la extracción de oro aumentando la biomasa promedio de 55,4% y 64,8% para el biocarbón enriquecido, observando que las plantas parecen más frondosas y, en general, en mejor estado de salud respaldando la

hipótesis de que el biocarbón enriquecido tendría un efecto mayor que el biocarbón solo y control (Lefebvre *et ál*, 2017).

3.1. Retención de nutrientes

El biocarbón se caracteriza por su capacidad para retener nutrientes y agua evitando la lixiviación a las capas más inaccesibles del suelo (UPO, 2012 & CINCIA, 2017). Además, la estructura de los microporos es ocupada por las bacterias y hongos de los cultivos de modo que absorben los nutrientes que el suelo necesita como el nitrógeno, azufre, fósforo, calcio, magnesio, entre otros; evitando que estos elementos no se lixivien por la acción de la lluvia (Villamagua *et ál.*, 2013 & COSMOS, 2018d). Además, la activación del biocarbón es un método para mejorar la capacidad de adsorción de nutrientes pero va a depender de la técnica de activación, el tipo de biomasa y suelo para que sea efectivo (Koltowski, 2017), por ejemplo al evaluar los cultivos de trigo con diferentes dosis de fertilizantes añadiendo biocarbón se demostró que la planta estaba dispuesta a absorber los nutrientes, especialmente el nitrógeno, incrementando la producción en un 25% tanto en condiciones de laboratorio como en el campo (UCO, 2016), de la misma manera al analizar los resultados de la aplicación de biocarbón elaborado con vísceras de pescado y lodos de lagunas de oxidación se determina un incremento en los micro y macronutrientes mejorando la CIC y principalmente los suelos áridos del distrito de Ancón (Torres 2015).

3.2. Fertilidad

A lo largo del tiempo el biocarbón ha sido utilizado por su gran capacidad para recuperar la fertilidad del sistema edáfico en comparación de los fertilizantes convencionales; debido a que, al aumentarse la calidad del suelo durante un periodo de años, va a ser

capaz de retener una mayor cantidad de agua produciendo un mayor rendimiento en los suelos (Villamagua *et ál.*, 2013 & Traxco, 2009), por ejemplo en la producción de biocarbón a partir de residuos agroforestales y de la agricultura en la Amazonía se determinó el gran potencial para recuperar la fertilidad del suelo y así reducir la emisión de CO₂ de las actividades agrícolas a través de la captura y fijación en el suelo (Guerra, 2015).

3.3. Remoción de metales

En los próximos años la aplicación de biocarbón en la minería generaría impactos positivos en los aspectos ambientales y sociales debido a su capacidad de remediación de suelos (CIP, 2016), “in situ” siendo utilizada sola o en conjunto con otros métodos aplicados como el uso compost, biorremediación y/o fitorremediación pero la incorporación y disponibilidad de esta tecnología en forma comercial es aún incipiente (Rodríguez, A, 2018).

Se ha demostrado la eficacia del biocarbón, elaborado a partir de paja de arroz, en la remoción de metales como el cobre (III) y plomo (III) en China pues se determinó una reducción de 19,7% al 100% y del 18,8% al 77,0% respectivamente, en la movilidad y la biodisponibilidad de estos metales. Los mecanismos de eliminación de metales pesados con biocarbón modificado se atribuyen principalmente a las interacciones electrostáticas, precipitación y otras reacciones (Kong et al., 2011).

Al aplicar biocarbón en el Perú, se obtuvo una enmienda orgánica capaz de adsorber y disminuir la biodisponibilidad de metales pesados logrando altos rangos de inmovilización del plomo en un 81,89% en el sistema edáfico y 77,38% en el agua (Romero, 2017).

4. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

4.1. Propiedades fisicoquímicas del suelo

Al incorporar biocarbón al suelo las propiedades fisicoquímicas y biológicas incrementarían la productividad de los cultivos (Escalante, 2016), el volumen total de poros y microporos así como de la superficie específica al aumentar la temperatura de pirólisis (Urien, 2013), además de alterar el pH, la disponibilidad de nutrientes, la CIA y la CIC influyendo en la adsorción y desorción de nutrientes, además se determinó que mientras el CIA se reduce es probable que el CIC aumente a medida que el suelo envejece debido a la oxidación de la superficie del biocarbón (Torres, 2015 & Cox, J, 2012), incrementando la retención de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , lo que probablemente se atribuye a su elevada superficie específica, alta carga superficial negativa y elevada densidad de carga (Escalante, 2016).

