



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

El Biochar como enmienda para suelos agrícolas: Propiedades y efectos; Revisión Sistemática

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Villanueva Méndez, Nay Artemio (ORCID: 000-0002-2916-3474)

Villanueva Méndez, Roy Roger (ORCID: 000-0002-1674-4413)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID: 000-0003-1485-5854)

LINEA DE INVESTIGACIÓN

Calidad y Gestión de Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2020

Dedicatoria

A nuestros padres y hermanos quienes fueron pilares fundamentales durante todo este largo proceso.

Agradecimiento

A nuestros seres queridos por todo el apoyo constante e incondicional durante todo este proceso, de igual manera a nuestro asesor quien ha sabido direccionar este trabajo de la mejor manera compartiendo sus conocimientos, consejos y todo el inmenso apoyo que nos brindó durante nuestros años de estudio, y finalmente a nuestra universidad por tener profesionales competentes y de calidad que supieron guiarnos adecuadamente durante toda nuestra vida universitaria.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Caratula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Resumen	vi
Abstract	vii
I. INTRODUCCION	1
II. MARCO TEORICO	4
III. METODOLOGIA	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización apriorística	13
3.3. Escenario de estudio	15
3.4. Participantes	15
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	15
3.6. Procedimiento	16
3.7. Rigor científico	18
3.8. Método de análisis de datos	20
3.9. Aspectos éticos	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
V. CONCLUSIONES	37
VI. RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS	
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Categoría, subcategoría y matriz de categoría apriorística	13
Tabla 2. Procedimientos	17
Tabla 3. Efecto del biochar posterior a su aplicación en suelos agrícolas	21
Tabla 4. Limitaciones y alcances en la mejora de los suelos agrícolas	25
Tabla 5. Propiedades del suelo influidas por la aplicación del biochar en lossuelos.	28

RESUMEN

La presente investigación consistió en analizar las propiedades y efectos del biochar como enmienda en los suelos agrícolas, por medio de los efectos que genera el biochar luego de su aplicación, las condiciones que posee dicha enmienda y las propiedades del suelo que son influidas por dicha enmienda. Para ello se hizo una recopilación de información en las diferentes bases de datos como ScienceDirect, SCOPUS, Scielo, EBSCO y Proquest, empleando palabras claves como referencia a los criterios de selección de información.

El efecto que genera el biochar en los suelos agrícolas tiende a ser tanto positivo como negativo, pero dentro de estas predominan los efectos positivos relacionados a la recuperación, mejora y remediación tanto de los suelos como de las plantas. En cuanto a las condiciones que posee el biochar, se determinó una gran variedad de alcances y limitaciones que están relacionadas con la enmienda de suelos agrícolas, teniendo al tipo de suelo, al tipo de materia prima y al proceso de elaboración, como las principales limitaciones del biochar. Luego se identificó las propiedades del suelo que son influenciadas por el biochar luego de su aplicación. Se recomienda realizar una mayor indagación en los demás tipos de suelos, los distintos tipos de proceso de elaboración del biochar, realizar una investigación más amplia en relación con los suelos agrícolas, valorización de materias primas y la búsqueda de información actualizada en relación al biochar y los suelos agrícolas.

Palabras clave: Biochar, suelo agrícola, pirólisis, enmienda.

ABSTRACT

The present investigation consisted of analyzing the properties and effects of biochar as an amendment in agricultural soils, through the effects that biochar generates after its application, the conditions that said amendment possesses and the properties of the soil that are influenced by said amendment. For this, a compilation of information was made in the different databases such as ScienceDirect, SCOPUS, Scielo, EBSCO and Proquest, using keywords as a reference to the information selection criteria. The effect that biochar generates in agricultural soils tends to be both positive and negative, but within these, the positive effects related to the recovery, improvement and remediation of both soils and plants predominate. Regarding the conditions that biochar has, a great variety of scopes and limitations were determined that are related to the amendment of agricultural soils, having the type of soil, the type of raw material and the manufacturing process, as the main limitations of biochar. Then the properties of the soil that are influenced by biochar after its application were identified. It is recommended to carry out a greater investigation in the other types of soils, the different types of biochar elaboration process, carry out a broader investigation in relation to agricultural soils, valorization of raw materials and the search for updated information in relation to biochar and agricultural soils.

Keywords: Biochar, agricultural soil, pyrolysis, amendment.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas las amenazas globales de degradación, contaminación y escasez de la fertilidad de los suelos fueron en incremento (Yuan et.al. 2018, p 474), esto debido a la rápida industrialización y las prácticas agrícolas modernas que están afectando a la calidad del suelo la cual va disminuyendo gradualmente ya que más del 30 % de la tierra se ve afectada y esta tasa va en crecimiento gradual. (Liu et.al. 2018, p 61). Es por esto que es necesaria la implementación de enmiendas para prevenir o aliviar la degradación de los suelos agrícolas, además, se logró identificar una degradación física, química, biológica y ecológica que mediante distintos componentes logran tener una gran relación, entre ellas están las propiedades del suelo y los factores climáticos que son severamente afectados (Amoah, et.al. 2020, p 4). Este gran problema conlleva a impactos ambientales secundarios y problemas ecológicos como la disminución de la productividad, escasez de agua, pérdida de la seguridad alimentaria y el cambio climático. (Yuan et.al. 2018, p 474); debido a esto el aumento de temperatura asociado al cambio climático por los gases de efecto invernadero se encuentran entre los grandes problemas medioambientales que afectan significativamente la actividad agrícola, por ello el uso del pirólisis de biomasa (residual) para generar biochar y posteriormente aplicarlo en suelos agrícolas reduciendo los gases de efecto invernadero en este sector. (Matustika, J. Hnatkova, Ty Koce, V. 2020, p 2).

Sin embargo, actualmente se consideran muchas técnicas efectivas para tratar el problema de los suelos, pero estos métodos por lo general no logran ser aplicables en grandes campos agrícolas debido a los problemas e inconvenientes que surgen posterior a su aplicación, además de los altos costos, erosión del suelo, lixiviación de nutrientes, pérdida de fertilidad y altos riesgos ambientales. (Liu et.al. 2018, p 61) Por lo tanto, los distintos métodos de enmienda para suelos agrícolas requieren de una remediación con el medio ambiente y características que logren ser económicamente sostenibles. (Yuan et.al. 2018, p 474). Es por eso que ante esta problemática se plantea la siguiente pregunta. ¿Qué propiedades y efectos tiene el biochar como enmienda en los suelos agrícolas?

En los últimos años el biochar ha recibido una atención de manera creciente esto

debido a sus características únicas y los grandes beneficios que nos brinda, pero estas ven afectadas por el aumento de temperaturas (Wang, J. Wang, S. 2019, p 1003) y la enmienda que es considerada como la más favorable y la cual está basada en la adsorción es el biochar porque es respetuosa con el medio ambiente y tiene una amplia gama de fuentes primas para su fabricación. (Liu, et.al. 2018); se debe resaltar que la producción del biochar llega a ser una forma eficiente de convertir distintos desechos en sustancias útiles y de valor agregado. (Oni, B. Oziegbe, O. Olawole, O. 2019, p 2).

La aplicación del biochar puede influir de manera significativa al suelo en cuanto a sus propiedades físicas y químicas (Abujabhab et.al. 2016, p 2) por lo general esta enmienda difiere al ser producido en altas y bajas temperaturas por lo tanto el suelo se ve influenciado desde múltiples aspectos de las propiedades del biochar; sin embargo, el efecto de esta enmienda también dependerá del tipo de materia prima y el suelo en el que se aplique (Yang et.al. 2019, p 626). Esta enmienda también puede tener impactos o efectos negativos luego de su aplicación en los suelos, y esto dependerá del material de origen que fue usado para su fabricación. (Abujabhab et.al. 2016, p 2). Es por eso que ante este problema se plantean las siguientes preguntas ¿Cuál es el efecto de la enmienda del biochar posterior a su aplicación en suelos agrícolas? ¿Cuáles son las condiciones que posee la enmienda del biochar para lograr una mejora en los suelos agrícolas? ¿Cuáles son las propiedades del suelo posterior a la aplicación del biochar en el suelo?

El cambio climático y la degradación del suelo se encuentran entre los problemas ambientales más importantes de la actualidad y es de suma importancia buscar soluciones ante estos problemas. Es por esto que la aplicación del biochar como enmienda en la agricultura puede tener un efecto significativo en la reducción del calentamiento global a través de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y el secuestro del carbono atmosférico, además el biochar en el suelo ayuda a contribuir en la mejora de la salud, fertilidad del suelo y entre otras características significativas (Ahmed et al, 2017). Debido a esto el biochar como enmienda para suelos agrícolas suele ser una forma muy beneficiosa por la variedad de impactos que genera a largo plazo en los suelos y ecosistemas.

(Abujabhab et.al. 2016, p 2).

