



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Biocarbón de residuos lignocelulósicos en la mejora de las
propiedades físico – químicas del suelo**

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Quispe Caballero, Flor (ORCID: 0000-0002-5733-9465)
Suarez Vergara, Jorge Miguel (ORCID: 0000-0003-1246-2117)

ASESOR:

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (ORCID: 0000-0001-9146-7615)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

Trujillo – Perú

2020

Dedicatoria

A Dios, mi fuente de fe, confianza y esperanza, por guiarme por el buen camino, por darme fuerzas para seguir adelante.

A mis padres, Laura Caballero López y Santos Quispe Huaccha, por sus consejos, amor, comprensión, apoyo incondicional, por apoyarme con los recursos necesarios para poder estudiar y de esa manera culminar mi carrera profesional; a mis hermanas y hermano por acompañarme a lo largo de mi formación profesional. Lo cual me han inculcado valores, principios y el coraje de conseguir mis objetivos.

Quispe Caballero Flor

Suarez Vergara Jorge Miguel

A Dios por haberme guiado por el buen camino y darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar ante las dificultades que se presentan.

A mis padres Regina Vergara y Víctor Sánchez, a mis tíos Jorge y Miguel Vergara y a mi abuelita Luzmila Saldaña y a todos mis familiares por haberme inculcado mis valores, principios y mi perseverancia además de acompañarme con paciencia, cariño y alegría a lo largo de este camino.

Agradecimiento

Principalmente agradezco a la Universidad César Vallejo por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas en su seno científico para poder estudiar mi carrera, así como también expreso mi gratitud, a mis docentes, fuente interminable de conocimiento durante mis años de formación académica.

Un reconocimiento especial a mi asesor Dr. José Alfredo Cruz Monzón quien con su dedicación, entrega, nobleza y trabajo hizo posible que culminara este trabajo de investigación.

Y para finalizar, también agradezco a mis amigos y compañeros de clase durante todos los niveles de Universidad ya que gracias al compañerismo y apoyo moral han aportado un porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Quispe Caballero Flor

Suarez Vergara Jorge Miguel

Expreso toda mi gratitud a Dios por la vida, a mis padres Regina Vergara y Víctor Sánchez, a mis tíos Jorge y Miguel Vergara y a mi abuelita Luzmila Saldaña y a todos mis familiares por haberme apoyado y ayudado incondicionalmente para lograr mis objetivos, sueños y metas.

A mí asesor Dr. José Cruz por la paciencia, dedicación y entrega que hizo posible la culminación de esta investigación.

A mis amigos, que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante estos 5 años

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA.....	8
3.1. Tipo y diseño de investigación	8
3.2. Escenario de estudio	8
3.3. Participantes.....	8
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	8
3.5. Procedimiento.....	8
3.6. Rigor científico.....	10
3.7. Método de análisis de la información	10
3.8. Aspectos éticos.....	11
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
V. CONCLUSIONES	24
VI. RECOMENDACIONES.....	24
REFERENCIAS	25
ANEXOS.....	38

Índice de tablas

Tabla 1: Base de datos general	9
Tabla 2: Criterios de inclusión selectiva de artículos indexados	9
Tabla 3: Base de datos en segunda instancia	10
Tabla 4: Artículos utilizados en la revisión sistemática	15

Índice de figuras

Figura 1: Artículos científicos con relación a los años de investigación.....	12
Figura 2: Principales residuos lignocelulósicos en función a los artículos científicos.	13
Figura 3: Principales residuos lignocelulósicos reportados en los artículos seleccionados.....	18
Figura 4: Tipo de suelo en relación a los artículos científicos.....	19
Figura 5: Mejora de las propiedades del suelo y uso de biocarbón	21

Resumen

La degradación del suelo es un problema causado principalmente por malas prácticas agrícolas, así como por la excesiva generación y liberación de residuos sobre todo agroindustriales, por lo cual se hace necesario buscar alternativas de mitigación para ambos problemas que aquejan nuestra sociedad. Es por ello que el objetivo de la presente investigación fue realizar una revisión de la literatura de base de datos de acceso libre para identificar y caracterizar los diversos tipos de suelos que son mejorados en sus propiedades físico-químicas por la aplicación de biocarbón de residuos lignocelulósicos. La metodología consistió en la búsqueda primaria en las bases de datos Scopus, ScienceDirect, ResearchGate, Scielo y ESBCOhost utilizando palabras claves de búsqueda “biochar”, “soil”, “Lignocellulosic residuos” y “soil properties”, y posteriormente aplicando criterios de selección establecidos, se logró recuperar 26 artículos de revistas indexadas de acceso libre relacionados al tema de investigación. Se concluye que los principales materiales utilizados en la obtención de biocarbón son residuos de madera y cáscara de arroz, asimismo que la aplicación de biocarbon mejora las propiedades del suelo principalmente pH, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, densidad aparente del suelo y nitrógeno total, siendo el suelo arcilloso quien presenta los mejores resultados.

Palabras clave: revisión sistemática, suelo, biocarbón, residuos lignocelulósicos.

Abstract

Soil degradation is a problem caused mainly by bad agricultural practices, as well as by the excessive generation and release of waste, especially agro-industrial waste. That is why the objective of the present research was to carry out a review of the literature in an open access database to identify and characterize the different types of soils that are improved in their physical-chemical properties by the application of biochar from lignocellulosic residues. The methodology consisted of a primary search in the Scopus, ScienceDirect, ResearchGate, Scielo and ESBCOhost databases using the keywords "biochar", "soil", "lignocellulosic residues" and "soil properties", and subsequently applying established selection criteria, 26 articles from open access indexed journals related to the research topic were retrieved. It is concluded that the main materials used in obtaining biochar are wood residues and rice husks, also that the application of biochar improves soil properties mainly pH, cation exchange capacity, electrical conductivity, soil bulk density and total nitrogen, being the clay soil the one that presents the best results.

Keywords: systematic review, soil, biochar, lignocellulosic residues.

I. INTRODUCCIÓN

El gran incremento de la sensibilidad, protección, preocupación, e importancia hacia al medio que nos rodea ha concebido un gran interés en los bienes y servicios que nos da la naturaleza (Sadia et al, 2020, p.1), entre las principales preocupaciones se tiene la gran cantidad de residuos orgánicos que se generan un claro ejemplo es la agroindustria brasileña la cual genera cerca de 200 millones de toneladas al año (Da silva et al, 2018, p. 1), sumado a lo anterior también se tiene al bajo rendimiento de la productividad agrícola, la emisión de los gases de efecto invernadero y la degradación de los suelos (Agegnehu et al, 2016, p.1). Esto se debe los diversos problemas que tiene el suelo como las malas prácticas agrícolas, la erosión, la tala indiscriminada, la intromisión de la agricultura en zonas que no son aptas para cultivos lo cual trae consigo impactos económicos y medio ambientales. (Adekiya et al, 2020, p. 1).

Por lo tanto, la tendencia actual es revolucionar la forma como se están llevando las técnicas y tecnologías de cultivo en la agricultura, por consiguiente, se es necesario buscar soluciones que no influyan de forma negativa en el suelo. (Cybulak, Sokolowska y Boguta, 2019, p 1), (Andi, 2020, p.1).

Por ello, una opción de enmienda para poder equilibrar los diversos nutrientes y mejorar la captura de CO₂ (Zhai et al, 2014, p. 1), restaurar y potenciar las propiedades físico-químicas, la biodiversidad y el carbón orgánico del suelo (Syuhada, 2016, p. 1), remediación y mitigación de los gases de efecto invernadero (Oladele. 2019, p. 1y Thangara et al, 2018, p. 3), es el uso del biocarbón (Novak, 2019, p. 2), lo cual viene a ser un subproducto que se obtiene cuando se calienta la materia prima en un recipiente con o sin ausencia de oxígeno (Sonsol et al, 2018, p. 1 y Shi, Zhang y Zhao 2018, p.2), este proceso es llamado pirolisis en donde interviene la temperatura, la velocidad de calentamiento y el tiempo (Ippolito et al, 2016, p. 1), después del proceso de la pirolisis el biocarbón que queda se compone principalmente de carbono, pequeñas cantidades de nitrógeno y cenizas, calcio y potasio (Dume, Berecha y Tulu, 2015, p. 1). La materia prima es encontrada en residuos orgánicos que contienen celulosa, hemicelulosa o lignina (Herath, Camps y Hedley, 2013, p. 3), que pueden ser encontrados desde la materia forestal hasta la agricultura. (Mohammad, Asadi y Abrishamkesh, 2019, p. 1).

Además, el biocarbón no solamente actúa en las propiedades del suelo, sino también en el rendimiento de la producción de cultivos, que puede depender de la materia prima del que ha sido elaborado el biocarbón (Laungani et al, 2016 p. 1.) Este último es utilizado en lugares de mayor desarrollo, en consecuencia, se da una mayor calidad y productividad de alimentos por ende un menor precio. Con el fin de contrarrestar a los métodos de fertilización en los que se tiene al excesivo uso de pesticidas y el escaso uso de materia orgánica, se generan deficiencias de nutrientes en el suelo, degradando la calidad del suelo, incluso al extremo de dejarlos improductivos (Castillo et al, 2018, p.1). es por ello que se planteó la siguiente pregunta de investigación ¿Qué tipos de suelos son mejorados en sus propiedades físico – químicas por el biocarbón de residuos lignocelulósicos en base de literatura revisada?