Con respecto a sus propiedades físicas, el biocarbón es un sólido con una superficie intrincada y amorfa, cuyas características varían según el tipo y tiempo de la pirólisis constituido por partículas de distintos tamaños dependiendo de la fuente y tamaño de la materia prima (Escalante, 2016). Además, presenta una estructura porosa que retiene mayor humedad (Joseph, 2009) y cuenta con microporos asociados a la adsorción de compuestos líquidos, sólidos y de gases generados en el proceso de pirólisis al aumentar la temperatura (Keech *et ál.*, 2005 & Verheijen *et ál.*, 2009).

Las adiciones de biocarbón y cenizas aumentan significativamente la fertilidad del suelo en la Amazonía peruana incrementando la porosidad y la friabilidad del suelo, el contenido de carbono orgánico, el fósforo y otras concentraciones de nutrientes; además reduce la acidez y el aluminio intercambiable demostrando el potencial que

presenta para mejorar los suelos y la recuperación de los bosques bajo sistemas de cultivo migratorio (Coomes & Miltner, 2017).

4.2. Microorganismos

El biocarbón es un microambiente potencial para los microorganismos del suelo, ya que modifica la actividad biológica del suelo proporcionando un hábitat favorable a los microorganismos dentro de su estructura altamente porosa alterando la disponibilidad de sustratos y la actividad enzimática alrededor de las partículas del biocarbón demostrando un resultado favorable para los cultivos con ciclos largos de producción (Joseph, 2009 & Jaafar, 2014). Además, la asociación de biocarbón con las micorrizas en ecosistemas terrestres son potencialmente importantes en diversos servicios ecosistémicos proporcionados por los suelos, contribuyendo a la producción sostenible de plantas, a la restauración de ecosistemas y al secuestro de carbono del suelo y, por lo tanto, a la mitigación del cambio climático global (Quilliam, 2013). Al realizar experimentos en invernaderos, se ha demostrado que la incorporación de biocarbón en sustratos mejora la producción de las cosechas incrementando las poblaciones de microbios que promueven el crecimiento y la supresión de enfermedades de las plantas. Además, la inoculación de un sustrato a base de turba con biocarbón que tenga rizobios y hongos micorrícicos puede servir como un potencial activador de microbios (Warnock *et ál*, 2007 & Cox, J, 2012).

Se ha determinado que la adición de biocarbón puede causar algunos cambios en la composición, estructura de la comunidad microbiana y posiblemente en las relaciones tróficas (Lehmann, 2011), por ejemplo aumentando la biomasa microbiana generando cambios significativos en la composición de la comunidad microbiana y las actividades

enzimáticas incidiendo en los efectos biogeoquímicos en los ciclos de los elementos y el crecimiento de los cultivos (Ding et ál, 2016); sin embargo, el pH y las propiedades físicas del biocarbón como la estructura de los poros, el área superficial y la materia mineral tienen un papel importante en la determinación de cómo se afecta la biota del suelo; de igual manera, la sorción y la inactivación de sustancias inhibidoras del crecimiento aumentan la abundancia de la microbiota en el suelo (Lehmann, 2011).

Al utilizar el biocarbón como enmienda del suelo va a aumentar la cantidad de la comunidad bacteriana y disminuir la abundancia de hongos en el suelo (Chen et al., 2013). Además, la materia orgánica juega un papel importante en la actividad biológica debido a que está directamente relacionado con la cantidad, diversidad y la actividad de la fauna en el suelo y los microorganismos generando una gran influencia sobre las propiedades fisicoquímicas de los suelos (Robert, 1996).

5. AGUA

5.1. Capacidad de retención

El biocarbón puede mejorar la capacidad de retención de agua (CRA) en el suelo facilitando la ganancia de biomasa y al aplicarlo al suelo se puede aumentar la permeabilidad reduciendo la escorrentía y los costos de riego (Laird et al., 2010 & Kammann et al., 2011 & De Gryze et al., 2010), además conduce a la disminución en la densidad aparente, aumento en el volumen total de los poros e incremento del contenido de agua en el punto de marchitez permanentemente (Abel *et ál.*, 2013)

El aumento de la temperatura del suelo debido a la reducción del albedo por el color oscuro del biocarbón aumentaría la temperatura en el recurso junto con la CRA y el

contenido de nutrientes beneficiando la germinación de las semillas y a la actividad microbiana (Downie et al. 2009), al adicionar el biocarbón se va a aumentar el contenido de agua debido a la estructura de los poros del suelo (Ulyett *et ál.*, 2013) y podría favorecer a la producción de cultivos en zonas semiáridas y reducir la necesidad de agua en cultivos de regadío, además el aumento de la capacidad de retención hídrica puede ser un factor muy importante en suelos arenosos, caracterizados por una elevada permeabilidad, permitiendo retener mayor cantidad de agua disponible para las plantas durante periodos de tiempo más largos (Olmo, 2016).