El proyecto de investigación: El biochar como enmienda para suelos agrícolas: Propiedades y Efectos; Revisión Sistemática, se realiza para aportar información acerca de los resultados en la línea de estudio en cuanto a las propiedades y efectos del biochar como enmienda en el suelo agrícolas. Además, cabe resaltar que es de suma importancia ya que el estudio estará en relación con limitaciones y beneficios significativos de las propiedades y efectos desde la generación del biochar en sus procesos hasta la aplicación como enmienda en los suelos. Esta indagación contribuirá a las futuras investigaciones para ampliar información concreta y certera que permitirá facilitar la realización de proyectos derivados del biochar que sean económicamente viables. (Amoah, et.al. 2020, p 14). El objetivo general es Analizar las propiedades y efectos del biochar como enmienda en los suelos agrícolas, además como Objetivos Específicos tenemos identificar el efecto que tiene la enmienda del biochar posterior a su aplicación en suelos agrícolas, identificar las condiciones que posee la enmienda del biochar para lograr una mejora en los suelos agrícolas y por último el Identificar las propiedades del suelo que son influidas por el biochar posterior a su aplicación en el suelo.

II. MARCO TEORICO

En el sentido de profundizar la temática se revisó bibliografías referentes a las propiedades y efectos del biochar como enmienda en suelos agrícolas, al respecto los siguientes autores afirman que:

Cheng et al. (2020) menciona que para el control de plagas microbianas en el suelo que causa el marchitamiento de los campos de arroz, se hizo la producción del biochar con las cáscaras sobrantes del arroz a diferentes dosis (0, 7,5, 15, 30 y 45 t/ha⁻¹), con el fin de controlar la plaga de marchitez. En un lapso de tiempo de 3 años se evaluó las propiedades del suelo, donde el biochar suprimió notablemente la marchitez y comunidad microbiana a través de los cambios de las propiedades químicas de suelos como también en la composición de la bacteria. A comparación previas a la enmienda disminuyó significativamente la incidencia de las bacterias desnitrificantes. Además, la enmienda del biochar aumentó las bacterias beneficiosas presentes en los suelos. En conclusión, la aplicación del biochar en los campos de arroz controla eficazmente el marchitamiento bacteriano a causa del secuestro de carbono y nitrógeno, de este modo enriquece a bacterias beneficiosas y disminuye las bacterias patógenas. Este estudio reveló el potencial del biochar como enmienda para suelos agrícolas.

Cooper, et al (2020) menciona que la formación de agregados afecta las propiedades fisicoquímicas del suelo en el manejo sostenible de la productividad. Sin embargo, diversos estudios a largos plazos mencionan que la adición de biochar a suelos para la percepción microbiana, son limitados debido a los factores y condiciones aptas para el crecimiento microbiano. Por ello esta investigación realizó un experimento de campo en la aplicación biochar en diferentes muestras de aplicación (9-70 T/ha⁻¹) en el sur de Alemania en un lapso de tiempo de 6 años, donde se realizó el análisis de la superficie del suelo (0-10 cm) y superficial (10-30 cm) para pH, carbono secuestrado, capacidad de retención del agua y capacidad de intercambio catiónico. Los resultados obtenidos para determinar la caracterización del contenido del carbono orgánico se realizaron mediante espectroscopia de

transformada de Fourier infrarroja de reflectancia difusa. La aplicación del biochar mejoro el aumento de carbono orgánico y pH en el suelo. Además del aumento en el almacenamiento de carbono orgánico (10-32 veces mayor), En conclusión, los resultados después de 6 años, el uso del biochar son benéficas para la propiedad del suelo para el mejoramiento del pH y capacidad de intercambio catiónico, este estudio indica que la aplicación de biochar en el suelo se puede considerar una medida significativa.

Dai, et.al (2020) menciona que el uso y aplicación del biochar tiende a ser a significativamente beneficiosa en la productividad de la planta. Sin embargo, la productividad de la planta se ve afectada por las propiedades del suelo y el biochar. En esta investigación se realiza un metaanálisis de 153 estudios publicados, en la cual estiman las respuestas de la productividad de la planta en $16.0 \pm 1.3\%$ (biochar/suelo), la variación de la productividad de la planta varía en -31.8% a 97.4% en diferentes condiciones de productividad (biochar/suelo). Las propiedades del biochar que incluyen al suelo son el pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de carbono y nitrógeno. Además, que la respuesta de la productividad de la planta se vería afectado por el efecto combinado de las propiedades del biochar y condiciones del suelo. En conclusión, la aplicación de biochar con alto contenido de cenizas es apropiado para suelos ácidos o arenosos porque aumenta las propiedades beneficiosas para la productividad agrícola.

En el caso de Harris, et al (2019) afirma que el biochar tienen un amplio estudio como enmienda de suelos para mejorar sus propiedades, al hacer uso de diferentes materias prima para la producción de biochar estas difieren en las propiedades fisicoquímicas que afectará el suelo y el rendimiento agrícola. Este trabajo está basado en estudios realizados que sintetizan las diferentes propiedades del biochar que varían por la temperatura del pirólisis y el tipo de materia prima. Además, mediante un metaanálisis evalúan los efectos que genera la temperatura del pirólisis y el tipo de materia prima pueden causar impactos agrícolas, incluyendo retención de nitrógeno y las emisiones de óxido nitroso.

Tang, et.al (2019) Afirma que los efectos del biochar en la cantidad, característica

de materia orgánica disuelta y la disposición de oligoelementos en los suelos agrícolas son poco conocida. Por ello realizó un experimento de los efectos del biochar en dos tipos de suelos contaminados (parcela vegetal versus cultivo de arroz donde se encontrará As, Cd y Pb). Las disponibilidades de oligoelemento evaluaron mediante gradientes difusivos la técnica que realizan es la película delgada donde el resultado muestra que una dosis del 10% del biochar aumentará el carbono orgánico disuelto en suelo (12.8 a 42.9 mg/L^{-1}) que corresponderá al aumento del pH del suelo. Según el método de las matrices de excitación y emisión de fluorescencia en la enmienda del biochar de paja de arroz, modificaron la composición de la materia orgánica y las concentraciones de contaminantes disminuye notablemente. En conclusión, la enmienda del biochar a base de paja de arroz puede controlar la carga de metales en los suelos, así como su cantidad y composición. Además, que la enmienda de suelos se debe adaptar con los oligoelementos y tipo de suelo específico.

Beesley et al (2019) en su investigación evaluó los efectos de añadir biochar leñoso a la biomasa en proceso de compostaje para la enmienda de suelos contaminados con metales, el biochar introducido en el compostaje aceleró la madurez del proceso, aumentó el pH y mejoró la retención de humedad, a comparación de solo el compostaje aumentó un 3% más en la retención de humedad. En la aplicación del biochar al suelo se redujo la movilidad de los metales y mejoró las condiciones para el crecimiento de la planta. En conclusión, los resultados demuestran que la adición del biochar en procesos de compostaje puede acelerar su producción y del mismo modo la estabilidad del carbón con características favorables para enmendar suelos agrícolas.

Abujabhab et.al (2016) en su investigación hizo una comparación de los efectos del biochar y compost posterior a su uso, además se priorizó los procesos de las actividades microbianas relacionadas a la enmienda en un huerto de manzanos. La producción del biochar proveniente de desechos vegetales se aplicó a razón de 47 T/ha^{-1} antes de la siembra en un lapso de tiempo de 3.5 años, el compost producido se aplicó 1 semana después de la siembra a razón de 10 T/ha^{-1} . El análisis resultante mostró que no hubo impacto en los iones totales posteriores a su

aplicación del biochar o compost. Sin embargo, la carga de carbono orgánico en el suelo aumentó significativamente ($p = 0.009$) 23%(biochar) y 55% (compost), los resultados del pH disminuyeron en los dos casos, la carga microbiana aumento con el biochar, pero conel compost fue mejor. Los resultados obtenidos de la evaluación a los distintos tipos de suelo indican que las enmiendas del biochar y compost pueden afectar significativamente la estructura y propiedades de los suelos.

Xang et.al (2019) afirma que la selección del tipo de materia prima para la producción de biochar es muy necesaria para la enmienda de suelos, es por esto que se requiere una investigación exhaustiva sobre los efectos en los ecosistemas del suelo y los sistemas de aguas relacionados al suelo. Indica que las características del biochar son variables que influyen en la lixiviación y retención. En un estudio de laboratorio examinaron el equilibrio del carbono y la calidad lixiviado del biochar. Los biochars producidos por pellets de madera y lodos depuradoras (a 400/700°C respectivamente) se aplicaron en suelos franco limosos donde los resultado obtenidos mediante el método de espectrofotometría de emisión de excitación por fluorescencia muestran que el carbono orgánico disuelto contribuyó con la pérdida de lixiviación del carbono, la reducción de la lixiviación total del nitrógeno por las dos producciones de biochars y cambios en los diferentes componentes del lixiviado del suelo modificado con biochar están relacionadas con propiedades del biochar con la cantidad de materia prima, área de la superficie, volumen de los microporos y capacidad de intercambio catiónico.

Somerville (2020) en su investigación afirma que la compactación de suelos afecta las propiedades físicas y biológicas del suelo, de los cuales los árboles son los más afectados por el estrés hídrico estacional, por ello mejorar las propiedades biológicas y físicas del suelo puede aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo. Se realizaron experimentos en seis tratamientos: 1) sin modificar, 2) solo labranza, 3) labranza con compost (20% v/v), 4) labranza con biochar (10% v/v), 5) labranza con compost más biochar (10 % Y 5% v/v - bajo), y 6) labranza con compost y biochar (20% y 10% v/v - alto-solo un sitio), donde se plantó arboledas a 0.5 m de profundidad y 2x2m. Se evaluaron durante 30 meses la densidad aparente, conductividad hidráulica, crecimiento del tallo de la planta y la retención del agua,

los tratamientos que modificaron la materia orgánica mejoran sus propiedades físicas y biológicas del suelo, no hubo diferencias notables en los distintos tratamientos de materia orgánica.