Una alternativa es incorporar biocarbón al suelo, ya que tiene capacidad de capturar el carbono, absorbiendo y transformando el CO₂ (carbono orgánico y materia orgánica) (Dume, Berecha y tulu, 2015, p. 2), (Liu et al. 2019, p.1), asimismo, aumenta la disponibilidad de nutrientes (Sigua, Novak y Watts, 2016 p .1), mejora de manera significativa la calidad del suelo (principalmente en suelos que tengan signos de degradación ya sea baja, media o alta), sumado a esto puede utilizarse sin ningún problema en compañía de otros fertilizantes (Galazka et al, 2019, p. 1). Es por ello que se planteó como objetivo general, realizar una revisión de la literatura de base de datos de acceso libre para identificar y caracterizar los diversos tipos de suelos que son mejorados en sus propiedades físico – químicas por la aplicación de biocarbón de residuos lignocelulósicos. Que permitirían proponer bajo qué condiciones más generales que el biocarbón se puede utilizar en diferentes tipos de suelos. Y como objetivos específicos, identificar los principales residuos lignocelulósicos que son utilizados en la elaboración de biocarbón determinar qué tipo de suelo tuvo la mayor eficacia en la mejora en sus propiedades físico – químicas e identificar que propiedades físico - químicas tiende a ser mejorados por el biocarbón de residuos lignocelulósicos.

II. MARCO TEÓRICO

En el caso de Sadia et al. (2020) en su investigación "Fabrication of Biochar from Organic Wastes and its Effect on Wheat Growth and Soil Microflora", en el cual empleo la siguiente metodología, que consistió en aplicar biocarbón de residuos de frutas y verduras en porcentajes de 0,5% y 1% en una relación de peso/peso debido que el estudio se llevó a cabo a nivel laboratorio, se hizo un análisis al suelo antes de aplicar el biocarbón se obtuvo los siguientes resultados pH de 6.5, CE de 80 us/cm y NT de 0.24% y al aplicar el biocarbón se obtuvo pH de 7.5, CE de 190 us/cm y NT de 0.5%, donde se concluye que la aplicación del biocarbón al 1% tuvo los resultados más óptimos en la mejora del pH, conductividad eléctrica (CE) y nitrógeno total (NT).

En tanto Mohammad, Asadi y Abrishamkesh. (2019) "Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil", en el cual empleo la siguiente metodología, que consistió en aplicar biocarbón de cáscara de arroz en porcentajes de 0% (control), 1% y 3% en macetas de 11 cm de ancho y 15 cm, se hizo un análisis al suelo antes de aplicar el biocarbón se obtuvo los siguientes resultados pH de 6.87, CE de 0.28 dS/cm, densidad aparente del suelo de 1.31 g.cm-3 y CIC de 5.67 cmol kg-1 y al aplicar el biocarbón se obtuvo pH de 7.2, CE de 0.22 dS/cm, densidad aparente del suelo de 1.21 g.cm-3 y CIC de 14.44 cmol kg-1, donde se concluye que la aplicación del biocarbón al 3% tuvo los resultados más óptimos en la mejora del pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y densidad aparente del suelo pero solo con la excepción de la conductividad eléctrica que ambos porcentajes realizado tiende a disminuir.

Mientras, que en el caso de Hall y Bell (2015) en su investigación "Biochar and Compost Increase Crop Yields but the Effect is Short Term on Sandplain Soils of Western Australia", en el cual se empleó el siguiente diseño experimental de 8 tratamientos con 4 repeticiones en el que se resalta la aplicación de biocarbón en 5 t.ha-1 se hizo un análisis al suelo antes de aplicar el biocarbón se obtuvo los siguientes resultados pH de 4.8, CIC de 2.58 cmol kg-1 y NT 1 g.kg-1 y al aplicar el biocarbón se obtuvo pH de 4.83, CIC de 2.62 cmol kg-1 y NT 11.5 g.kg-1 donde se concluye que la aplicación del biocarbón en 5 t.ha-1 tuvo los

resultados más óptimos en la mejora de capacidad de intercambio catiónico, pH y nitrógeno total.

Por otro lado, Lei y Zhang (2013) en su investigación “Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties”, en donde se empleó un diseño experimental de 6 tratamientos con tres replicas y una muestra control. Cada tratamiento fue mezclado el biocarbón de madera con el suelo a una tasa de 5% (w/w), antes de aplicar el biocarbón al suelo analizaron la DAS que fue de 1.22 g cm⁻³ y después de aplicar el biocarbón producido a una temperatura de 500 °C la DAS es de 1 g cm⁻³, lo cual concluye que el biocarbón redujo significativamente la densidad aparente del suelo.

Por último, Singh et al. (2018) en su pesquisa titulada: “Interactive effects of rice-residue biochar and N-fertilizer on soil functions and crop biomass in contrasting soils”, realizo un experimento en macetas de plástico de PVC de 0,018m, 0.284 m de altura y 0.284 m de diámetro con la finalidad de analizar los efectos del biocarbón de residuos de arroz, en donde aplicó biocarbón de 0, 10, 20, 40 t ha⁻¹ en suelo arenoso, se analizó el suelo antes y después de aplicar el biocarbón y se obtuvo los siguientes resultados pH de 7.2 a 7.5 y DAS de 0.09 dSm⁻¹ a 0.23 dSm⁻¹, concluyendo que la aplicación de 20 t ha⁻¹ es la más eficiente.

El biocarbón conocido también como biochar, es un producto que se obtiene al someter a la materia prima a diferentes procesos a una elevada temperatura (350 - 750°C) en un ambiente con limitada o ausencia de oxígeno, este proceso lleva por nombre pirolisis (Sonsol et al, 2018, p. 1 y Shi, Zhang y Zhao, 2018, p.2), el cual tiene como finalidad, la mejora en las propiedades del suelo (Aller, 2016, p. 6). Por lo que la biomasa y la temperatura de producción influyen de manera significativa sobre las propiedades fisicoquímicas del biocarbón (Martinsen et al, 2015).

La biomasa está compuesta por los residuos sólidos que por lo general han sido generados, fabricados y/o transformados por diferentes tipos de actividades tales como las agroindustrias, agropecuarias y urbanas, en este último se incluyen a

los municipales, forestales (Gómez, Sánchez y Mantallana, 2019, p. 1). De los residuos antes mencionados generalmente están compuestos por una amplia variedad de componentes tales como la celulosa y la lignina entre otros (Herath, Camps y Hedley, 2013, p. 3), y usualmente son denominados como residuos lignocelulosícos que generalmente son usados para degradar procesos físicos, químicos y biológicos en la obtención de azúcares, pero, en adición a ello pueden utilizar como la materia prima por excelencia para producir biocarbón para mejorar la calidad de los suelos (Muñoz, Pantoja y Cuatin, 2013, p. 3)

Para la obtención del biocarbón existen diversos procesos como: la pirolisis lenta o más conocida como convencional, el cual consiste en trabajar a velocidades lentas de calentamiento entre los 300 y 500°C con tiempos relativamente largos, exponiendo al residuo sólido orgánico que es tomado como la biomasa (Romero, Cruz y Sierra 2016, p. 1). Por otro lado, existe la pirolisis rápida, consiste en calentar la materia prima (en este tipo de pirolisis se puede obtener productos como: los carbones vegetales, los líquidos conocidos como piroleñoso, aceites vegetales y los gases ligeros) por lo que este tipo de pirolisis se realiza a temperatura entre 300 a 500 °C en promedio, con una velocidad mayores a 100 grados centígrados por segundo, caracterizada por trabajar a velocidades de calentamiento alto y por tiempos cortos de resistencia de vapor, es por eso que se alimenta de forma constante con el gas nitrógeno (Montoya et al, 2014, p. 22-23).

También se encuentra la pirolisis ultra rápida que consiste en someter la biomasa a una temperatura promedio de 1000 grados centígrados, en consecuencia, los tiempos se reducen, además de adicionar gases como en el proceso de pirolisis rápida además de vapores de agua. Sumado a esto se tiene a la Gasificación el cual somete a los residuos a grandes cantidades de temperaturas mayores a los 700°C en un ambiente en ausencia de oxígeno, el cual es suplantado con la inyección de hidrógeno y es rico en agua y/o vapor de agua, monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂). Por lo general a este proceso se suele someter a la madera ya que es considerado su proceso ideal (Escalante et al, 2016, p. 8).

La carbonización hidrotermica que tiene por siglas H.T.C o también es conocida por pirolisis húmeda. Es el proceso mediante el cual se trata de fragmentar la biomasa por medio del vapor de agua en estado sub crítico (calentado) la cual no permite que haya ebullición. En el cual las reacciones que predominan son la deshidratación y la hidrólisis. (Velázquez et al, 2019, p. 02).

Cabe destacar que el biocarbón es un producto altamente poroso y presenta una alta capacidad de absorción de agua, implicando el contenido de agua disponible para las plantas, debido a los grupos funcionales poco hidrófobos a causa de la alta temperatura de carbonización (Velázquez et al, 2019, p. 03).

Para que el biocarbón tenga un mayor rendimiento, se debe dejar cubierto de agua por un par de días, en el caso que se exceda el tiempo de activación se tendrá un efecto negativo, esto se debe a que el agua se evaporará y dejará un concentrado de cenizas lo que terminará ocasionado que el biocarbón se vuelva ácido y perjudique a la investigación (Agegnehu et al Citado por Stadler y Perteguer, 2018, p. 579).

Entre sus principales ventajas de la utilización del biocarbón es que influye en el equilibrio de los nutrientes y ayuda a mejorar la captura de CO₂ (Zhai et al, 2014, p. 1), además de mitigar los gases de efecto invernadero (Oladele. 2019, p. 1); (Thangara et al, 2018, p. 3) y restaurar y potenciar las propiedades físico - químicas (Syuhada, 2016, p. 1), ya que son de suma importancia debido a que influye de manera significativa en la calidad del suelo, debido a que promueve el crecimiento de las plantas, retiene el agua y genera aireación para la planta, es por ello que los sustratos deben tener una alta porosidad para retener agua y mejore las relaciones hídricas (Laungani et al, 2016).