El biocarbón mejora significativamente la capacidad de retención del agua en suelos de arena franca en comparación de la cicuta que fue capaz de mantener el 268% de su peso seco en agua, mientras que la muestra de biocarbón pudo mantener el 449% de su peso seco en agua (Yu, 2017). Además, en el distrito de San Mateo se ha utilizado el biocarbón como una herramienta eficaz por su CRA, el contenido de nutrientes, la reducción e inmovilización de sustancias tóxicas, metales pesado y pesticidas convencionales (Escalante, 2013 & Romero, 2017).

6. RENTABILIDAD ECONÓMICA

6.1. Aplicación del modelo socioeconómico

En Asia se realizó una transacción por un número pequeño de empresas que compraron un volumen de 7457 toneladas métricas de biocarbón, donde el 87% de materia prima procedía de biomasa forestal, por un precio al por mayor de US \$2,06/kg y el precio por menor a US \$ 3,08/kg. Si esta acción se aplicara en países en desarrollo los agricultores obtendrían \$210 y/o \$360 por hectárea (IBI, 2013).

Al analizar un estudio sobre la expansión agrícola en la Amazonía a través de un modelo de optimización se determinó que después de 10 años, un agricultor pionero representativo que produce carbón vegetal generaría un 17% más de ingresos netos y un 17% menos de superficie boscosa y al realizar un análisis de sensibilidad se predijo que cualquier trabajo adicional se dedicará principalmente a la producción de carbón vegetal reforzando el efecto de conservación (Labarta, 2008).

La tasa de aplicación de biocarbón en un cultivo de trigo cuyo pH aumentó de 4,5 a 6-6,5 es de 76,53 T/ha debido a que el rendimiento del trigo bajo pH 4.5 se estima en 3924.44 kg/ha y para un pH 6,0 es 6219,44 kg/ha aumentando el rendimiento en un 58% (Collins, 2008), al considerar un costo de \$0,28/kg de trigo, los ingresos incrementarían de \$1098,84/ha a \$1741/ha (Union Elevator & Warehouse Co, 2008).

6.2. Costo del biocarbón

Depende de varios parámetros como la recolección de materia prima, transporte, escala de producción y distribución; la ausencia de estos datos complica el cálculo del coste económico del biocarbón (Kulyk, 2012). Una estimación del costo es de \$50-200/t (Van Zwieten, 2007), \$500/t de biocarbón sin incluir envío (USBI, 2018), un rango entre \$0-682,54/t dependiendo de la materia prima y los costos unitarios de la pirólisis, un valor de cero significa la suposición de que la producción de biocarbón genera dinero y, por tanto, el costo de producción de biocarbón es 0 (Shackley *et ál.*, 2011), por biocarbón de madera dura de buena calidad a \$2000/t (Whitman, 2012) y para residuos de madera \$91-329/t según el tipo de almacenamiento y la instalación de producción (Shackley *et ál.*, 2011). Analizando las condiciones de producción y los tipos de materia prima reducen este rango a \$200-500/t de biocarbón debido a que ningún costo de producción

puede ser igual a 0, evaluando las cifras reportadas con frecuencia y es más factible utilizar los residuos leñosos que la madera dura (Kulyk, 2012).

6.3. Costo de aplicación de biocarbón

El costo de aplicación con el método de difusión y disco cuesta \$71.6-741.3/ha para la tasa de aplicación de 6.2-123.5 toneladas de biocarbón/ha y el costo del método de trinchera y relleno es \$64.2-1265.2/ha y la tasa de aplicación de 12.35-185.3 toneladas/ha (Williams & Arnott, 2010).

A una tasa de aplicación de 76.53 toneladas de biocarbón, el método de difusión y disco costará \$485/ha y el método de trinchera y relleno costará \$523.57/ha. En el análisis costo beneficio se utiliza un promedio de estos dos métodos porque la investigación del Estado de Washington no especifica el método de aplicación utilizado en análisis y el rango es muy estrecho (Kulyk, 2012).