Para comprender el enfoque de nuestra investigación definiremos en primera instancia el biochar.

Según Kan, T. Strezov, V. y Evans, T. nos mencionan que el biochar es: “El principal producto sólido, que contiene sólidos orgánicos no convertidos y residuos carbonosos producidos a partir de la descomposición parcial o completa de componentes de biomasa, así como de una fracción mineral.”

Según Kavitha et.al (2018) El biochar es un sólido a base de carbono que se puede obtener principalmente por la pirólisis de biomasa (p. 146). Y como menciona Amoha(2020) concuerda que la pirólisis es el principal método de obtención, pero esta también puede ser producida por la carbonización hidrotérmica y gasificación, además de que pueden ser producidas con biomasa cultivada, desechos orgánicos, industriales y municipales (p. 6). Por su parte Wang y Wang (2019) nos menciona que esta enmienda tiene una variedad de materias primas para ser producida, y para su producción pueden ser usados residuos orgánicos, residuos sólidos municipales, lodos de aguas residuales y entre otros. (p. 1003). Al respecto Kavitha recalca que las propiedades del biochar varía dependiendo a la materia prima usada, pero por lo general su composición elemental está comprendida por carbono, nitrógeno, hidrógeno, potasio, y magnesio los cuales llegan a servir como nutrientes esenciales para el crecimiento de plantas. (p. 146).

Factores principales para la elaboración del biochar (materia prima, pirólisis).

Según Yaashikaa. et.al (2019) nos menciona que “Las características del biochar durante el proceso de pirólisis depende de los siguientes factores: Materia prima, velocidad de calentamiento, temperatura y tiempo de residencia.” (p. 4).

Al respecto Oni, Oziegbe, y Olawole (2020) La producción del biochar tiene una amplia gama de materias primas como lo son los residuos orgánicos, residuos de

animales, los cuales nos brindan grandes beneficios que se ven influenciados por el pirólisis, materia prima y otros factores como temperatura y tiempo de residencia. (p.4). Por su parte Wang y Wang nos dice que distintas materias primas tienen una gran variedad de elementos de composición y al mismo tiempo de distintas propiedades por lo que el biochar tiene un gran rendimiento, pero para lograr un medio ambiente sostenible lo mejor es optar por los desechos más comunes como los agrícolas y lodos que son que se producen en mayor cantidad en el mundo. (p.1005). Además, Según Rodríguez et.al (2020) menciona que el biochar es significativamente influenciado por las distintas materias primas que se usen y que este material del que se deriva el biochar afectará a varias de sus propiedades como el carbono orgánico total, carbono fijo y entre otras propiedades. (p. 3)

Según Ahmend, M. y Hameed, B. (2020) nos menciona que el pirólisis es un proceso termoquímico en donde la materia prima es degradada térmicamente con poco oxígeno o bajo una atmósfera inerte, este proceso se clasifica en rápida y lenta. (p.10). Además, Wang et.al (2020) nos dice que para la obtención de un biochar de mayor calidad debe cumplir los parámetros: una temperatura relativamente alta, tiempo de residencia más larga y una velocidad de calentamiento más baja; las cuales son propiedades más cercanas al del pirólisis lento ya que este es un proceso en que la biomasa sufre una descomposición lenta debido a la velocidad de calentamiento moderada, tiempo de residencia relativamente largo y una baja velocidad de calentamiento. A diferencia del pirólisis rápido que cuenta con velocidades de calentamiento altas, tiempo de residencia baja y alta velocidad de calentamiento por lo que mayormente reduce el rendimiento del biochar. (p. 5,6,8,9)

Características predominantes del biochar. (pH, contenido de carbono, porosidad, etc.)

Según Cha et al (2016) El biochar producto de la descomposición térmica de la biomasa con ausencia del oxígeno, esta descomposición se lleva a cabo a altas temperaturas en las cuales sus condiciones se ven limitadas de oxígeno en los procesos, debido a esto no se combustiona el carbono y los coproductos resultantes incluyen el gas de síntesis, bioaceite y biochar. El biochar es

considerado como un compuesto sólido, negro, poroso y un compuesto liviano estable del 70% en forma carbono. (p.1125). Además el biochar depende principalmente de las características fisicoquímicas en su procesos, como la porosidad, capacidad de sorción, tamaño de partículas, la carga y la área de superficie (xie et al, 2015, p.15), estos parámetros influyen en la estructura de carbón final debido a la liberación de volátiles en el proceso de la pirolisis, las estructuras del carbón y las propiedades físico químicas, tienen un papel importante en la interacción del carbono con las enzimas en los procesos (Pandey, 2019, p.4) las ventajas que posee el biochar resultante son el contenido rico en carbono, alta capacidad de intercambio catiónico, estructura estable y gran superficie estable. (Rizwan, et al, 2016, p.2235)

Según Kumar y bhask (2020) El biochar es el producto con alto contenido de carbono en las cuales su composición principal en la producción de esta enmienda son: C, H y O que contribuyen la estructura del carbón resultante, junto con pequeñas cantidades de N, Si, P, S y Fe. El rango general del carbono total, oxígeno, hidrógeno y cenizas es de 60-89%, 9-36%, 1-7% y 0.2-40% respectivamente. (p. 15). La superficie del biochar está compuesto por carbonos aromáticos que es la composición de capas de grafito orgánico estratégicamente dispuestas (p.16)

Biochar como enmienda de suelos agrícolas.

Según Yuan et al (2018) Por las maravillosas características y propiedades destacadas del biochar esta puede proporcionar una perspectiva innovadora y eficaz para lograr mitigar el cambio climático, logrando así una mejora en las propiedades del suelo y aumentando el rendimiento los cultivos. (p. 480). Y Soigne et al (2020) menciona que el biochar produce una mejora en la disponibilidad de nutrientes, alivian el déficit hídrico, un aumento de la materia orgánica y una gran variedad de beneficios en el suelo que dependen principalmente de la materia prima que fue usada para su producción. (p.22), Por su parte Liu et al (2018) menciona que, si los suelos agrícolas con alto uso de pesticidas pueden optar por la enmienda del biochar por su alta sorción y que confronta la biodegradación de los suelos, pero se debe tener en cuenta que tras la adición de biochar existe una probabilidad causar una alta estimulación microbiana generando así una degradación

microbiana mayor que los pesticidas, incrementando el impacto en los suelos. (p.66)

Según Han (2020) El carbón orgánico es una fuente principal de carbono para los microbios del suelo y la retención de nutrientes que son fundamentales para mantenerla fertilidad del suelo, además actúa como fuente de sumidero del CO₂ atmosférico por ello la adición de biochar en los suelos será favorable para la retención de carbono. (p.2) Indica que si el biochar cambia las comunidades de bacterias gran negativas cambiará la alteración de la descomposición, además del almacenamiento del carbono orgánico del suelo, emisión de metano y el ciclo del nitrógeno-azufre. (p.11) Como también cambios en la cantidad y estabilidad estructural de los agregados afectaría el almacenamiento y composición de los carbonos orgánicos (p.12).

Según Amin (2020) indica que el biochar es un producto rico en carbono en proceso de pirólisis de varios tipos de materia prima a diferentes temperaturas con oxígeno limitado o sin oxígeno además señala que la temperatura en sus procesos es vital por el aumento de los contenidos estables de carbono, pH, área superficial y minerales presentes. (p.3) sin embargo diversos estudios muestran que el uso del biochar reduce las emisiones de carbono que contribuyen directamente con secuestro del carbono. Además, la adición de biochar en suelos provoca el secuestro del carbono a través de diversos mecanismos como la absorción de carbono orgánico disueltos en la superficie del biochar (Tag et al, 2016, p.202).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación aplicada tiene una base firme en cuanto a su estructura general y esta dependerá de una selección de teoría exhaustiva y con rasgos conceptuales de acuerdo a la problemática planteada. Por esto que se menciona que la investigación aplicada tiene como finalidad realizar una búsqueda y consolidación del saber que permitirá enriquecer de conocimiento de la población y la ciencia. (Vargas, Z. 2009).

La investigación aplicada tomará el conocimiento básico para transformarla en información para futuros proyectos o tecnologías que logren combatir problemas actuales (Gersbach, et.al, 2018), además están orientadas a resolver los problemas que presenten el hombre en cualquier actividad humana y la vida productiva de la sociedad, cabe resaltar que esta investigación se encuentra relacionada con la investigación básica ya que mediante esta se formularan problemas o hipótesis para tratar de resolverlos obteniendo una mejora, perfección u optimización de estos. (Nicomedes, E. 2018)

El proyecto de investigación fue del tipo aplicado porque empleamos conocimientos teóricos de la investigación básica que nos sirve de soporte basándonos en investigaciones anteriores de otros autores para así relacionarlo con nuestra problemática actual y brindar información como aporte significativo e importante para el enriquecimiento del desarrollo científico y cultural que servirán para futuras investigaciones relacionadas a nuestro tema de investigación.