El suelo es considerado como la capa superficial de la corteza de la tierra, el cual está compuesto por componentes sólidos como el material mineral que es el componente más abundante en el suelo y la materia orgánica (humus) se forma a partir de restos de plantas y animales lo cual es muy importante para la fertilidad del suelo, por lo que se ubican los poros que son ocupados por agua y aire e inanimados, tales como las rocas, tierra entre otros (Marques, Cunha y Mari, 2020, p. 118 - 119).

Que presta una gran variedad de bienes y servicios ya sea ambientales o ecosistémicos, entre los principales ejemplos se tiene a los ciclos biogeoquímicos que dota de elementos cruciales tales como el fósforo, carbono y nitrógeno que son considerados como factor clave para la existencia de la vida como la conocemos en la tierra. No obstante, los bienes más conocidos por la sociedad, son los diversos productos alimentarios y las materias primas (Burbano, 2016, p. 2-3).

Con respecto a la textura del suelo, está determinada principalmente por la materia mineral que forma el suelo, ya que así se puede hablar de un suelo arenoso debido a que son permeables al agua y al aire, pero con baja fertilidad, los suelos arcillosos son pegajosos cuando están húmedos y duros cuando están secos, son los más fértiles, pero bajo en propiedades físicas y finalmente se tiene los suelos limosos, son los que retienen los nutrientes y el agua por más tiempo. Cuando se habla de fertilidad se refiere a la capacidad que tiene el suelo para sostener el crecimiento y desarrollo de los cultivos, en donde depende de la cantidad de materia orgánica, la textura y el material parental. (INIA 2015, p. 6).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cualitativo y es considerada del tipo básica debido a que las conclusiones solo aportan información a otras investigaciones además de ser considerada como una revisión sistemática de literatura sin meta análisis.

3.2. Escenario de estudio

Estuvo conformado por los artículos seleccionados de las bases de datos indexadas, que abordan el tema del biocarbón y su utilización en diversos tipos de suelo en diferentes entornos.

3.3. Participantes

Se identificaron 296 artículos científicos que trataban sobre el biocarbón de residuos lignocelulósicos en la mejora de las propiedades físico – químicas del suelo, Sin embargo, solo se seleccionaron 26 artículos que hablaban de biocarbón de residuos lignocelulósicos en la mejora de las propiedades físico – químicas del suelo.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se realizó la revisión sistemática con información obtenida de base de datos como Scielo, Scopus, ResearchGate, Science Direct, y ESBCOhost, utilizando palabras clave como; “biochar” AND “Lignocellulosic residues” AND “Soil properties” AND “soil”, Biochar” AND “Soil properties” AND “Soil”, “Biochar” AND “Lignocellulosic” AND “Soil” y por último “Biochar” AND “Lignocellulosic residues” AND “soil Properties”

3.5. Procedimiento

El proceso de filtración de la información se dividió en tres fases:

Primera fase de búsqueda

Consistió en la búsqueda primaria de cual se obtuvieron 296 artículos procedentes de la búsqueda con las palabras claves mencionadas anteriormente, todo esto evidenciado en la tabla 1.

Tabla 1: Base de datos general

Base de Datos	N° artículos
Research Gate	97
Scopus	73
Science Direct	51
Scielo	6
ESBCOhost	69
Total	296

Fuente: Elaboración propia.

Segunda fase de búsqueda

En esta etapa se procedió a delimitar los criterios de inclusión, que fueron utilizados.

Tabla 2: Criterios de inclusión selectiva de artículos indexados

Criterio	Inclusión
Idioma	Inglés
Tipo de literatura	Artículo de revista indexada
Tipo de acceso	Abierto
Años de publicación	2013 – 2020

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se procedió a aplicar los criterios de inclusión a los artículos resultantes de la fase dos, dando como resultado un total de 76 artículos.

Tabla 3: Base de datos en segunda instancia

Base de Datos	N° artículos
Research Gate	24
Scopus	21
Science Direct	7
Scielo	6
ESBCOhost	18
Total	76

Fuente: Elaboración propia

Tercera fase de búsqueda

En esta fase se procedió a identificar los artículos que se encuentren en una o más base de datos, dando como resultado un total de 26 artículos.

3.6. Rigor científico

Respecto a la revisión sistemática, se utilizaron artículos de revistas indexadas pertenecientes a base de datos debido a su rigurosa selección y revisión, los cuales oscilaban entre el año 2013 al 2020, de forma que se obtuvieron datos veraces y con gran respaldo científico.

3.7. Método de análisis de la información

Se presentó una visión general con figuras descriptivas en base a la búsqueda primaria, en la cual se mostró el número de artículos por año dando a conocer la tendencia de la investigación en el tema estudiado, así mismo se mostró una figura con la cantidad de artículos que utilizaron en función a los residuos lignocelulósicos utilizados en

la producción del biocarbón para mejorar las propiedades físico – químicas del suelo.

Además, se presentaron tablas y figuras que muestran los hallazgos obtenidos de los 26 artículos recuperados, los cuales hacen referencia a los objetivos planteados en la presente investigación

3.8. Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación fue realizado con información verídica y fidedigna procedente de artículos científicos. Cabe resaltar que toda la información que ha sido presentada en la investigación fue realizada con fuentes verdaderas, respetando los derechos de autor y citadas cuidadosamente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados preliminares de la fase de búsqueda

En base a los 296 artículos científicos recuperados de las bases indexadas, se realiza el respectivo análisis que se muestran en la Figura 1.

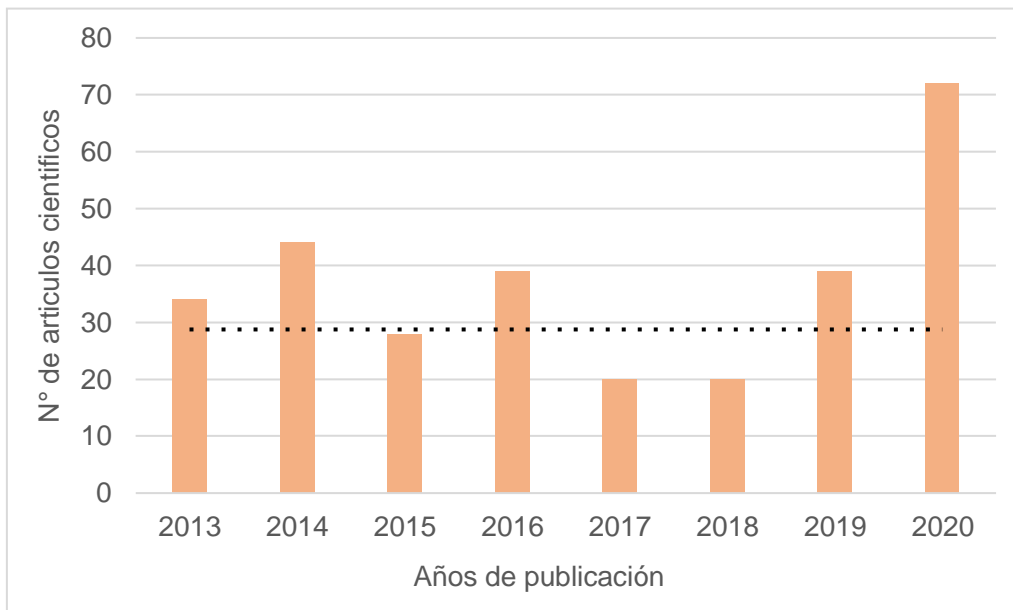


Figura 1: Artículos científicos con relación a los años de investigación

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1 se puede observar que en los últimos años hay una tendencia creciente por investigar la obtención y uso del biocarbón obtenido de residuos lignocelulósicos, lo cual muestra posiblemente la preocupación por los efectos de las malas prácticas agrícolas, (Adekiya et al, 2020, p. 1), así como búsqueda de alternativas para la disposición de los grandes volúmenes de residuos que generan las empresas agroindustriales, (Da silva et al, 2018, p. 1), es por ello que se desarrollan alternativas que no afecten de manera negativa al suelo (Cybulak, Sokolowska y Boguta, 2019, p 1 y Andi, 2020, p.1). por lo que el uso del biocarbón se vuelve más usual debido que potencia y/o mejorar las propiedades físico- químicas del suelo (Syuhada, 2016, p. 1); (Dos Santos, 2020, p. 1 y Baiamonte et al. 2018, p. 1)