6.4. Valoración del secuestro de CO₂

Para estimar el potencial de secuestro de carbono del suelo con biocarbón, cada tonelada de biocarbón aplicada al suelo contiene 0.61-0.80 toneladas de carbono, un equivalente de 2,2-2,93 toneladas de CO₂ puede ser secuestrado. El valor en dólares del secuestro de una tonelada de CO₂ se estima en \$2,93-90,83/MT de biocarbón (basado en el mercado precios de las compensaciones de CO₂ en el Chicago Climate Exchange y el European Climate Exchange, un rango de \$1-31/MT de CO₂), el rango del precio del CO₂ varía (Kulyk, 2012), pero una estimación concluye que una tonelada de biocarbón contiene 80% de carbono y, por lo tanto, puede secuestrar 2,93 toneladas de CO₂ (Collins, 2008).

6.5. Escenarios de costos de biocarbón

Un biocarbón de baja calidad (\$200/t) el costo de 76,53 toneladas de biocarbón necesario para alcanzar un nivel de pH del suelo de 6-6,5 propicio para el cultivo de trigo, será igual \$15,306.00; según la estimación preferida, (\$350/t) costará \$26,785.50 y para uno de alta gama (\$500/t) costará \$38,265.00 para lograr el nivel de pH del suelo requerido (Kulyk, 2012).

6.6. Análisis de la producción de biocarbón

La pirólisis a pesar de ser una tecnología desarrollada en la antigüedad es la etapa más costosa de la producción de bioenergía, representa el 36% del costo total del sistema debido al consumo de grandes cantidades de energía y por la fuerza de trabajo más calificada que requiere en comparación con otras etapas (Coleman *et ál.*, 2010). Asimismo, en un estudio sobre los criterios de inversión del mercado de carbono para proyectos de biocarbón realizados por la Comisión de Energía de California (CEC), se determinó que la pirólisis puede ser una de las inversiones más costosas de energía y recursos para la producción de biocarbón (Weisberg *et ál.*, 2014). A pesar de que el biocarbón se está volviendo conocido, esta etapa aún se encuentra en investigación y desarrollo; sin embargo, si la demanda de producción aumenta debido a sus beneficios ambientales, habrá más énfasis en desarrollar un sistema altamente eficiente y rentable, reduciendo así el costo de la pirólisis (Homagain, 2016).

El costo de recolección de materia prima es más elevado que el costo de transporte, 12% y 9% respectivamente, si se utiliza un servicio establecido por contratistas en el área de estudio debido a que la recolección de estas grandes cantidades de materia prima como cosecha forestal, residuos de aserrados y árboles infrutilizados es

laborioso y requiere mucho tiempo (Homagain, 2016), pero si la materia prima es principalmente agricultura o residuos municipales, el costo de transporte es mayor que la recolección de materia prima (Simon et ál., 2010).

El costo de aplicación de la tierra (14%) es más alto que el costo de recolección y transporte de la materia prima debido a la variabilidad de la tierra, la distancia y la tasa de aplicación de la provincia de Ontario; sin embargo, se considera que la aplicación de la tierra está devolviendo el secuestro de carbono a la naturaleza en un largo plazo, por lo que el crédito de carbono acumulado a partir del secuestro finalmente compensa este costo a largo plazo (Homagain, 2016).

Los costos de la construcción son bastante inciertos, como lo son, en menor medida, los costos de operación pero si se reduce el total de la planta fija más el costo de operación en un 49%, la pirólisis rápida será rentable; si bien la pirólisis lenta se vuelve más rentable, la materia prima sola excede el valor de los productos bajo supuestos básicos y ningún cambio en el costo de operación puede hacer que sea rentable. (McCarl *et ál.*, 2009).

CONCLUSIONES

Se ha determinado que el biocarbón es un sistema esencial para países en desarrollo porque permite enfrentar los problemas de alcance mundial relacionados con la producción de alimentos y el cambio climático, asegurando la optimización de la agricultura sostenible en el Perú elevando la productividad del suelo hasta en un 25% permitiendo un equilibrio ambiental a través de la reducción del uso excesivo de fertilizantes, aumentando la fertilidad de los sistemas edáficos y mejorando la capacidad de retención de nutrientes y agua mediante el microambiente que proporciona el

biocarbón para los microorganismos del suelo demostrando un resultado favorable para los cultivos con ciclos largos de producción.