El enfoque cualitativo en la investigación aborda procesos de investigación manejables y verídicos, además de regirse por el campo (participantes y el proceso de evolución de los acontecimientos), el diseño cualitativo adapta condiciones de escenario o ambiente. (Salgado,A.2007), el uso del enfoque de estudio de caso cualitativo servirá para encontrar explicaciones e información detallada sobre el funcionamiento de casos específicos (Yin, 2013), es por eso que los diseños de tipo cualitativo incluyen a los diseños narrativos (Hernández, Fernández & Baptista,2006), que pueden considerarse en diferentes casos como un esquema de investigación, como también una forma de intervención ya que al recopilar información procesa cuestiones a aclarar, usualmente es usado cuando el objetivo es evaluar una sucesión de acontecimientos.(Salgado,A.2007). Además, el tipo de estudio narrativo enfocados en una temática, caso o fenómeno específico sería el tipo narrativo de tópicos. (Mertens,2006) En esta investigación se recolectó información relevante y se narrara la problemática de la enmienda del biochar en los suelos agrícolas.

Esta investigación tuvo un enfoque cualitativo donde se tuvo como base las metodologías de investigación que permitan comprender hechos o acontecimientos, el tipo de diseño que se hará uso será el narrativo de tópicos que

comprende la recolección de datos sobre historias y experiencias de temáticas específicas.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Tabla. - 01. Categoría, subcategoría y matriz de categoría apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Identificar el efecto que tiene la enmienda del biochar posterior a su aplicación en suelos agrícolas	¿Cuál es el efecto de la enmienda del biochar posterior a su aplicación en suelos agrícolas?	Efecto Ya, et.al	-Positivo -Negativo	De acuerdo a la características del suelo. SOINNE, H. et. al.	De acuerdo al tiempo de aplicación de la enmienda KANT, T. STREZOV, V. y EVANS, T.	De acuerdo a la características del proceso ONI, B. OZIEGBE, O. y OLAWOLE, O.

<p>Identificar las condiciones que posee la enmienda del biochar para lograr una mejora en los suelos agrícolas</p>	<p>¿Cuáles son las condiciones que posee la enmienda del biochar para lograr una mejora en los suelos agrícolas?</p>	<p>Condición Muhammad, et.al</p>	<p>-Alcances - Limitaciones</p>	<p>De acuerdo al proceso AMOHA, C et.al.</p>	<p>De acuerdo el tipo de suelo TANG, et. al.</p>	<p>De acuerdo al tipo de uso YUAN, P et.al.</p>
<p>Identificar las propiedades del suelo que son influidas por el biochar posterior a su aplicación.</p>	<p>¿Cuáles son las propiedades del suelo que son influidas por el biochar posterior a su aplicación?</p>	<p>Propiedades Campos, et.al</p>	<p>-Físicas -Químicas -Biológicas</p>	<p>De acuerdo al tipo de proceso para la elaboración del biochar BEESLEY. et. al</p>	<p>De acuerdo al tipo de materia prima del biochar COOPER. et. al</p>	<p>De acuerdo a las propiedades del suelo HAYNGYON G, Hanandeh.</p>

3.3. Escenario de estudio

El estudio realizado fue priorizado en los campos o suelos agrícolas debido a que en estos suelos se emplean una gran variedad de enmiendas para tratar de mejorar el rendimiento de los cultivos intensamente (Yang, et.al 2017) además parte de la vagainformación que se tenía en cuanto a las propiedades y los efectos que podría causar la enmienda del biochar posterior a su aplicación en dichos suelos, también se debe resaltar que en estos suelos influyen distintas variables como las características y propiedades del suelo, materia prima para la elaboración de la enmienda, técnica de elaboración de la enmienda y entre otros parámetros. Debido a esta gran variabilidad que se verá si los suelos o campos agrícolas son influidos de manera positiva o negativa. (Matustik, J. Hnatkova T.y Koci, V. 2020).

3.4. Participantes

Para la búsqueda bibliográfica del proyecto de investigación se tomó consideraciones en la búsqueda de información, como el período de tiempo de antigüedad de la información comprendido entre el periodo 2015-2020, donde los motores de búsqueda o las fuentes para la revisión de información que fueron tomadas son: ScienceDirect, EBSCO, ProQuest, SCOPUS, GoogleBooks, Scielo. En las cuales se introdujo palabras clave para la búsqueda de información en relación con el tema de investigación, para el desarrollo del proyecto.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica empleada fue la observación estructurada o formalizada, según Campos y Martínez (2012). Se refiere cuando se quiera demostrar o comprobar una hipótesis, o realizar descripciones sistemáticas de un acontecimiento o fenómeno, mediante el estudio o investigación, esta observación es apoyada por los instrumentos haciendo el uso de categorías codificadas, para obtener información clasificada y sistemática.

Se realizó análisis de las propiedades y efectos del biochar como enmienda en suelos agrícolas, donde también se referenció los resultados de la información obtenida,

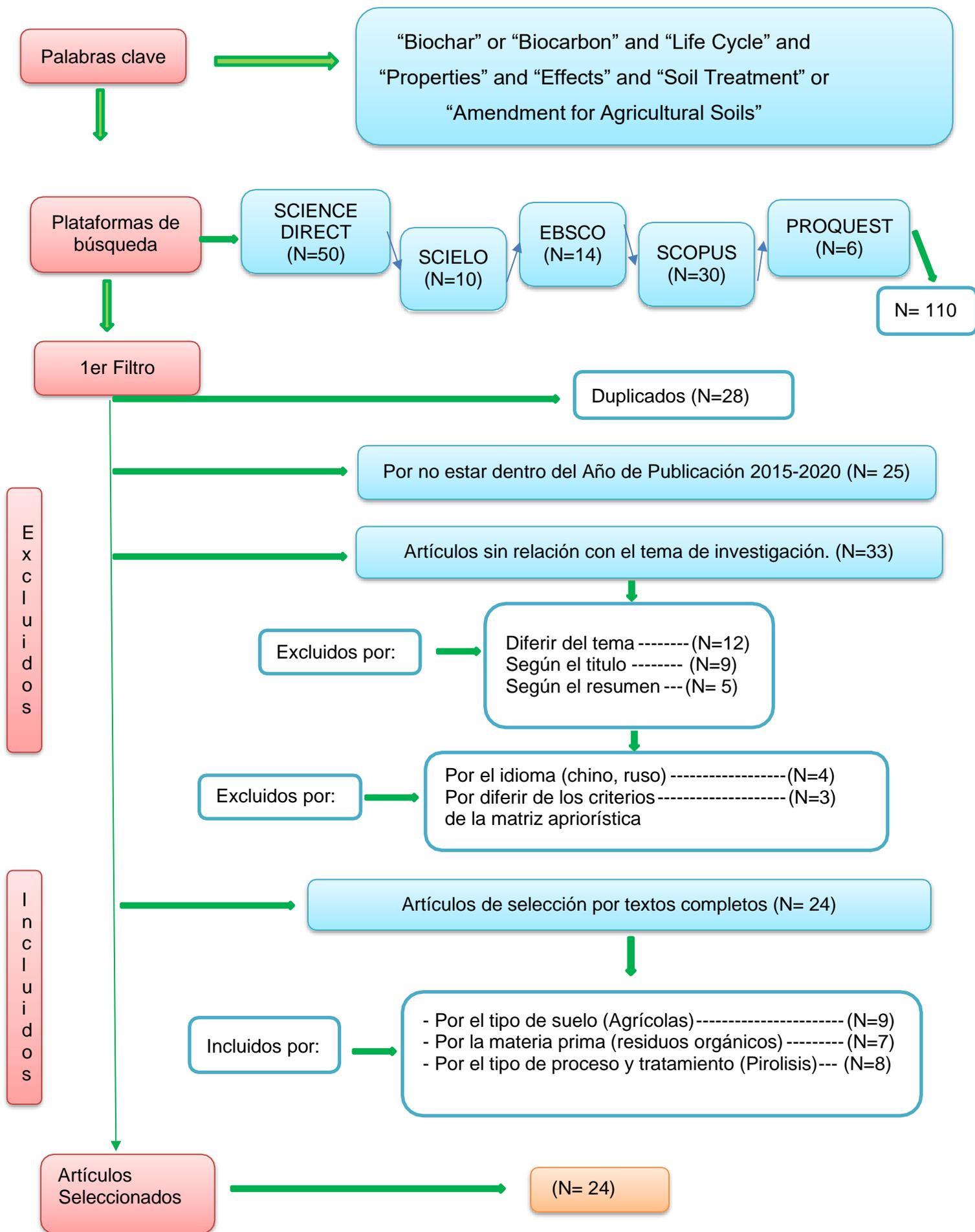
haciendo una comparación de resultados homogéneos o similares en la investigación, mediante el uso de instrumentos de recolección de datos.

Para la presente investigación en un enfoque narrativo de tópicos se hizo uso de una ficha con datos específicos, en el cual tendremos mayor facilidad en el uso de sus categorías y subcategorías en relación con el tema de investigación. La ficha de análisis se encuentra líneas abajo, ver en el **ANEXO 01**.

3.6. Procedimientos

Para esta investigación de diseño narrativo de tópicos, se detalló el seguimiento y muestreo de documentos indexadas tales como: artículos , revistas , libros, investigaciones , entre otros, teniendo en consideración las palabras claves para la búsqueda de información con relación al tema de investigación en las cuales se consideran criterios de inclusión e exclusión para la búsqueda de información en los diferentes motores de búsqueda en este caso algunas son indexaciones como (Scielo) y otras son base de datos como (EBSCO, ProQuest, SCOPUS, ScienceDirect), toda información fue obtenida con un intervalo de tiempo de los últimos cinco años.