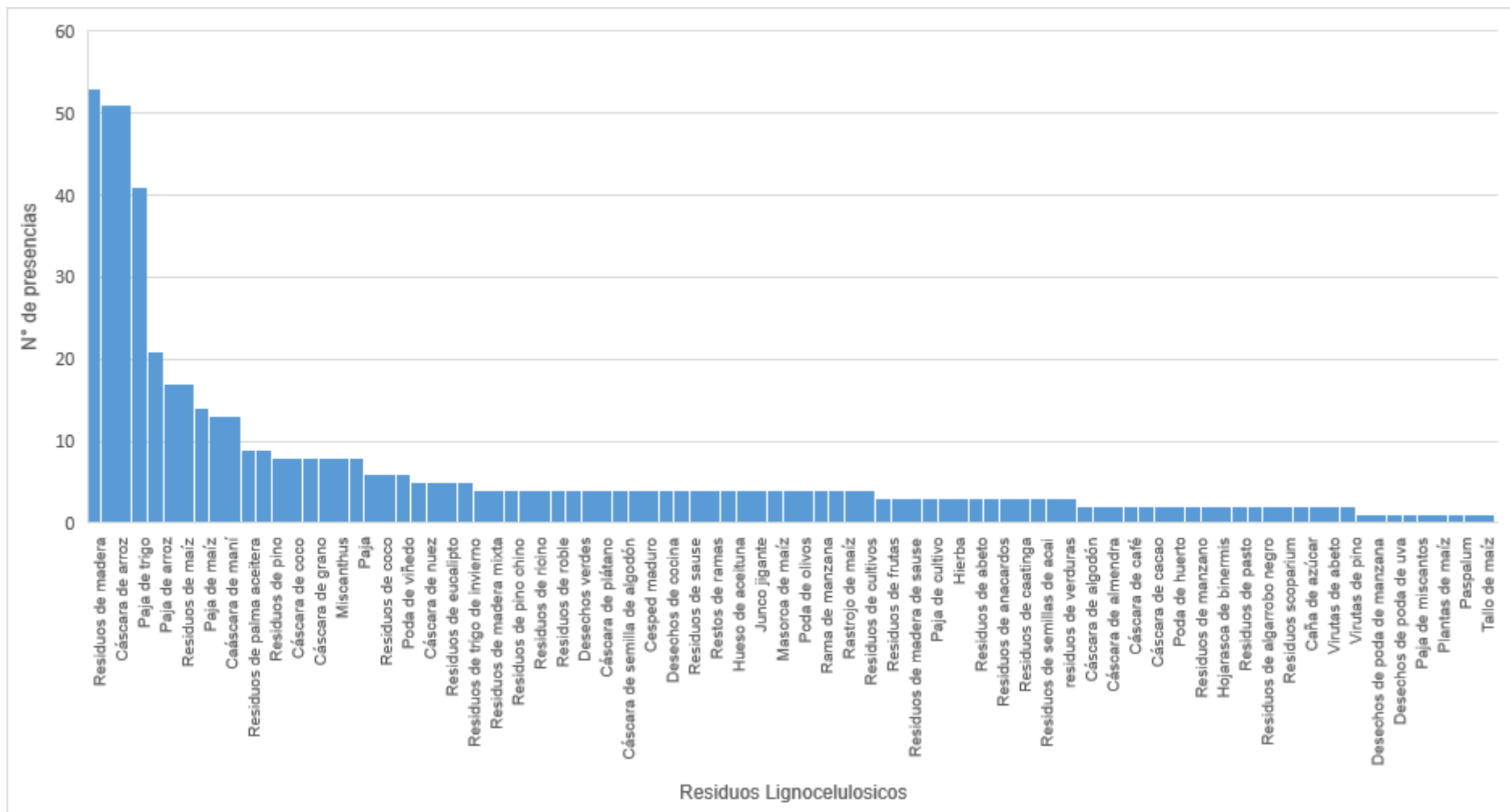


Figura 2: Principales residuos lignocelulósicos en función a los artículos científicos.

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la Figura 2 que los principales residuos lignocelulósicos mencionados en los artículos en las principales bases de datos son los residuos de madera y la cáscara de arroz, lo cual se podría explicar por la mayor presencia de contenido de lignina y celulosa (Herath, Camps y Hedley, 2013), debido a que estos residuos están siendo generados a gran escala industrial (Velázquez et al, 2019; Da silva et al, 2018) y esto influiría de manera significativa en el interés por investigar las ventajas que podría generar el uso del biocarbón y con ello el tipo de residuos a utilizar (Martinsen et al, 2015).

Resultados de la selección final

Después de haber aplicado los criterios de inclusión y la identificación de artículos duplicados se seleccionaron un total de 26 artículos los cuales se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4: Artículos utilizados en la revisión sistemática

N°	Autor	Tipo de suelo	Materia prima del biocarbón	Mejores temperaturas de pirolisis (°C)	Tiempo de pirolisis	Tipo de experimento	Parámetros de mejora	Valor inicial	Valor final
1	Dume, Berecha y tulu.	Arcilloso	Cáscara de café	500	3 horas	Laboratorio	CIC	14.36	20,99
							pH	5.12	6.14
							CE	0.02	0.09
							NT	2.8	5.4
2	Da silva et al.	Arcilloso	Caña de azúcar	400	6 horas	Laboratorio	pH	5.59	6
							CIC	52.0	55.6
3	Mohammad, Asadi y Abrishamkesh.	Arcilloso	Cáscara de arroz	500	No específica	Laboratorio	DAS	1.3	1.21
							pH	6.87	7.20
							CIC	5.67	14.44
							CE	0.28	0.22
4	Zhai et al.	Arcilloso	Residuos de maíz	400	No específica	Laboratorio	pH	6.38	7.12
							CE	0.059	0.8
5	Chintala et al.	Arcilloso	Pasto	650	No específica	Campo	pH	4.78	6.14
							CIC	3.26	19.04
6	Zhu et al.	Arcilloso	Paja de arroz	400	4 horas	Campo	pH	3.78	3.88
							CIC	0.8	0.48
7	Abrishamkesh et al.	Arcilloso	Cáscara de arroz	500	No específica	Laboratorio	pH	7.9	8
							CIC	0.139	0.162
							CE	0.0505	0.0693
8	Rabileh et al.	Arcilloso	Residuos de palma aceitera	500	No específica	Campo	pH	4.3	5.17
							CIC	10	15.30
9	Karer et al.	Arcilloso	Residuos de madera	550	No específica	Campo	pH	6.6	7.4
							CIC	0.2094	0.208

10	Trupiano et al.	Arcilloso	Poda de huerto	500	No específica	Campo	pH	6.9	8
							CE	0.71	5.9
							CIC	39.3	40.4
11	Lei y Zhang.	Arcilloso	Residuos de madera	500	No específica	Campo	DAS	1.22	1
12	Shi, Zhang y Zhao.	Arcilloso	Residuos de eucalipto	500	No específica	Laboratorio	pH	4.8	7
13	Syuhada et al.	Arenoso	Residuos de palma aceitera	500	No específica	Campo	pH	4.5	6.42
							CIC	1.7	2.8
14	Hall y bell.	Arenoso	Paja de trigo	450	No específica	Campo	CIC	2.58	2.62
							pH	4.8	4.83
							NT	1	11.5
15	Laungani et al.	Arenoso	Hojarasca de binermis	350	4 horas	Laboratorio	pH	6.7	7.5
16	Singh et al.	Arenoso	Residuos de arroz	380	No específica	Laboratorio	pH	7.2	7.5
							CE	0.09	0.23
17	Cybulak, Sokolowka y Boguta.	Arenoso	Residuos de madera	650	No específica	Campo	DAS	2.59	2.62
18	Adekiya et al.	Arenoso	Residuos de madera	500	No específica	Campo	pH	5.6	6.31
							CIC	1.0	12.5
19	Liu et al.	Arenoso	Paja de trigo	550	No específica	Campo	pH	6	6.8
							NT	1.8	2.5
20	Glab, Palowska, Zaleskiy Gondek.	Arenoso	Residuos de trigo de invierno	300	No específica	Laboratorio	DAS	1.38	1.29
21	Zhu, Peng y Huang.	Arenoso	Paja de arroz	400	No específica	Laboratorio	pH	4.55	4.38
							CIC	13.0	14.6

		Limoso					pH	5.31	5.32
							CIC	11.7	15.2
22	Mahummad et al.	Arenoso	Paja de trigo	500	No especifica	Laboratorio	pH	4.2	6.2
							NT	0.0006	0.0013
		Limoso					pH	4.7	6.7
							NT	0.0041	0.0056
23	Da silva et al.	Arenoso	Cáscara de arroz	430	No especifica	Campo	pH	5.7	6
							CIC	0.0033	0.0045
24	Oladele.	Limoso	Cáscara de arroz	400	No especifica	Campo	pH	4.90	6.84
							CE	1.54	1
							DAS	1.63	1.38
							NT	2.46	1.47
							CIC	5.44	13.54
25	Sadia et al.	Limoso	Residuos de frutas y verduras	550	2 horas	Laboratorio	pH	6.5	7.5
							CE	0.008	0.019
							NT	2.4	5
26	Herath, Camps y Hedley.	Limoso (TF)	Residuos de maíz	550	No especifica	Campo	pH	5.7	5.06
							DAS	1.10	0.94

Nota: CIC: Capacidad intercambio catiónico (cmol.kg-1), NT: Nitrógeno total (g.kg-1), DAS: Densidad aparente del suelo (g.cm-3), CE: Conductividad eléctrica (dS.m.-1).

Fuente: Elaboración propia.

En base a la Tabla 4 se muestran los principales residuos lignocelulósicos utilizados en los artículos de la selección final, esto es evidenciado en la Figura 3.