Al realizar este análisis cualitativo centrado en el uso de biocarbón como aditivo en el suelo y sus posibles beneficios de captura de carbono para usos agrícolas, se evaluó si la aplicación de biocarbón en el suelo puede ser económicamente factible dando como resultado una gama de parámetros a evaluar que inciden en el cambio del costo de esta técnica, es por ello que existe una controversia sobre la rentabilidad económica sobre este producto, pues su precio puede variar desde \$200 – 500/t dependiendo de la calidad del biocarbón que se desea emplear.

La implementación del biocarbón en el Perú aún es un procedimiento que está desarrollándose a diferentes escalas en la Amazonía debido a la falta de concientización sobre el impacto positivo que realiza esta herramienta para la lucha contra el cambio climático, reduciendo la concentración de CO₂ emitido a la atmósfera en un 12% anualmente y a la vez ofreciendo beneficios económicos como el incremento en un 17% más de los ingresos netos, y ambientales mejorando las propiedades fisicoquímicas del suelo evitando efectos perjudiciales en el ambiente a corto y largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- IV Censo Nacional Agropecuario. 2012. Territorio y suelos. Perú: INEI
- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M., & Wessolek, G. 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202, 183-191.
- Abenza, D. P. 2012. Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta.
- ACCA. 2015. Aumentando la productividad de la tierra con biocarbón. Perú, Cusco
- AEACSV. 2017. Beneficios de la agricultura de conservación en un entorno de cambio climático. España, Madrid
- Agriculturers. 2015. Estudian las posibilidades del biocarbón, o 'abono verde', como abono orgánico. *Agriculturers: Red de especialistas en agricultura*.
- Alcántara, M. A., Camminati, R., Hironaka, L. F., & Paskvan, C. 2017. Planeamiento estratégico de la empresa fertilizante del Perú SA 2016-2018.
- Biederman, L. A., & Harpole, W. S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB bioenergy*, 5(2), 202-214.
- Carlson, C. & Hawkins, W. 2018. Biochar: A High Performance Organic Fertilizer Created From Biomass. FEECO International
- Chen, J., Liu, X., Zheng, J., Zhang, B., Lu, H., Chi, Z. & Wang, J. 2013. Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China. *Applied Soil Ecology*, 71, 33-44.

- Cheng, C. H., J. Lehmann, and M. H. Engelhard. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 72: 1598-1610.
- Collins, H. 2008. Use of biochar from the pyrolysis of waste organic material as a soil amendment: laboratory and greenhouse analyses. A Quarterly Progress Report Prepared for the Biochar Project.
- CINCIAS. 2017. CINCIAS presenta planta de procesamiento de biocarbón. Centro de Innovación Científica Amazónica. Wake Forest University
- CIP. 2016. El ingeniero de minas. Revista del capítulo de ingeniería de minas. Colegio de Ingenieros del Perú
- Coleman, M., Page-Dumroese, D., Archuleta, J., Badger, B., Chung, W., Venn, T., Loeffler, D., Jones, G. & McElligott, K. 2010. Can Portable Pyrolysis Units Make Biomass Utilization Affordable While Using Bio-Char to Enhance Soil Productivity and Sequester Carbon? USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-61. 2010
- Collins, H. 2008. Use of biochar from the pyrolysis of waste organic material as a soil amendment: laboratory and greenhouse analyses. A quarterly progress report prepared for the Biochar Project (December 2008).
- Coomes, O., & Miltner, B. 2017. Indigenous charcoal and biochar production: potential for soil improvement under shifting cultivation systems. *Land Degradation & Development*, 28(3), 811-821.
- COSMOS. 2018a. Biocarbón. Cosmos Industries

COSMOS. 2018b. Terra Preta. Cosmos Industries

COSMOS. 2018c. ¿Qué es BioCarbón?. Cosmos Industries

COSMOS. 2018d. Abono orgánico que dura toda la vida. Cosmos Industries

Countrysmeters. 2018. Población mundial

Cox, J., Downie, A., Hickey, M., Jenkins, A., Lines-Kelly, R., McClintock, A., Powell, J., Pal

Singh, B. & Van Zwieten, L. 2012. Biochar in horticulture: prospects for the use of biochar in Australian horticulture. NSW Trade and Investment.