Tabla. -02 Procedimientos



En primer lugar, se realizó la formulación de las palabras claves, para la búsqueda de información relacionada al tema investigación en las plataformas de búsqueda (ScienceDirect, Scopus, EBSCO, ProQuest y Scielo), las palabras más relevantes en el título se priorizaron para la búsqueda de información que pertenecen al primer filtro de selección teniendo en cuenta las referencias identificadas en la primera revisión, "El biochar como enmienda para suelos agrícolas: propiedades y efectos; revisión sistemática"(biochar, enmienda, propiedades, efectos, revisión sistemática, suelos agrícolas), en el segundo filtro de selección (artículos de interés) algunas plataformas como ScienceDirect, SCOPUS y EBSCO, en las cuales las palabras claves deben ser traducidas al inglés para obtener mayor número de artículos, investigaciones, tesis, entre otros, por ello la formulación de palabras claves fueron: "Biochar," or "Biocarbon," and "Life Cycle," and "Properties," and "Effects," and "Soil Treatment," or "Amendment for Agricultural Soils."

3.7. Rigor científico

El rigor científico en la presente investigación, permitirá valorar la recolección de datos para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados, además la representación a los acreedores de los créditos, tomando en cuenta criterios coherentes que garanticen el cumplimiento como la dependencia, la credibilidad, transferencia y la confortabilidad.

La dependencia hace referencia a la estabilidad de datos que normalmente en la investigación cualitativa es algo complejo, sin embargo, en la recolección de información se deberá mantener la estabilidad de información analizada sin perder la naturaleza de la información, para ello se realiza procedimiento específico para asegurar la credibilidad (Noreña et al, 2012). Además, la dependencia es también llamada consistencia, que hace referencia a la estabilidad de la información, esta indica que la estabilidad es imposible cuando se estudian contextos reales, pero varios de los procesos permitirían asegurar la inestabilidad de datos. (Franklin y Ballau, 2005). En el proyecto de investigación se cumple este criterio debido a la

información que se recolectará, además se tendrá en cuenta que deben cumplir con características o criterios de fiabilidad como lo son las técnicas de análisis, algunos métodos e información adicional.

La credibilidad tiene un carácter objetivo en la coherencia de los hallazgos de la información con la realidad, establece confianza para los sujetos y el contexto de la investigación, se realiza mediante métodos específicos en la triangulación de instrumentos: entrevistas, grupos focales, análisis de documentos; el análisis conjunto y crítico del grupo de investigadores (Varela y Vives, 2016). Por otro lado la credibilidad se refiere a cómo los resultados de un estudio son verídicos, además indica que la credibilidad es lograda mediante las observaciones y conversaciones continuas con los participantes del estudio, la recolección de datos puede producir hallazgos que son reconocidos por informantes que están en el contexto de la investigación. (Salgado, 2007). Es por esto que el proyecto de investigación cumple con la credibilidad que se logró mediante el consenso de los participantes organizando observaciones y haciendo un análisis crítico de manera conjunta con los demás participantes del trabajo.

La transferibilidad es también llamada por algunos autores aplicabilidad que se refiere a la extensión de los resultados del estudio, se trata de examinar los ajustes de los resultados con distintos tipos de contexto y si se trata de una investigación cualitativa, el lector puede transferir hallazgos a diferentes contextos, por ello será necesaria describir detalladamente las características y lugar de las personas de los fenómenos estudiados. (Castillo y Vásquez, 2003), otro autor nos dice que es la responsabilidad del investigador proporcionar información completa, referidos al contexto del estudio, para poder asimilar y transferir nuevos hallazgos a diferentes contextos, por eso se debe de detallar todos los involucrados del estudio. (Varela y Vives, 2016). Por consiguiente, la transferibilidad de esta investigación se logrará porque el trabajo que se realizó contribuirá significativamente a los lectores como a futuros investigadores ya que la información puede ser aprovechada por terceros para llevarlas a su propio contexto y así poder asimilar nuevos hallazgos.

La confirmabilidad, también llamada auditabilidad se refiere a seguir los pasos de

los autores que están en el contexto de la investigación, por eso será necesario las características específicas de las ideas referentes al estudio del autor, este criterio permite a que los demás investigadores evalúen los datos para llegar a conclusiones que tengan relación.(Salgado,2007) Otro autor nos dice que la confirmabilidad permite identificar los alcances y limitaciones de los participantes, también permitirá informar detalles de donde se realizó el trabajo y qué principios éticos se mantendrá en el estudio, para lograr la objetividad se requiere que el instrumento de recolección sean objetivos, que el investigador realice citas textuales ,y que la redacción de los resultados tengan relación con la información original, respetando la citación de las fuentes. (Noreña et al,2012). Con respecto a la confirmabilidad en esta investigación se permitirá obtener información realizando el seguimiento de los involucrados en la investigación, para poder identificar las limitaciones y alcances del estudio en los diferentes contextos, llevando la objetividad en el estudio además de hacer uso de instrumentos de recolección que cumplan con las condiciones de esta.

3.8. Método de análisis de información

El método de análisis de información se regirá bajo tres criterios de acuerdo a sus categorías planteadas, entre ellas tendremos: **efecto, condición y propiedades**, y sus subcategorías respectivas establecidas en la **tabla 01**.

En cada categoría se realizará el análisis de contenido y resultados de los artículos a seleccionar tomando en consideración, las subcategorías que tengan relación con los tres criterios. La primera categoría **Efecto** que tiene como subcategorías positivo y negativo, fundamenta el análisis de acuerdo a sus tres criterios siendo estas de acuerdo a las características del suelo, al tiempo de enmienda y de acuerdo a las características del proceso, En la segunda categoría **Condición** que tiene como subcategorías alcances y limitaciones, fundamenta el análisis de acuerdo a sus tres criterios, siendo estas, de acuerdo al proceso, al tipo de suelo y al tipo de uso. Para la última categoría **Propiedades** que tiene como subcategorías físicas, químicas y biológicas, fundamenta el análisis de acuerdo a sus tres criterios, siendo estas, de acuerdo al tipo de proceso para la elaboración del biochar, al tipo de materia del

biochar y propiedades del suelo.

3.9 Aspectos éticos

El presente proyecto de investigación fue realizado acorde a los términos de referencia que se usó en toda la información que se fue recolectando y referenciado, en este caso se realizó según lo establecido en la Universidad César Vallejo por lo cual se empleó la norma ISO 690, además (Noreña, et.al. 2012) se siguió el código de ética del área de investigación en las cuales prevalecen la confidencialidad, validez científica, respeto a los individuos inscritos y un diálogo auténtico, Cabe resaltar que (Sañudo, Lya. 2006) del mismo modo se respetó el consentimiento de la información de los autores y de sus derechos esto debido a la importancia que tiene el reconocer la información para así darle un valor que influirá a la autenticidad del estudio, se puede señalar esto ya que de los artículos, documentos y revistas revisadas son de las cuales saldrán la mayor parte de ideas e información principal para así poder elaborar nuestra investigación, también se toman en cuenta criterios de ética enfatizados en la autenticidad, contribución y seguridad de los participantes como lo son la credibilidad, relevancia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El siguiente cuadro busca la identificación del efecto que genera la enmienda del biochar luego de su aplicación en los suelos agrícolas, es por esto que se recolecta información vitalicia de distintos autores para poder interpretarla de manera adecuada, de este modo se dan a conocer las características del suelo, el tiempo de aplicación de la enmienda y las características del proceso. Todos estos criterios anteriormente mencionados serán de suma importancia para dar a conocer los efectos positivos o negativos que brinda la enmienda en los suelos agrícolas posterior a su aplicación.

Tabla 03.- Efecto del biochar posterior a su aplicación en suelos agrícolas.

CARACTERÍSTICAS DE SUELO	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE ELABORACION	TIEMPO DE APLICACION	EFECTO	
			DESCRIPCIÓN	REFERENCIAS
<p>-Suelo con textura franco arenosa y arcillosa</p> <p>-Contenido orgánico, fosforo disponible, potasio intercambiable, Ca^{2+}, Mg^{2+} y Al^{3+}</p>	<p>-El biochar producido en un horno artesanal mediante el proceso la pirolisis lenta (conversión termoquímica de la biomasa), a 450-300°C.</p> <p>- Aumento del contenido de carbono fijo y reducción del material volátil (etanol, ácido acético, CO, CO₂ y H₂) en 41,3% y 41,62% respectivamente).</p> <p>-pH=5.73</p> <p>-Otros elementos: N=1.62%, C=69.50%, H=4.3%, S=0.22, O=24.58</p>	9 meses de aplicación	<p>-Aumento del pH, carbono orgánico, P, K y Mg^{+2} y retención de agua en los dos tipos de suelo.</p> <p>-Mejora de la calidad física del suelo (macroporosidad y agregados del suelo).</p> <p>- Disminución del Al^{3+} intercambiable por el aumento de pH y complejos formados por ácidos orgánicos, en el suelo.</p>	Sato et al. (2020)
<p>-Suelo arcilloso y arenoso, con NO_3</p> <p>-Contenido orgánico, C, N, P y K.</p> <p>-pH=7,30-7.01%</p>	<p>-Proceso de la pirolisis lenta producido en condiciones de oxígeno limitado a 400-450°C</p> <p>-pH=9.11</p> <p>- C=64%, N= 1.14%, P=0.38%, K=3.23%</p>	40 días	<p>-Aumento significativo del Nitrógeno total(N) solo en suelos arcillosos, a comparación de los suelos arenosos que no tuvo ningún efecto en el aumento de N.</p> <p>-El biochar tendrá un efecto acondicionador en el suelo tras su aplicación, promoviendo la adsorción y mejora de disponibilidad de N, en la planta.</p> <p>-Reducción del NO_3 del suelo disminuyendo el 26% de N inorgánico lixiviado.</p>	Liu et al. (2017)