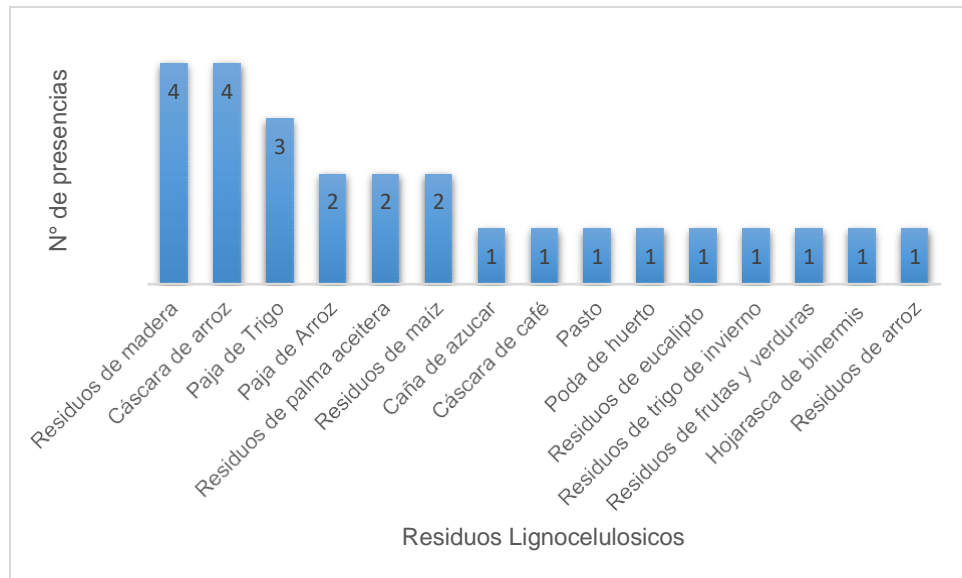


Figura 3: Principales residuos lignocelulósicos reportados en los artículos seleccionados

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se puede observar que los principales residuos lignocelulósicos que se utilizaron en los diversos artículos científicos es el de la cáscara de arroz y los residuos de madera, estos residuos son más utilizados debido a que tienen una mayor generación, otra de las razones es, que el biocarbón es elaborado de materiales de origen vegetal que estén constituidos por materiales lignocelulósicos (Quesada – Kimsey 2012 citado por Velázquez et al. 2019). En el biocarbón de cáscara de arroz aumentó aproximadamente dos puntos en el pH, aplicado en campo en un suelo limoso después de 3 años (Oladele, 2019) y en otro estudio que se aplicó en un suelo arenoso, lo cual solamente aumento un punto (Da Silva et al. 2017), la diferencia del aumento del pH posiblemente se deba a que se aplicó a diferentes tipos de suelo o la profundidad de aplicación del biocarbón. También mejoro la capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica y densidad aparente, en los estudios realizados en laboratorio. En el caso del biocarbón de residuos de madera que se aplicó en un suelo

arcilloso donde aumento el pH (Karet et al. 2013) y con respecto a la densidad aparente disminuyo ya sea en campo como en laboratorio (Adekiya et al. 2020 y Lei y Zhang 2013), caso contrario paso en donde se aplicó biocarbón en un suelo arenoso tuvo un aumento mínimo en la densidad aparente de 2.59 g cm⁻³ a 2.62 g cm⁻³, la diferencia de resultados se puede deber a la cantidad de aplicación de biocarbón que se aplicó en el suelo.

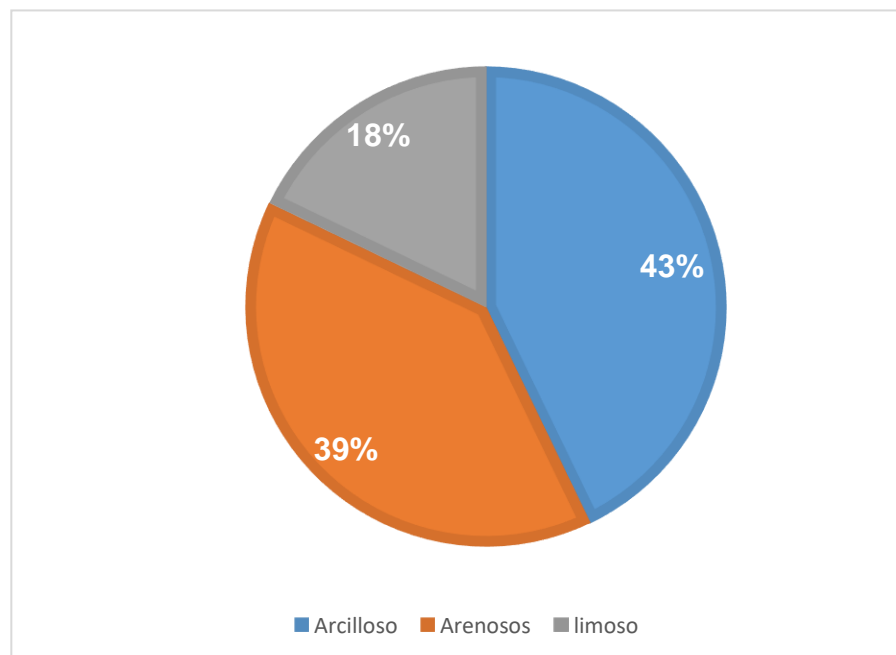


Figura 4: Tipo de suelo en relación a los artículos científicos.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4 se puede observar que el tipo de suelo más utilizado fue el suelo arcilloso, el cual mejoro la capacidad de intercambio catiónico, pH y conductividad eléctrica, aplicando biocarbón de cáscara de café, caña de azúcar, residuos de maíz, pasto, paja de arroz, cáscara de arroz y residuos de palma aceitera (Dume, Berecha y Tulu, 2015; Da silva et al. 2018; Zhai et al. 2014; Chintala et al. 2014; Agegnehu et al. 2016; Rabileh et al. 2015; Shi, Zhang y Zhao 2018, Zhu, Peng y Huang 2015; Karer et al. 2013 y Trupiano et al 2017), en el caso es en la densidad aparente disminuyó al igual que en el suelo arenoso (Mohammand, Asadi y Abrishamkesh 2019), lo cual explica que puede ser por las propiedades que contiene el biocarbón lo que indicaría que hay una mayor porosidad en el suelo. Por otro lado, en el 39% de

artículos científicos realizaron estudios en suelos arenosos, donde el biocarbón de residuos de palma aceitera, hojarasca de binermis, residuos de arroz, paja de trigo y cáscara de arroz aumentó aproximadamente un punto en el pH del suelo (Syuhada et al. 2016, Laungani et al. 2016, Singh et al. 2018; Zhu, Peng y Huang 2015, Mahummad et al. 2017 y Da Silva et al. 2017), caso contrario en el biocarbón de residuos de maíz mantuvo el pH de 8.27 hasta el día 42 y aumento la conductividad eléctrica ligeramente en el día 15, después de ese día disminuyo (Zhai et al. 2014), lo cual posiblemente se deba a la cantidad de biocarbón que se aplicó en el suelo y al tipo de biocarbón que fue aplicado. Con respecto a la densidad aparente del suelo disminuyo aplicando biocarbón de residuos de madera y paja de miscantos (Adekiya et al. 2020; Lei y Zhang, 2013 y Glab, Palmowska, Zalesky y Gondek 2016) y el biocarbón de residuos de palma aceitera aumentaron la capacidad de intercambio catiónico, verosímilmente se deba a las condiciones climáticas, ya que el estudio se realizó en campo.

Finalmente, en el suelo limoso aumento el pH, la conductividad eléctrica y el nitrógeno total del suelo mejoraron con la aplicación del biocarbón de cáscara de arroz, residuos de frutas y verduras y paja de trigo (Oladele 2019; Sadia et al. 2020; Mahummand et al. 2017), por otro lado, con el biocarbón de residuos de maíz disminuye el pH del suelo, (Herath, Camps y Hedley, 2013) el estudio fue realizado en campo lo cual los factores ambientales pueden influir en los resultados.

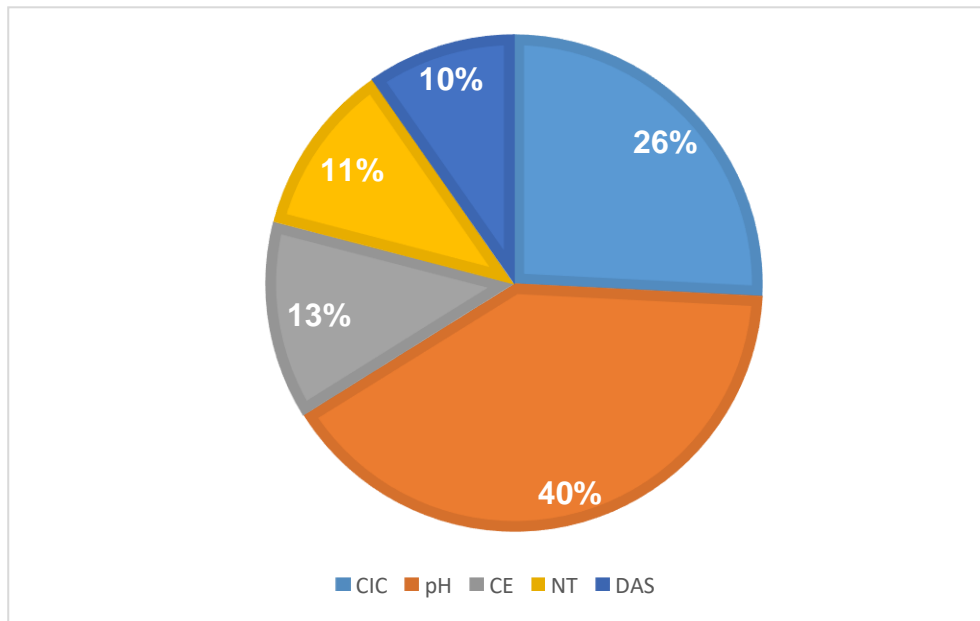


Figura 5: Mejora de las propiedades del suelo y uso de biocarbón.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5 se puede observar que la aplicación del biocarbón en el suelo mejoró el pH con un aproximado de dos puntos, siendo de 4.78 a 6.14 en un suelo arcilloso y con el biocarbón de residuos de pasto (Chintala et al. 2014), de 4.5 a 6.42 en un suelo arenoso con biocarbón de residuos de palma aceitera (Syuhada et al. 2016), de 4.83 a 7 en un suelo arcilloso y con un biocarbón de residuos de coco (Shi, Zhang y Zhao 2018) y de 4.2 a 6.2 en un suelo arenoso, con biocarbón de paja de arroz (Mahummad et al. 2017), posiblemente porque el biocarbón fue aplicado en campo y el carbón fue producido a una temperatura de 500 °C, mientras que en los demás artículos científicos aumentó aproximadamente en un punto (Dume, Berecha y Tulu, 2015; Adekiya et al. 2020; Da silva et al. 2018; Zhai et al. 2014; Laugani et al 2016; Singh et al 2018; Laugani et al. 2014; Sadia et al. 2020; Mohammad, Asadi y Abrishamkesh, 2019 y Zhu, Peng y Huang 2015), esto se puede deber a que el estudio se realizó en laboratorio y la temperatura de la elaboración del biocarbón oscilaban entre 300 y 400°C.