Cueto, J., & Figueroa, U. 2012. Impacto ambiental de la fertilización y recomendaciones para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes. INIFAP Querétaro.

De Gryze, S., D. M. Cullen, and L. Durschinger. 2010. Evaluation of the opportunities for generating carbon offsets from soil sequestration of biochar. Climate action reserve. Terra Global Capital. LLC.

Devi, P., & Saroha, A. K. 2014. Risk analysis of pyrolyzed biochar made from paper mill effluent treatment plant sludge for bioavailability and eco-toxicity of heavy metals. *Bioresource technology*, 162, 308-315.

Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G., Zhou, L. & Zheng, B. 2016. Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for sustainable development*, 36(2), 36.

Downie, A., Crosky, A., Munroe, P. 2009. Physical properties of biochar. In: Lehmann J, Joseph S (eds.). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan Publications Ltd, London

- Escalante, M. A. 2013. Biocarbones (Biochars), caracterización y efecto en la biomasa y nutrición de NPK en una gramínea.
- Escalante, M. A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. D. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382.
- FAO. 2015a. Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. 2015b. Agricultura Sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. 2018. Alimentación y agricultura sostenibles. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FCH. 2016. Beneficios de la agricultura sustentable. Fundación Chile
- FIDA. 2011. La agricultura sostenible en pequeña escala: alimentar al mundo, proteger el planeta. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola.
- Franquesa, M. 2018. Agricultura convencional. Agroptima
- Genesio L, Miglietta F, Lugato E, Baronti S, Pieri M, Vaccari FP (2012) Surface albedo following biochar application in durum wheat. *Environmental Resource Letters*, 7
- Gestión. 06 de febrero de 2018. Ipsos: Tasa de crecimiento anual de población peruana es de 1.01%. Gestión

- Gomero, L., & Velásquez, H. 1999. Manejo ecológico de suelos: Conceptos, experiencias y técnicas (No. P34 G6). Red de Acción en Alternativas al Uso de Agroquímicos, Lima (Peru).
- Guerra, P. 2015. Producción y caracterización de biocarbón a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. Tesis para el título profesional de ingeniero ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
- Homagain, K., Shahi, C., Luckai, N., Sharma, M. 2015. Life cycle environmental impact assessment of biochar-based bioenergy production and utilization in Northwestern Ontario, Canada. *J For Res* 26:799–809
- Hottle, R. D. 2013. Impact of biochar on plant productivity and soil properties under a maize soybean rotation on an Alfisol in Central Ohio. The Ohio State University.
- Huerto, M. 2013. Tipos de abonos orgánicos. *EcoAgricultor*
- IBI. 2012. Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar that is Used in Soil. International Biochar Initiative. Philadelphia.
- IBI. 2013. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil
- InfoAgro. 2018. Abonos orgánicos. InfoAgro Systems
- INEI. 2012. Resultados definitivos: IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú

- Institut für Ökologie und Klimafarming. 2011. El biocarbón como material orgánico para la mejora del suelo. Nepal
- IUCN. 2012. Conquistadors, cannibals and climate change. A brief history of biochar. International Union for Conservation of Nature. Pro-Natura International
- Jaafar, N., Clode, P., & Abbott, L. 2014. Microscopy observations of habitable space in biochar for colonization by fungal hyphae from soil. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(3), 483-490.
- Joseph, S. 2009. Socio-economic assessment and implementation of small-scale biochar projects. Earthscan.
- Joshi, E., Kumar, M., Gautam, P., Lal, B., & Jat, A. L. 2013. Biochar - The Future of Agriculture. *Popular Ketu*, 1: 41-48.
- Kammann CI, Linsel S, Gößling JW, Koyro HW (2011) Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* willd. and on soil–plant relations. *Plant and Soil*, 345, 195–210.
- Kastner, R. 2014. Oro Negro: Biocarbón, una solución global para la conservación del suelo y la captura de carbono. México. Vía Orgánica
- Keech, O., Carcaillet, C. & Nilsson, M. 2005. Adsorption of allelopathic compounds by wood-derived charcoal: the role of wood porosity. *Plant Soil* 272:291–300
- Kim, H. 2015. Efecto del biocarbón en la inmovilización y absorción de metales pesados por la lechuga (*Lactuca sativa* L.) en suelo agrícola