-Suelo de textura franco arenosa, con una elevada acidez, con Al y Fe -pH= 5.96 -Ca, Mg, Si, Al soluble	-Proceso de la pirolisis rápida de madera de eucalipto a 550°C, el producto de este proceso es un biochar altamente alcalino -pH=10.5 - C=72.3%, N= 0.12%, P=0.15%, K=1.47%, C=2.3, Mg=0.48%, Si= 2.03%	120 días	-Reducción de la toxicidad del Al ³⁺ del suelo. -Aumento del pH y disminución del Al ³⁺ soluble, mejorando la disponibilidad de nutrientes. -Aumento de silicio (Si) debido al aumento pH del suelo, por el biochar alcalino.	Rajpal et al. (2020)
-Suelo franco arcilloso, derivado de limolitas -pH=7.01	-Biochar de paja de trigo producido mediante la pirolisis 450°C en un horno vertical -pH=9.8, -El contenido total de C 425,3 g kg ⁻¹ , el contenido total de N 5,2 g kg ⁻¹ y el contenido de cenizas 18,6 %	2 años	-Tuvo un efecto en el carbono de la biomasa microbiana del suelo y alterando la composición de la comunidad bacteriana, -La enmienda del biochar puede mitigar cambios tanto en la composición de la comunidad bacteriana y actividades enzimáticas del suelo inducidas por los niveles de deposición del N.	Li et al. (2019)
-La capa superior es suelo franco arenoso, 10,4% arcilla, 72.8% arena, 16.8% limo -pH=5.5	-Proceso de pirolisis de la Acacia 550°C, 0.8 mm -pH de 6,4, carbono orgánico 8.93%	3.5 años	La aplicación del biochar puede generar un impacto en sus propiedades físicas y químicas, sobre todo biológicas, por ello la adición del biochar influye positivamente a las características del suelo como: -Cambios en la comunidad bacteriana. -Mejora de la macroporosidad y bioturbación del suelo.	Abujabhat et al. (2016)
-Suelo cambisol y arenoso, 62% de arena, 12% de limo y 26% de arcilla, el suelo se clasifica como franco arenoso. -pH=6.99 -7.60	-Proceso de la pirolisis a baja temperatura >550°C -pH= 8.77 - N=0.4%, C=84.3%, H=1.41%, 8.8% de ceniza	6 años	-Los efectos positivos de la aplicación de biochar promovió el almacenamiento de carbono orgánico en la superficie del suelo. -Fueron impulsores de la formación de agregados en suelos subterráneos. -Los efectos positivos que pueda generar el biochar, deben ser en altas concentraciones o aplicaciones constantes del biochar al suelo, para obtener los resultados notables en relación a sus propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.	Greenberg et al. (2020)
-Unidad mixta "veldpodzol" y "beekeerdgrond" sobre arena fina -Suelo hidrofóbico, capacidad de infiltración >5s	-Proceso pirolítico de material residual de la paja de arroz, madera y paja de trigo, obtenidas en dos temperaturas: 550-700°C	15 meses	-El biochar no tiene tantos efectos en suelos arenosos, solo el aumento del contenido de agua saturada. -La ausencia de efectos del biochar sobre las propiedades hidráulicas del suelo y los tratamientos se debe a la tasa de aplicación baja pero realista de 10 t/ha ⁻¹ .	Wiersma et al. (2020)
-Suelos de cultivos con metales de arsénico y cadmio -pH=8.5	-Proceso pirolítico a 500°C, haciendo uso de un horno Mufla -pH=10.6 -Humedad -C=70.9%, N= 0.26%, P=0.17%, K=2.08%, C=2.6,	60 días	-Aumento la concentración de arsénico, y disminuyo el contenido de cadmio -Aumento de comunidades bacterianas benéficas par la enmienda de suelos agrícolas	Xue. et al. (2020)

Los resultados obtenidos en la tabla 03 nos dan a conocer los efectos que conlleva la adición del biochar como una enmienda para los suelos agrícolas. Se toman en cuenta las distintas características del suelo, el proceso por el cual se elabora la enmienda y su tiempo de aplicación. Por lo general la aplicación del biochar como enmienda para suelos tiende a tener un efecto positivo como lo puede ser el almacenamiento de carbono total, disminución de los metales, mejora las propiedades del suelo, mejora de la macroporosidad, incrementa el rendimiento del cultivo y muestra una abundancia microbiana benéfica para los suelos. Sato et al. (2020), Liu et al. (2017), Abujabhah et al. (2016), Li et al. (2019), Rajpal et al. (2020), Greenberg et.al (2020). Xin et.al (2018) concuerda con ellos, no obstante, remarca en su investigación que los efectos o beneficios que genera esta enmienda se encuentran relacionadas con las características tanto del proceso, materia prima y las propiedades del suelo en el cual se apliquen. Acorde con lo que menciona Xin; Duan et.al (2019) en su investigación nos dice que la comunidad bacteriana presente en un suelo es una de las características que puede influenciar en los resultados tras la aplicación de esta enmienda, esto es debido a que en ocasiones el biochar estimula la actividad microbiana para acelerar la degradación de los contaminantes del suelo logrando así una mejora en la riqueza del suelo y una selección adecuada de la comunidad microbiana, no obstante Lui et.al (2019) contradice lo antes mencionado por Duan ya que por su parte obtuvo como resultado tanto efectos positivos como negativos que tiende a suceder en ocasiones en las cuales el suelo ya contenía un grado de actividad microbiana alta y es debido a esto que el biochar en lugar de estimular la actividad microbiana simplemente compite con está generando un efecto negativo en la degradación de los suelos. En concordancia con lo que menciona Lui; Abujabhah et.al (2016) está de acuerdo con él y en su investigación obtuvo un efecto positivo posterior a la aplicación del biochar ya que se tenía características del suelo con tasas relativamente altas de comunidad bacteriana por lo que se obtuvo una mitigación de esta comunidad y de la enzimática. Con respecto a los efectos positivos o negativos que puede tener la adición del biochar en el suelo. Dai et al. (2020), señala que el uso del biochar tiende a ser significativamente beneficiosa en la productividad de la planta. Por lo cual Rajpal et.al (2020) está acorde con Dai ya que en su trabajo obtuvo una mejora de la productividad de la planta, no obstante, Lie et.al (2019) obtuvo una mejora en cuanto

a la productividad de la planta, pero se debe mencionar que no hubo mejora alguna en cuanto al crecimiento y pigmentación de la planta ya que se vieron ligeramente afectados en ese aspecto. Es debido a esto que Harris et al. (2019) nos menciona que las diferentes propiedades del biochar tienden a variar por distintos componentes o factores como lo es la temperatura de pirólisis y el tipo de materia prima de los cuales la temperatura del proceso y el tipo de materia prima pueden generar impactos agrícolas como la retención de nitrógeno y las emisiones de óxido nitroso. Lo mencionado por Harris está acorde a lo que muestra Lie et.al (2019) en su investigación, ya que obtuvo tanto beneficios positivos como negativos en los cuales la retención de nitrógeno fue afectada notable ocasionando una pérdida considerable de este compuesto, del mismo modo ocasionó una pérdida bacteriana y de la fertilidad.

Tabla 04.- Limitaciones y Alcances en la mejora de los suelos agrícolas.

REFERENCIA	TIPO DE PROCESO	TIPO DE SUELO	TIPO DE USO	LIMITACIONES Y ALCANCES
Según Ahmend, M. y Hameed, B. (2020)	Pirolisis lenta	Suelos agrícolas	Fertilización de suelo	Debido a la presencia de numerosos poros, los biochar retienen agua y nutrientes, y también tienen residencia bacteriana que puede conllevar a la formación de nuevas bacterias desnitrificantes (<i>Pseudomonas</i> , <i>Rhizobium</i> y <i>Thiosphaera</i>), y bacterias patógenas, que pueden ser perjudiciales para el suelo. Las limitaciones principalmente se encuentran en la materia prima, proceso de elaboración y las propiedades del suelo.
Xuqin, et.al. 2019	Pirolisis lenta	Suelo agrícola de textura porosa con Pb ²⁺ Cd ²⁺	Enmienda	Debido a la composición que presenta el suelo los contaminantes fluyen por la capa superficial del suelo, debido a esto es necesaria una aplicación repetitiva para tratar de contrarrestar dicho efecto, en este caso en número de aplicaciones fueron 3 veces.