Con respecto a la conductividad eléctrica aumento en el suelo arcilloso de 0.02 dSm-1 a 0.09 dSm-1, con biocarbón de mazorca de maíz (Dume, Berecha y Tulu, 2015), de 50.5 dSm-1 a 69.3 dSm-1, con biocarbón de cáscara de arroz (Abrishamkesh et al. 2015) ambos elaborado en laboratorio

y de 0.71 dSm⁻¹ a 5.9 dSm⁻¹, con biocarbón de poda de huerto, elaborado en campo (Trupiano et al. 2017), este aumento del parámetro tanto en campo como en laboratorio posiblemente se deba a que el biocarbón se elaboró a una pirolisis de 500 °C, otro de los factores podría ser, la cantidad de biocarbón que fue aplicado ya que se pudo evidenciar que el incremento del parámetro se dio en la mayor tasa de aplicación al suelo.

En tanto, la capacidad de intercambio catiónico en la presente revisión indica que después de aplicar el biocarbón aumenta el parámetro físico - químico según los artículos científicos estudiados (Tabla 4), como lo indica, en los suelos arcillosos, de 14,36 cmol kg⁻¹ a 20.99 cmol kg⁻¹, aplicando biocarbón de cáscara de café (Dume, Berecha y Tulu, 2015), de 52.0 cmol kg⁻¹ a 55.6 cmol.kg⁻¹ con una dosis del 1% y con un biocarbón de caña de azúcar (Da silva et al. 2018), de 11.7 cmol kg⁻¹ a 15.2 cmol kg⁻¹ con un biocarbón de paja de arroz (Zhu, Peng y Huang 2015). El efecto del biocarbón fue positivo, probablemente se deba a que los estudios se realizaron en un laboratorio en donde los investigadores adecuan el ambiente, otra de las razones sería que el biocarbón obtenido es elaborado a una temperatura que oscila entre 400 y 500 °C, en el caso del suelo arenoso tuvo la CIC de 1.0 cmol kg⁻¹ y al aplicar el biocarbón aumento a 12.5 cmol kg⁻¹ con una aplicación de 30 t ha⁻¹, realizado en campo (Oladele et al. 2019), el biocarbón tuvo un efecto positivo, lo cual puede ser por el tipo de suelo ya que el biocarbón fue producido a una temperatura de 400 °C. Caso contrario pasa con el biocarbón de paja de arroz en donde fue aplicado en un suelo arcilloso ya que la CIC inicial fue de 0.80 cmol kg⁻¹ disminuyo a 0.48 cmol kg⁻¹ (Zhu et al. 2014), a pesar que el biocarbón fue producido a 400 °C, esto se puede deber a que el estudio fue realizado en campo y hay factores ambientales que pueden disminuir el potencial del suelo para retener e intercambiar nutrientes, como los eventos de lluvia. Y en el biocarbón de paja de trigo, fue aplicado en un suelo arenoso, en campo de 3 cmol kg⁻¹ disminuyo a 2.49 cmol kg⁻¹, en este caso podría ser que se deba al tipo de suelo ya que el biocarbón fue producido a la temperatura ya mencionada anteriormente.

Mientras que en la densidad aparente indica la compactación del suelo, lo que permite la aeración y el movimiento del agua a través del suelo lo que

también influye en el crecimiento de las raíces (Karer et al. 2013). Y de acuerdo a la figura 4 indica que el 13 % de los artículos científicos estudiaron el efecto del biocarbón en la densidad aparente del suelo, donde se informa que hubo una disminución de dicho parámetro (Tabla 4), de 1.08 g cm⁻³ disminuyó a 0.90 g cm⁻³, se aplicó biocarbón de residuos de madera en un suelo arenoso en campo (Adekiya et al. 2020), de 1.63 g cm⁻³ en el 2016 a 1.38 g cm⁻³ en el 2018, con la aplicación del biocarbón de cáscara de arroz en un suelo limoso en campo (Oladele 2019), también hay tres investigaciones que se realizaron en un laboratorio que se aplicó biocarbón de cáscara de arroz, residuos de madera y paja de miscantos, donde disminuyó la densidad aparente (Mohammad, Asadi y Abrishamkesh 2019; Lei y Zhang, 2013 y Glab, Palmowska, Zalesky y Gondek, 2016), es posible que se deba a las propiedades del biocarbón y a que se aplicó abundante biocarbón al suelo tanto en el campo (t ha⁻¹) como en laboratorio (g cm⁻³). Caso contrario al estudio que se realizó en campo con una aplicación de biocarbón de residuos de madera en un suelo arenoso, aumento la densidad aparente de 2.59 g cm⁻³ a 2.62 g cm⁻³ (Cybulak, Sokolowka y Boguta 2019), el aumento del parámetro se puede deber a que se aplicó menos biocarbón al suelo que fue de 3 kg m⁻³.

Y por último, en la aplicación del biocarbón en el suelo aumento el nitrógeno total de 2.8 g kg⁻¹ a 5.4 g kg⁻¹ en un suelo arcilloso aplicado con biocarbón de cáscara de café (Dume, Berecha Tulu, 2015), también se incrementó en un porcentaje menor en los suelos aplicados con biocarbón de cáscara de arroz, residuos de paja de trigo y residuos de frutas y verduras, realizados en campo y en laboratorio en suelo limoso y arenoso (Oladele 2019; Agegnehu et al. 2016; Hall y Bell, 2015; Sadia et al. 2020; Liu et al. 2019 y Mahummad et al. 2017), las discrepancias de los resultados probablemente se den por el tipo de suelo ya que aplicando en campo y laboratorio el biocarbón afecta de manera positiva en el nitrógeno total del suelo.

V. CONCLUSIONES

1. En base de los 26 artículos indexados y de acceso libre se identificó que los residuos lignocelulósicos más utilizados son la cáscara de arroz y los residuos de madera con un total de 15% en ambos casos.
2. Los suelos tipo del tipo arcilloso son los que reportan mayores efectos benéficos en las propiedades fisicoquímicas por el uso del biocarbón.
3. Se pudo identificar que los parámetros físicos – químicos que tienden a ser mejorados son el nitrógeno total, la capacidad de intercambio catiónico y la conductividad eléctrica; mientras que la densidad aparente disminuye, esto último indica que el suelo tiene una mejor porosidad y por ende una mayor aeración.
4. Con respecto al pH no mejora en todos los suelos, ya que disminuye en el suelo arenoso en el cual se aplicó biocarbón de paja de arroz y en el suelo limoso con biocarbón de residuos de maíz.

VI. RECOMENDACIONES

- Desarrollar investigaciones acerca de la aplicación del biocarbón de residuos lignocelulósicos en campo así poder evaluar, analizar y contrastar los efectos en las propiedades físico – químicas del suelo.
- Realizar investigaciones que permitan generalizar la acción del biocarbón según dosis y tipo de suelo.
- Promover el uso del biocarbón a partir de residuos lignocelulósicos debido a que mejora las propiedades, independientemente del tipo del suelo.

REFERENCIAS

Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil por AGEGNEHU, Getachew [et al]. *Science of the Total Environment* [en línea]. 543, 2016. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/ARSTUserFiles/60820500/Manuscripts/2015/Man986.pdf>

ISSN: 0048-9697

Biochar amendment of grassland soil may promote Woody encroachment by Eastern Red Cedar por LAUNGANI, Ramesh [et al]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* [en línea]. 16 (4), 2016. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000067>

ISSN: 0718-9516

Biochar as soil amendment: Impact on chemical properties and corn nutrient uptake in a Podzol por SYUHADA, A. [et al]. *Canadian Journal of Soil Science* [en línea]. Vol. 96, 2016. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84995580390&origin=resultslist&sort=plf)

[84995580390&origin=resultslist&sort=plf](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84995580390&origin=resultslist&sort=plf)
[f&src=s&st1=Biochar+as+soil+amendment%3a+impact+on+chemical+propertie](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84995580390&origin=resultslist&sort=plf)
[s+and+corn+nutrient+uptake+in+a+Podzol&st2=&sid=12e75ada4768ee3dbf31](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84995580390&origin=resultslist&sort=plf)
[9a930d62d6f1&sot=b&sdt=b&sl=108&s=TITLE-ABS-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84995580390&origin=resultslist&sort=plf)

[KEY%28Biochar+as+soil+amendment%3a+impact+on+chemical+properties+a](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84995580390&origin=resultslist&sort=plf)
[nd+corn+nutrient+uptake+in+a+Podzol%29&relpos=0&citeCnt=13&searchTerm](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84995580390&origin=resultslist&sort=plf)
[=](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84995580390&origin=resultslist&sort=plf)

ISSN: 0008-4271

Biochar provided limited benefits for rice yield and greenhouse gas mitigation six years following an amendment in a fertile rice paddy por LIU, Xiayou [et al].