- Kołtowski, M., Charmas, B., Skubiszewska-Zięba, J., & Oleszczuk, P. 2017. Effect of biochar activation by different methods on toxicity of soil contaminated by industrial activity. *Ecotoxicology and environmental safety*, 136, 119-125.
- Kong, H. L., He, J., Gao, Y. Z., Wu, H. F. & Zhu, X. Z. 2011. Cosorption of phenanthrene and mercury from aqueous solution by soybean stalk-based biochar. *Food Chem.*
- Kulyk, N. 2012. Cost-benefit analysis of the biochar application in the US cereal crop cultivation.
- Labarta, R. A., White, D. S., & Swinton, S. M. 2008. Does charcoal production slow agricultural expansion into the Peruvian Amazon rainforest?. *World Development*, 36(3), 527-540.
- Laird, D., Fleming, P., Davis, D., Horton, R., Wang, B., Karlen, D. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158, 443–449.
- Lashari, M., Liu, Y., Li, L., Pan, W., Fu, J., Zheng, J., Zhang, X., Yu, X & Pan, G. 2015. Biochar–manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a 2-year field experiment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1321-1327.
- Lefebvre, D., Nascimiento, P., Velázquez, G., Corvera, R., Espinoza, Y., Masias, V., Cabanillas, F., Román-Dañobeytia, F., Ascorra, C., Silman, M & Fernández, L. 2017. Biochar potential as a soil enhancer for forest restoration in areas degraded by gold mining in the Peruvian Amazon.

- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- McCarl, B., Peacocke, C., Chrisman, R., Kung, C., Sands, R. 2009. Economics of biochar production, utilization and greenhouse gas offsets. En: Lehmann J, Joseph S (eds). *Biochar for environmental management: Science and Technology*. Earthscan Publications Ltd, London
- Medina-Morales, M. & Cano-Ríos, P. 2001. Contaminación por nitratos en agua, suelo y cultivos de la Comarca Lagunera. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 2(1), 9-14.
- Medina, W. 2018. Perú: ¿Existe sostenibilidad ambiental en su agricultura?. Perú: IPAMA
- Méndez, A., Paz-Ferreiro, J., Gil, E., & Gascó, G. 2015. The effect of paper sludge and biochar addition on brown peat and coir based growing media properties. *Scientia Horticulturae*, 193, 225-230.
- MINAGRI. 2017. Reducción de la degradación de los suelos agrarios. Ministerio de Agricultura y Riego, Perú
- Morris, D. 2009. Abonos orgánicos. INTA. Estación Experimental.
- Olmo et al. 2014. Wheat growth and yield responses to biochar addition under Mediterranean climate conditions. *Biology and Fertility of Soils* 50(8): 1177-1187
- Olmo, M. 2016. Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Universidad de Córdoba. Tesis Doctoral. Córdoba

Orlando, P. 2012. Pesquisadores garipam a história contida na terra preta de índio. Natureza.

Peru Opportunity Fund. 2011. Diagnóstico de la Agricultura en el Perú - Informe Final.

Pretty J. and Waibel H. 2005. Paying the price: the full cost of pesticides. In Pretty J. The Pesticide Detox: Towards a More Sustainable Agriculture. Earthscan. London.

Qiu, S., A. J. McComb, and R. W. Bell. 2008. Ratios of C, N and P in soil water direct microbial immobilization–mineralization and N availability in nutrient amended sandy soils in southwestern Australia. Agric. Ecosyst. Environ. 127: 93-99.

Quilliam, R., Glanville, H., Wade, S. & Jones, D. 2013. Life in the ‘charosphere’–Does biochar in agricultural soil provide a significant habitat for microorganisms?. Soil Biology and Biochemistry, 65, 287-293.

Robert, M. 1996. Le sol: interface dans l’environnement, ressource pour le développement. Dunod/ Masson, Paris 240 pp.

Rodriguez, A., .2018. El biocarbón y su aplicación en suelos contaminados. V3 environmental technology. Colombia

Romero, J. R. 2017. Eficiencia en la Inmovilización de Plomo en el Suelo Mediante la Aplicación de Cantidades de Biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima. Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental. Universidad César Vallejo

SACSA. 2015. Conozca los efectos ambientales de los fertilizantes químicos. Sociedad Aeroportuaria de la Costa S.A