Neslihan Akdenis,2019	Pirólisis lenta	Suelo agrícola con lixiviados y residuos de amoniaco, metano y óxido nitroso	Enmienda	Sobre la base de los estudios analizados, el biochar tiene el potencial de mejorar los procesos de compostaje de desechos animales en su aplicación en 5 -10%, también puede extender la fase termofílica del proceso de compostaje, reducir el pH del material de compostaje, prevenir la formación de lixiviados y reducir las emisiones de amoniaco, metano y óxido nitroso. Sin embargo, las condiciones de pirólisis empleadas en su producción afectan el rendimiento del biochar y el costo del biochar también puede ser un factor limitante a la hora de decidir la cantidad aplicada (Sánchez-Monedero et al., 2018). Sin embargo, en general, se recomienda una tasa de aplicación de entre el 5% y el 10% (en peso) en los estudios de compostaje.
Fatemeh Razzaghiet al., 2020	Pirólisislenta	Todos los grupos de textura de suelo	Estudio del impacto del biochar en el suelo	En los diferentes tipos de textura del suelo, el biochar en promedio disminuyó la densidad aparente del suelo en un 9%. La capacidad de campo y punto de marchitez aumentaron significativamente para los suelos de textura gruesa en 51 -47%, y moderadamente para los suelos de textura media en 13- 9%, el biochar aumenta el contenido de agua disponible en la planta en los suelos de textura gruesa en 45% a comparación con los suelos de textura media y fina 21% y 14%, lo que sugiere que el biochar puede tener un mayor beneficio en los suelos de textura gruesa.
Butnan et al., 2015).	Pirólisisrápido	Suelos agrícolas	Fertilización de suelo	El biochar producido a altas temperaturas generalmente tiene un mayor contenido de cenizas que el producido a bajas temperaturas. Por tanto, se sospechaba que los impactos perjudiciales podrían inducir en plantas cultivadas en suelos tratados con biochar producido a altas temperaturas.

Houssou A., et all.	Pirólisis rápido	Suelos agrícolas con Cd y Pb	Enmienda	El tamaño de la partícula debe de tener por lo menos un tamaño de 2mm y una temperatura de pirólisis de 401 -600 °C para así incrementar la efectividad en la reducción de contaminantes potencialmente peligrosos en las plantas y los suelos. Por lo tanto, necesitamos comprender las condiciones del suelo, propiedades del biochar y el tipo de cultivo; antes de aplicar el biochar para así potenciar los efectos que se requieren.
Ding Y, et.al.(2017)	Pirólisis lenta	Suelos agrícolas	Enmienda	Debería ser una limitación el límite de tiempo que se usará el biochar, ya que si se desea usar un biochar en tiempos de envejecimiento largos no será lo mismo que un biochar aplicado en tiempos cortos; debido a esto las propiedades del suelo que serán influenciadas por el biochar tendrán una gran variación.
Rehman A. et.al (2020)	Pirólisis lenta y rápida	Suelo agrícola francoarenoso	Enmienda	El biochar producido no debe considerarse como un fertilizante, pero cabe resaltar que si contiene propiedades que le hacen cumplir este rol, como lo es la ceniza, la cual influirá proporcionando nutrientes al suelo. Los nutrientes de un suelo a menudo limitan a suelos muy pobres de este contenido, es debido a esto que es de suma importancia realizar trabajos previos como un análisis de las propiedades y características del suelo.

Los resultados obtenidos de la (tabla 04) indican las condiciones reflejadas en las características y limitaciones que posee la enmienda del biochar en los diferentes tipos de suelos agrícolas. Aunque la mayoría de resultados en la revisión de documentos son aspectos beneficiosos como la mejora en la productividad, la mejora en la fertilidad del suelo y también un incremento de los componentes del suelo en los cuales se apliquen las enmiendas de biochars. En contraste Ahmed et.al (2020) en su estudio nos menciona que las limitaciones de la enmienda se encuentran básicamente en sus componentes de elaboración como la materia prima, características del proceso aplicado, propiedades del suelo, etc. Debido a esto se comprobó que al aplicar un biochar envejecido en cualquier suelo traerá efectos negativos sobre el crecimiento de microorganismos, lombrices, hongos, etc. Es por esto que la enmienda del biochar no necesariamente cumple un rol beneficioso para todos los tipos de suelo. Por su parte Anyanwu (2018) está acorde con Ahmed y menciona que el uso de biochar en tasas altas y de manera repetitiva es perjudicial, debido a la presencia de malezas que hay luego de la aplicación de esta enmienda. Según Xugin (2019) contradice lo que dijo Anyanwu y como se evidencia en la (tabla 04) menciona que el biochar debe aplicarse en la superficie 3 veces de lo que aplicaría en un suelo normal, debido a esto Dai (2020) resalta que el biochar puede reaccionar con los nutrientes del suelo y competir con este en lugar de proporcionarle lo necesario para mejorar el suelo, es por esto también tiene que ver mucho el tipo de planta en el cual se aplique porque Anyanwu (2018) en su estudio logró una mejora del crecimiento vegetativo, pero mas no en el rendimiento de sus frutos. Según Neshlan (2015) en la tabla 04 menciona como una limitación a las condiciones del proceso de pirolisis para la elaboración del biochar ya que esto puede afectar el rendimiento del biochar y del mismo modo el costo de esta enmienda para decidir la cantidad que se aplicará. Por su parte Harris (2019) está de acuerdo con lo que menciona Neshlan y en su estudio nos dice que el tipo de materia prima junto con las condiciones de la pirolisis optimas podrían producir un carbono más rentable y de acuerdo con un costo-beneficio de la enmienda de los agricultores.

Tabla 05.- Propiedades del suelo influidas por la aplicación del biochar posterior a su aplicación.

Estudio	Proces oy sus caracte rísticas	Materia Prima		Propiedades del suelo	Impactos en el proceso de pirólisis.	Características e impactos de la enmienda en los suelos
		Características de la materia prima				
Chemical, physical and morphological properties of biochars produced from agricultural residues: Implications for their use as soil amendment. Campos, et al. 2020.	Pirólisis lenta y rápida De 350 – 600 °C por 0.5 h – 4 horas.	Cascará de arroz (RH). Hueso de aceituna (OP). Restos de poda de olivo (OB).	(RH) rica en minerales con bajo contenido de C, K, sílice y entre otros. (OP) Alto contenido de C y bajo contenido de N. (OB) contiene celulosa y lignia Tamaño de las partículas de la enmienda 2,6 – 3,2 mm	El suelo se caracterizó según el tamaño de las partículas: 22% arena (200- 600 mm) 57% arena fina (60-200 mm) 21% limo y arcilla (60mm) pH: 6.02	pH ácido en temperaturas bajas y tiempos cortos. pH básico en temperaturas altas. Incremento del pH según la temperatura del proceso.	Las enmiendas producidas a 350°C durante periodos cortos como (0.5 h) muestran un pH menor que el de la materia prima no pirolizada. La materia volátil de los biochars producidos variaron de 84,7 % a un 97.4 % a unos 350°C y esta cantidad de materia volátil se redujo significativamente cuando la temperatura aumenta. Biochars producidos a 350°C contienen una alta repelencia al agua y tal repelencia se reduce con el aumento de la temperatura y el tiempo de pirólisis Se nota un aumento en la propiedad de la capacidad de retención del agua. Los usos de estas enmiendas implican la inmovilización del Nitrógeno. La carbonización de la bioamasa enriqueció el contenido de N durante este proceso.

Estudio	Proceso y sus características	Materia Prima		Propiedades del suelo	Impactos en el proceso de pirolisis.	Características e impactos de la enmienda y suelos
		Características de la materia prima				
Application of olive mill waste-based biochars in agriculture: Impact on soil properties, enzymatic activities and tomato growth. El. -Bassi, et al. 2020.	Pirólisis lento 500 °C por 2 horas	Desperdicios del olivo. Aguas residuales de los desperdicios del olivo.	Contiene altos niveles de Demanda Química de Oxígeno (DQO) Y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) Partículas de 2mm para los desperdicios sólidos. 100um para las aguas residuales del olivo.	Condiciones iniciales del suelo: 35% limo, 22% arcilla, 14% arenas gruesas y 28 % arena fina. pH 7,5 y conductividad 0,5 ms. Contenido pobre del suelo agrícola: Mo: 0,71% N: 0,03 K: 0,052 P: 0,13	Posterior a la pirolisis el contenido mineral aumentó a diferencia de la materia prima. pH básico de 8,8 a 9,5 para el biochar de residuos sólidos de oliva pH ácido por parte del biochar de aguas residuales del olivo con un pH de 4,7 Posterior a la pirolisis el contenido de carbón y cenizas incrementó en un 45% y 65% respectivamente según el tipo de la enmienda. Alto contenido de carbono fijo 71,3 – 63,8 %	- Degradación de minerales K, Na, Mg. Los rendimientos de la carbonización de estos biochars fueron de 40,5 % y 30,6 % A diferencia del biochar a base de madera, la enmienda de olivo contiene 5 o 10 veces más el contenido de minerales. Se observó una disminución de O, H, N y S. El pH y la conductividad eléctrica del suelo son modificados por el pH del biochar. pH inicial del suelo: 7,5 pH enmienda 8.8 -9,2 pH modificado: 6,72 - 7,87