Catena [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/334838259_Biochar_provided_limited

_benefits_for_rice_yield_and_greenhouse_gas_mitigation_six_years_following_an_amendment_in_a_fertile_rice_paddy

ISSN: 0341-8162

Capacidades de retenção hídrica do biochar explicada por microscopia electrónica. SONSOL Gondim, Rubens [et al]. *Caatinga* [en línea]. Vol. 31 (4), 2018, [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2020], Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252018000400972

ISSN: 1983-2125

CYBULAK, Marta, SOKOŁOWSKA, Zofia y BOGUTA, Patrycja. Impact of Biochar on Physicochemical Properties of Haplic Luvisol Soil under Different Land Use: A Plot Experiment. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)* [en línea]. 9 (9) 2019. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2020]. Disponible en: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85072171337&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Impact+of+Biochar+on+Physicochemical+Properties+of+Haplic+Luvisol+Soil+under+Different+Land+Use%3a+A+Plot+Experiment&st2=&sid=12e75ada4768ee3dbf319a930d62d6f1&sot=b&sdt=b&sl=129&s=TITLE-ABSKEY%28Impact+of+Biochar+on+Physicochemical+Properties+of+Haplic+Luvisol+Soil+under+Diff. erent+Land+Use%3a+A+Plot+Experiment%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85072171337&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Impact+of+Biochar+on+Physicochemical+Properties+of+Haplic+Luvisol+Soil+under+Different+Land+Use%3a+A+Plot+Experiment&st2=&sid=12e75ada4768ee3dbf319a930d62d6f1&sot=b&sdt=b&sl=129&s=TITLE-ABSKEY%28Impact+of+Biochar+on+Physicochemical+Properties+of+Haplic+Luvisol+Soil+under+Different+Land+Use%3a+A+Plot+Experiment%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=)

ISSN: 2073-4395

Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics por IPPOLITO J. [et al]. *Chemosphere* [en línea]. 142, 2016, [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020], Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/60820500/Manuscripts/2015/Man976.pdf>

ISSN: 0045-6535

Designing relevant biochars as soil amendments using lignocellulosic-based and manure-based feedstocks por NOVAK, Jeffrey [et al]. *Journal of Soils and*

Sediments [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84893779486&origin=resultslist&sort=plff&src=s&st1=Designing+relevant+biochars+as+soil+amendments+using+lignocellulosic-based+and+manure-based+feedstocks&st2=&sid=6352e9c591a799693ee2034761d339b6&sot=b&sdt=b&sl=117&s=TITLE-ABS-KEY%28Designing+relevant+biochars+as+soil+amendments+using+lignocellulosic-based+and+manure-based+feedstocks%29&relpos=0&citeCnt=77&searchTerm=>

ISSN: 1439-0108

DUME, Bayu, BERECHA, Gezahegn Y TULU, Solomon. Characterization of Biochar Produced at Different Temperatures and its Effect on Acidic Nitosol of Jimma, Southwest Ethiopia. *International Journal of Soil Science* [en línea]. 10 (2), 2015. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84936777846&origin=resultslist&sort=plff&src=s&st1=Characterization+of+Biochar+Produced+at+Different+Temperatures+and+its+Effect+on+Acidic+Nitosol+of+Jimma%2c+Southwest+Ethiopia&st2=&sid=12e75ada4768ee3dbf319a930d62d6f1&sot=b&sdt=b&sl=139&s=TITLE-ABS-KEY%28Characterization+of+Biochar+Produced+at+Different+Temperatures+and+its+Effect+on+Acidic+Nitosol+of+Jimma%2c+Southwest+Ethiopia%29&relpos=0&citeCnt=11&searchTerm=>

ISSN: 1816-4978

Effect of biochar addition on maize growth and nitrogen use efficiency in acidic red soils por ZHU Qiao-Hong [et al]. *Pedosphere* [en línea]. 24 (6), 2014. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/270914466_Effect_of_Biochar_Addition_on_Maize_Growth_and_Nitrogen_Use_Efficiency_in_Acidic_Red_Soils

ISSN: 1002-0160

Effect of biochar on chemical properties of acidic soil por CHINTALA, Rajesh [et al]. *Archives of Agronomy and Soil Science* [en line]. Vol. 60, No. 3, 2014. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/272590992_Short-term_effects_of_maize_residue_biochar_on_phosphorus_availability_in_two_soils_with_different_phosphorus_sorption_capacities

ISSN: 0365-0340

Effect of Biochar on Soil Properties, Soil Loss, and Cocoyam Yield on a Tropical Sandy Loam Alfisol por ADEKIYA, Aruna [et. Al]. *The Scientific World Journal* [en línea]. Vol. 2020. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85081596253&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Effect+of+Biochar+on+Soil+Properties%2c+Soil+Loss%2c+and+Cocoyam+Yield+on+a+Tropical+Sandy+Loam+Alfisol&st2=&sid=12e75ada4768ee3dbf319a930d62d6f1&sot=b&sdt=b&sl=114&s=TITLE-ABS-KEY%28Effect+of+Biochar+on+Soil+Properties%2c+Soil+Loss%2c+and+Cocoyam+Yield+on+a+Tropical+Sandy+Loam+Alfisol%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>

ISSN: 2356-6140

Effect of Durian Shell (DS) Biochar on Growth and Yield of Field Grown Chilli (*Capsicum annum* L.) por ANDI, Bahrun [et al]. *Asian Journal of Crop Science* [en línea]. 12 (1), 2020. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ajcs/2020/43-50.pdf>

ISSN:1994-7879

Effects of biochar and/or dolomitic limestone application on the properties of Ultisol cropped to maize under glasshouse conditions por RABILEH, M. [et al]. *Canadian Journal of Soil Science* [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdfplus/10.4141/cjss-2014-067>

ISSN: 0008-4271

Effects of rice husk biochar application on the properties of alkaline soil and lentil growth por ABRISHAMKESH, S. [et al]. *Plant Soil Environ* [en línea]. Vol. 61, No. 11, 2015. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en:

[https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84946839335&origin=resultslist&sort=plf-)

[84946839335&origin=resultslist&sort=plf-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84946839335&origin=resultslist&sort=plf-)

[f&src=s&st1=Effects+of+rice+husk+biochar+application+on+the+properties+of+alkaline+soil+and+lentil+growth&st2=&sid=12e75ada4768ee3dbf319a930d62d6f1&sot=b&sdt=b&sl=108&s=TITLE-ABS-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84946839335&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Effects+of+rice+husk+biochar+application+on+the+properties+of+alkaline+soil+and+lentil+growth&st2=&sid=12e75ada4768ee3dbf319a930d62d6f1&sot=b&sdt=b&sl=108&s=TITLE-ABS-)

[KEY%28Effects+of+rice+husk+biochar+application+on+the+properties+of+alkaline+soil+and+lentil+growth%29&relpos=0&citeCnt=39&searchTerm=](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84946839335&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Effects+of+rice+husk+biochar+application+on+the+properties+of+alkaline+soil+and+lentil+growth&st2=&sid=12e75ada4768ee3dbf319a930d62d6f1&sot=b&sdt=b&sl=108&s=TITLE-ABS-KEY%28Effects+of+rice+husk+biochar+application+on+the+properties+of+alkaline+soil+and+lentil+growth%29&relpos=0&citeCnt=39&searchTerm=)

ISSN: 1214-1178

Efficacy of woody biomass and biochar for alleviating heavy metal bioavailability in serpentine soil por THANGARA, Bandara [et al]. *Environmental Geochemistry and Health* [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/304068720_Efficacy_of_woody_biomass_and_biochar_for_alleviating_heavy_metal_bioavailability_in_serpentine_soil

ISSN: 1573-2983

Fabrication of Biochar from Organic Wastes and its Effect on Wheat Growth and Soil Microflora por SADIA, Aziz [et al]. *Earth and Environmental Science* [en línea]. Vol. 29, No. 2, 2020. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020]. Disponible en:

[https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85078335308&origin=resultslist&sort=plf-)

[85078335308&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Fabrication+of+Biochar+from+Organic+Wastes+and+its+Effect+on+Wheat+Growth+and+Soil+Microflora&st2=&sid=12b02b15439ec99333dc7f78b398e990&sot=b&sdt=b&sl=108&s=TITLE-ABS-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85078335308&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Fabrication+of+Biochar+from+Organic+Wastes+and+its+Effect+on+Wheat+Growth+and+Soil+Microflora&st2=&sid=12b02b15439ec99333dc7f78b398e990&sot=b&sdt=b&sl=108&s=TITLE-ABS-)

[KEY%28Fabrication+of+Biochar+from+Organic+Wastes+and+its+Effect+on+Wheat+Growth+and+Soil+Microflora%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85078335308&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Fabrication+of+Biochar+from+Organic+Wastes+and+its+Effect+on+Wheat+Growth+and+Soil+Microflora&st2=&sid=12b02b15439ec99333dc7f78b398e990&sot=b&sdt=b&sl=108&s=TITLE-ABS-KEY%28Fabrication+of+Biochar+from+Organic+Wastes+and+its+Effect+on+Wheat+Growth+and+Soil+Microflora%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=)

ISSN: 1230-1485

SIGUA, G. NOVAK J.M, D.W. Watts. Ameliorating soil chemical properties of a hard setting subsoil layer in Coastal Plain USA with different designer biochars. *Chemosphere* [en línea]. 142, 2016. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/60820500/Manuscripts/2015/Man986.pdf>
ISSN: 0045-6535

Impact of percentage and particle size of sugarcane biochar on the sorption behavior of clomazone in Red Latosol por DA SILVA, Marcos [et al]. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* [en línea]. 90 (4), 2018. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2020]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652018000703745&tIng=en
ISSN: 0001-3765

Interactive effects of rice-residue biochar and N-fertilizer on soil functions and crop biomass in contrasting soils por SINGH Mavi, Manpreet [et al]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* [en línea]. 18 (1), 2018. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/jssp/v18n1/0718-9516-jssp-00201.pdf>
ISSN: 0718-9516

HALL, David J. y BELL, Richard. Biochar and Compost Increase Crop Yields but the Effect is Short Term on Sandplain Soils of Western Australia. *Pedosphere* [en línea]. 25(5), 2015. [Fecha consulta: 18 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/339129486_Effects_of_biochar_and_cow_manure_on_soil_chemical_properties_and_peanut_Arachis_hypogaea_L_yields_in_entisol
ISSN: 1002-0160

Micorrización en un cultivo de papa adicionado del biofertilizante Twin-N establecido en un Andisol de la Región de La Araucanía por CASTILLO, Claudia [et al]. *Idesia* [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020].

Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292016000100005&lang=en

ISSN: 0718-3429

MOHAMMAD, Ghorbani, ASADI, Hossein, y ABRISHAMKESH, Sepideh. Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. *International Soil and Water Conservation Research* [en línea]. 7, 2019. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2095633918302442?token=D828B721A6C45371180639EB4F145AA82C7941592937BFE9704F78F1566C266CBB22AEB405D6F0365CB1130697A933EF>

ISSN: 2095 – 6339

OLADELE, O. Changes in physicochemical properties and quality index of an Alfisol after three years of rice husk biochar amendment in rainfed rice – Maize cropping sequence. *Geoderma* [en línea]. 353, 2019. [Fecha de consulta: 26 de abril de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334518834_Changes_in_physicochemical_properties_and_quality_index_of_an_Alfisol_after_three_years_of_rice_husk_biochar_amendment_in_rainfed_rice_-Maize_cropping_sequence

ISSN: 0016-7061

pH effects of the addition of three biochars to acidic Indonesian mineral soils por MARTINSEN. V. [et al]. *Soil Science and Plant Nutrition* [en línea]. Vol. 61, 2015. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84945476410&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=pH+effects+of+the+addition+of+three+biochars+to+acidic+Indonesian+mineral+soils&st2=&sid=12e75ada4768ee3dbf319a930d62d6f1&sot=b&sdt=b&sl=94&s=TITLE-ABS-KEY%28pH+effects+of+the+addition+of+three+biochars+to+acidic+Indonesian+mineral+soils%29&relpos=0&citeCnt=36&searchTerm=>

ISSN: 0038-0768

SHI, Yunfeng, ZHANG, Lili y ZHAO, Muqiu. Effect of Biochar Application on the Efficacy of the Nitrification Inhibitor Dicyandiamide in Soils. [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/272426231_Effect_of_Biochar_Application_on_the_Efficacy_of_the_Nitrification_Inhibitor_Dicyandiamide_in_Soils
ISSN: 1930-2126

Short-term effects of maize residue biochar on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities por ZHAI, Limei [et al]. *Biology and Fertility of Soils* [en línea]. 51 (1), 2014. [Fecha de consulta: 07 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/272590992_Short-term_effects_of_maize_residue_biochar_on_phosphorus_availability_in_two_soils_with_different_phosphorus_sorption_capacities
ISSN:1432-0789

The Impact of Biochar Doses on Soil Quality and Microbial Functional Diversity por GALAZKA, Anna [et al]. *BioResources* [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/335137131_The_Impact_of_Biochar_Doses_on_Soil_Quality_and_Microbial_Functional_Diversity
ISSN: 1930-2126

MUÑOZ, Dayenira, PANTOJA, Álvaro y CUATIN, Milton. Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería. [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: 03 de Julio del 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a02.pdf>
ISSN: 1692-3561

GÓMEZ, Andrés, SÁNCHEZ, Oscar y MATAALLANA, Gerónimo. Residuos urbanos, agrícolas y pecuarios en el contexto de las biorrefinerías. [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 03 de Julio del 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-11292019000400007&lang=es

ISSN: 0121-1129

BURBANO, Hernán. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. [en línea]. 2016. [Fecha de consulta: 03 de Julio del 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>

ISSN: 0120-0135

HERATH, Saman, CAMPS, Marta y HEDLEY, Mike. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. [en línea]. 2013. [Fecha de consulta: 03 de junio del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/275390649_Effect_of_biochar_on_soil_physical_properties_in_two_contrasting_soils_An_Alfisol_and_an_Andisol

ISSN: 1872-6259

LEI, Ouyang y ZHANG, Renduo, Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. [en línea]. 2013 [Fecha de consulta: 03 de Junio del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257680159_Effects_of_biochars_derived_from_different_feedstocks_and_pyrolysis_temperatures_on_soil_physical_and_hydraulic_properties

ISSN: 1614-7480

ALLER, Fernanda. "Biochar properties: transport, fate and impact" [en línea]. 2016, vol.46 [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/305415467_Biochar_properties_Transport_fate_and_impact

ISSN: 1547-6537

ROMERO, Lina, CRUZ, María y SIERRA, Fabio. Efecto de la temperatura en el potencial de aprovechamiento energético de los productos de la pirólisis del cuesco de palma [en línea]. 2016, vol. 20 n°48 [Fecha de consulta: 27 de mayo de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2016000200007&lang=es

ISSN: 0123-921X

Biochar from different residues on soil properties and common bean production por DA SILVA, Isley [et al]. *Scientia Agricola* [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162017000500378&lang=es

ISSN: 1678-992X

ZHU, Qiaohong, PENG, Xinhua y HUANG, Tiaqing. Contrasted effects of biochar on maize growth and N use efficiency depending on soil conditions [en línea]. 2015 [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84946902796&origin=resultslist&sort=plf->

[f&src=s&st1=Contrasted+effects+of+biochar+on+maize+growth+and+N+use+eficiency+depending+on+soil+conditions&st2=&sid=18825b702540f96accd3bca4a027d135&sot=b&sdt=b&sl=110&s=TITLE-ABS-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84946902796&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Contrasted+effects+of+biochar+on+maize+growth+and+N+use+eficiency+depending+on+soil+conditions&st2=&sid=18825b702540f96accd3bca4a027d135&sot=b&sdt=b&sl=110&s=TITLE-ABS-)

[KEY%28Contrasted+effects+of+biochar+on+maize+growth+and+N+use+efficie](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84946902796&origin=resultslist&sort=plf-KEY%28Contrasted+effects+of+biochar+on+maize+growth+and+N+use+efficie)
[ncy+depending+on+soil+conditions%29&relpos=0&citeCnt=13&searchTerm=](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84946902796&origin=resultslist&sort=plf-ncy+depending+on+soil+conditions%29&relpos=0&citeCnt=13&searchTerm=)

ISSN: 0236-8722

Biochar application to temperate soils: effects on nutrient uptake and crop yield under field conditions por KARER, Jasmin [et al]. *Agricultura and food science* [en línea]. 2013. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/258775244_Biochar_application_to_temperate_soils_Effects_on_nutrient_uptake_and_crop_yield_under_field_conditions

ISSN: 1459-6067

The Effects of Biochar and Its Combination with Compost on Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Growth, Soil Properties, and Soil Microbial Activity and Abundance por TRUPIANO, Dalila [et al]. *International Journal of Agronomy* [en línea]. 2013.

[Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315797266_The_Effects_of_Biochar_and_Its_Combination_with_Compost_on_Lettuce_Lactuca_sativa_L_Growth_Soil_Properties_and_Soil_Microbial_Activity_and_Abundance

ISSN: 1687-8159

Impact of wheat straw biochar on yield of rice and some properties of Psammaquent and Plinthudult por MAHUMMAD, Niaz [et al]. *Journal of soil science and plant nutritior* [en línea]. 2013. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162017000300019&lang=es

ISSN: 0718-9516

Concentración nutrimental de biocarbón de cascarilla de arroz por VELÁZQUEZ, Jazmin [et al]. *Revista Fitotecnia mexicana* [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000200129&lang=es

ISSN 0187-7380

STADLER, Noemi y PERTEGUER, Alejandro. “Más Allá de la Agroforestería El Biocarbón Activado y la Madera Rameal Fragmentada: utilización y preparación en Mollesnejta” [en línea]. 2018 vol.8 n°. 4 [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2019]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v8n4/v8n4_a06.pdf

ISSN: 1683-0768

Biochar and its impact on soil properties, growth and yield of okra plants por DOS SANTOS, Diego [et al]. *Colloquium Agrarie*. [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341293791_Biochar_and_its_impact_on_soil_properties_growth_and_yield_of_okra_plants

ISSN: 1809-8215

Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil por GLAB, Tomasz [et al]. *Geoderma* [en línea]. 2016. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/305828453_Effect_of_biochar_application_on_soil_hydrological_properties_and_physical_quality_of_sandy_soil

ISSN: 1872-6259

Effect of biochar on the physical and structural properties of a desert sandy soil por BAIAMONTE, Giorgio [et al]. *Catena* [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/329866726_Effect_of_biochar_on_the_physical_and_structural_properties_of_a_desert_sandy_soil

ISSN: 0341-8162

Pirolisis rápida de biomasa por MONTROYA, Jorge [et al]. *Ecopetrol* [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/281976634_Pirolisis_rapida_de_biomasa

ISBN: 9789587617740

INIA. Los recursos naturales y el INIA. [en línea]. 2015 [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/El%20Suelo%20de%20mayo.pdf>

Caracterización física y química de biochar de lodos residuales por VELÁZQUEZ, Martha [et al]. *Terra Latinoamerica* [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792019000300243&lang=es

ISSN: 0187-5779

MARQUES, Renata, CUNHA, Fábio y MARI, Dione Remediação de áreas contaminadas: uma avaliação crítica da legislação brasileira [en línea]. 2020 vol.25 n°. 1 [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522020000100115&lang=es

ISSN: 1809-4457 49

Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo por ESCALANTE, Ariadna [et al]. *Terra Latinoamerica* [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300367&lang=es

ISSN: 0187-5779