- Sanz, D. 2013. Biocarbón para mitigar el cambio climático. Cambio climático: Una mirada alternativa a nuestro entorno.
- Scholz, S. Sembres, T. Roberts, K., Whitman, T. Wilson, K & Lehmann, J. 2014. Biochar systems for smallholders in developing countries: leveraging current knowledge and exploring future potential for climate-smart agriculture. World Bank Publications.
- Shackley, S., Sohi, S., Brownsort, P., Carter, S., Cook, J., Cunningham, C., Gaunt, J., Hammond J., Ibarrola, R., Mašek, O., Sims, K. & Thornley, P. 2011. An Assessment of the Benefits and Issues Associated with the Application of Biochar to Soil. UK Biochar Research Centre
- Sheil, D., I. Basuki, L. German, T.W. Kuyper, G. Limberg, R. K. Puri, B. Sellato, M. van Noordwijk, and E. Wollenberg. 2012. Do anthropogenic dark earths occur in the interior of borneo? Some initial observations from East Kalimantan. *Forests* 3: 207-209
- Simon, D., Tyner, W. E., & Jacquet, F. 2010. Economic analysis of the potential of cellulosic biomass available in France from agricultural residue and energy crops. *Bioenergy Research*, 3(2), 183-193.
- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., & Bol, R. 2009. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. *CSIRO Land and Water Science Report*, 5(09), 17-31.
- Spokas KA, Cantrell KB, Novak JM, Archer DW, Ippolito JA, Collins HP, Boateng AA, Lima IM, Lamb MC, McAloon AJ, Lentz RD, Nichols KA (2012) Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *J Environ Qual* 41:973–989

- Steiner C, Glaser B, Geraldtes Teixeira W, Lehmann J, Blum WE, Zech W (2008) Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171, 893–899.
- Torres, S. 2015. Uso de biocarbón elaborado con vísceras de pescados y lodos de lagunas de oxidación para el mejoramiento de suelos áridos del distrito de Ancón–Lima-Perú. Tesis para título de Ingeniero Ambiental. Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú
- Traxco. 2009. Biocarbón, poder fertilizante. Traxco S.A. Componentes para sistemas de riego Pivot
- UCO. 2016. ¿Por qué el biocarbón en el suelo beneficia la captación de fertilizantes?. Agricultors: Red de especialistas en agricultura. Chile
- Ulyett, J., Sakrabani, R., Kibblewhite, M., & Hann, M. 2014. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. *European Journal of Soil Science*, 65(1), 96-104.
- UNAL. 2014. Exceso de fertilizantes en el país afecta economía, ambiente y salud. El espectador
- Union Elevator & Warehouse Co., 2008. Cash Prices: FOB Lind—August 2008 price posted on July 15, 2008
- UPO. 2012. Caracterización del biocarbón para determinar su viabilidad como sumidero de carbono y aditivo agrícola. Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

- Urien, A. 2013. Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirolisis de biomasa residual. Universidad Nacional de Educación a distancia. Madrid, España.
- USBI. 2018. Biochar then & now. US Biochar Initiative: Building the future from the ground
- Van Zwieten, L. 2007. Research Confirms Biochar in Soils Boosts Crop Yields.
- Vargas-Parada, L. 2016. Biocarbón: negro es el nuevo verde. El economista
- Villamagua, M., Valarezo, L., Valarezo, C., & Ramón, C. T. M. 2013. Efecto de granulometrías de biocarbón sobre las condiciones físicas del suelo y tensiones de humedad en el cultivo del tomate *Solanumlycopersicum*, bajo invernadero. Comité Editorial, 3(1), 93.
- Villar, R. 2015. Biocarbón: el abono verde que combate el cambio climático. Contador de Luz
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van der Velde, M. & Diafas, I. 2010. Biochar Application to Soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR, 24099, 162
- Warnock, D., Lehmann, J., Kuyper, T. & Rillig, M. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant and soil*, 300(1-2), 9-20.
- Wilmoth, J. 2016. Population Division. United Nations: Department of Economic and Social Affairs.

Weisberg, P., Delaney, M., & Hawkes, J. 2014. Carbon market investment criteria for biochar projects. Publication no. CEC-500-02-004. California Energy Commission, Sacramento.

Whitman, M. 2012. Biochar. BlueSkyBiochar. California

Williams, M. & Arnott, J. 2010. A comparison of variable economic costs associated with two proposed biochar application methods. *Annals of Environmental Science*.

Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, 1, 56.

Yu, O. Y., Harper, M., Hoepfl, M., & Domermuth, D. 2017. Characterization of biochar and its effects on the water holding capacity of loamy sand soil: Comparison of hemlock biochar and switchblade grass biochar characteristics. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(5), 1474-1479.