<p>Effect of biochar on soil properties on the Loess Plateau: Results from field Experiments, Luo, et al. 2020.</p>	<p>Pirólisis alta 600 °C por 2 horas.</p>	<p>Pino de Manchuria. Falsa acacia.</p>	<p>Tamizado de la enmienda en partículas de 2mm antes de ser aplicada. Los desperdicios del pino y la falsa acacia contienen alto contenido de energía.</p>	<p>Suelos arenosos eólicos: Arena: 95,58% Limo: 4,23% Arcilla: 0,19%</p> <p>Suelo loessal: Arena: 72,82% Limo: 21,56% Arcilla: 5,62%</p> <p>Suelo loessial oscuro: Arena: 52,50% Limo: 33,75% Arcilla: 13,74%</p> <p>Suelo lou: Arena: 35,24% Limo: 51,65% Arcilla: 13.11%</p>	<p>Biochar con un pH básico 8,32. Durante la pirolisis se obtuvo una variación en la capacidad de intercambio catiónico.</p>	<p>El contenido de carbón orgánico luego de aplicar en los suelos se ve afectado. pH 8.71.</p> <p>Densidad aparente del suelo se ve afectada tras la aplicación del biochar por el tipo de suelo de la zona.</p> <p>El carbono orgánico de suelo aumentó en la primera aplicación de la enmienda.</p> <p>El nitrógeno total va en aumento según la adición del biochar en el suelo.</p> <p>La densidad aparente del suelo se ve influenciado por el biochar después de varios años (8).</p> <p>Incremento el secuestro de carbón orgánico. Secuestro de carbono orgánico inicial: 0,17 - 2,6 % Secuestro de carbono luego de aplicar el biochar: 66,67%</p>
---	---	--	--	--	---	--

<p>Slow pyrolyzed biochars from crop residues for soil metal(loid) immobilization and microbial community abundance in contaminated agricultural soils, Igalavithana, et al. 2017.</p>	<p>Pirólisis alta 500 °C por 1 hora</p>	<p>Árbol paraguas</p>	<p>El tamizado de las partículas del biochar fueron mayores a 2um. Buen contenido de celulosa.</p>	<p>Se usaron suelos arenosos con contenido de: Limo (22,39%) Arcilla (18,15%) Y Limo (9,24 %) Arcilla (10,85). Suelos ubicados en partes bajas y suelos en U con gran elevación</p>	<p>La pirolisis relativamente alta que se usó en este proceso estimuló la formación de anillos de carbono. Además, mejora la disposición de dichas estructuras. El biochar obtenido cuenta con un pH de 9,6y 10,3.</p>	<p>La baja ubicación de estos suelos permite una mayor acumulación de partículas Tras la aplicación del biochar a los suelos aumentan drásticamente de pH llegando a valores de 5,4 y 7,6. Mejora significativa en la conductividad eléctrica. Disminución notable en los metales presentes en el suelo. Reducción de Pb intercambiable. Reducción de Pb extraíble.</p>
<p>Impacts and interactions of biochar and biosolids on agricultural soil microbial communities during dry and wet-dry cycles, Wang, et al. 2020.</p>	<p>Pirólisis rápida 900 °C</p>	<p>Cascara de Nuez.</p>	<p>Las partículas de la enmienda luego del tamizado fueron de 2mm. Buen contenido de celulosa y con propiedades ligeramente tóxicas.</p>	<p>La textura del suelo es franco limoso con un contenido de Arena (42.75%) Limo (35.20%), Arcilla (22.05%) y un pH de 6,7 C: 10.18 g/kg Capacidad de intercambio catiónico:20,6 cmol-g</p>	<p>Posterior a la pirolisis el biochar obtenido tiene un pH de 9,7 y una capacidad de intercambio catiónico de 33,4 cmol-g 40% de contenido de cenizas luego del pirolisis.</p>	<p>El pH del suelo aumenta proporcional a la cantidad de biochar agregada. El pH del biochar junto con las fluctuaciones de humedad compensa el aumento drástico del pH. El contenido de N incrementó considerablemente en las primeras semanas. Se redujo la comunidad microbiana Incrementó la biomasa microbiana, pero con el tiempo estos beneficios fueron desapareciendo. Disminución de los efectos producidos por el</p>

						biochar a partir de las 12 semanas de aplicación.
Effects of pyrolysis temperature on soil-plant-microbe responses to Solidago Canadensis L.-derived biochar in coastal saline-alkali soil. Tang et.al (2020)	Pirólisis lenta y rápida 400 ° - 600 °C	Solidago canadensis vara de oro de Canadá.	El tamizado de las partículas será de 2mm Contiene celulosa, hemicelulos y lignina.	Los suelos usados eran Arcillo limosos con un contenido de: Arena (7,43%) Limo (48,35%) Arcilla (44,32%) pH 9,06 Suelos salino- alcalinos con 13.52 % de humedad 22,74 % densidad aparente	Con la pirolisis lenta se obtuvo un biochar con mayor toxicidad por el contenido de ácidos carboxilos, fenoles y aminas. Con la pirolisis rápida se obtuvo un biochar con menos toxicidad. El rendimiento del biochar disminuye a medida que la temperatura de esta se incrementa. El contenido de C del biochar aumenta en relación con la temperatura de pirolisis. Contenido de cenizas incrementado con la temperatura. El biochar obtuvo un pH de 10,77 – 11,57 y tiene alto contenido de poros.	Se redujo la densidad aparente del suelo. Redució el estrés por sodio intercambiable. Aumentó la capacidad de intercambio catiónico, capacidad de retención de agua y el contenido de materia orgánica. El secuestro de carbono del suelo se ve influenciado ya que el biochar tiene un contenido de carbón menor del 60%. Se mejoró la porosidad del suelo y en relación también se mejoró la ventilación e infiltración del agua. Aumentó la materia orgánica (Mo) en un 206,47 – 353,96 % lo cual conlleva a la mejora de la fertilidad. Incrementó el Fosforo (P) y el Potasio (K) disponible en un 232,09% -746,65 % y 8076,83% - 9393,47% respectivamente.

<p>Nutrient retention and release from raw exhausted grape marc biochars and an amended agricultural soil: Static and dynamic investigation. Ferjani et.al (2020)</p>	<p>Pirólisis lenta a 300, 400, 500 °C</p>	<p>Orujos de uva</p>	<p>El tamizado nos dio partículas de 0,25 mm a 0,4 mm</p>	<p>Suelo arenoso fino. Arena (78,46%) Limo (18,73%) Arcilla (3,81%) pH 7,66 Mo: 3,05 K 2,84 P 0,567 Ca 9,162 Al 6,478 Fe 3,791</p>	<p>El biochar obtenido contiene altas concentraciones de nutriente especialmente en K 2,17% Ca 1,34 % P 0,62% El pH obtenido en el biochar fue 8,7 – 10,1. A diferencia del P la liberación de nutrientes aumentó significativamente</p>	<p>La liberación de nutrientes incrementó significativamente. Se obtuvo una mayor liberación de nutrientes en el K 45,45 % Ca 41,5% P 229,5% Mg 48,9% Reducción del transporte de Sodio (Na) y Calcio (Ca)</p>
<p>Effects of different biochar amendments on carbon loss and leachate characterization from an agricultural soil. Yang et.al (2019).</p>	<p>Pirólisis rápida 400-700 °C</p>	<p>Residuos de pino (Pinus desiflora) y Alerce (Larix kaempferi)</p>	<p>Materia rica en Nitrógeno, Fósforo y Potasio</p>	<p>Suelo Franco limoso Arena (23,65%) Limo (62,56%) Arcilla (13,89%) pH 6,9 C: 1,09 N: 0,06 Capacidad de intercambio catiónico: 1,5 Conductividad eléctrica: 0,42</p>	<p>El pH del biochar posterior a la pirólisis es de 7,84 – 122,59. Se obtuvo un biochar con altos contenidos de C. Posterior al pirólisis El biochar obtenido cuenta con una gran superficie de microporos.</p>	<p>Por los altos contenidos de C del biochar esta se triplicó en los suelos aplicados. Mediante la lixiviación del carbón esta se redujo un 4,3 % del carbono almacenado total. Disminuyeron la pérdida total del Carbón en un 64,5 %. No hubo cambios significativos en el carbono orgánico disuelto. Reducción de emisión de Co₂ por la adsorción de esta misma. Reducción de las concentraciones de la demanda química de oxígeno,</p>

						Se obtuvo una mejor retención del N.
--	--	--	--	--	--	--------------------------------------

Los resultados obtenidos en la tabla 05 nos da a conocer las características y propiedades tanto del biochar como de los suelos, ya que esta última se verá influenciada luego de la aplicación de la enmienda. Según Hagner et.al (2016) en su investigación menciona y muestra como las propiedades del biocarbón pueden estar dirigidas a una gran variedad de propósitos en los cuales puede influir el proceso del pirólisis simplemente haciendo un ajuste en la temperatura y el tiempo de este proceso. Yang et.al (2019) coincide con Hagner y evidencia que las propiedades del suelo y del pH del biochar son influenciados por la temperatura de la pirólisis. No obstante Zhang et.al (2017) aporta a lo antes mencionado y dice que el carbono fijo, el carbono fijo total y los elementos minerales son los parámetros del biochar que serán afectados por las distintas propiedades de la materia prima que se usa para la elaboración de esta enmienda. De este modo Campos et.al (2020), El Bassi et.al (2020), Luo et.al (2020), Igalavithana et.al (2017) y Wang et.al (2020) demuestran lo antes mencionado por los distintos investigadores obteniendo en sus investigaciones diversos resultados por la gran variedad de características de este proceso, pero cabe resaltar que todos concuerdan en que si la temperatura usada en el proceso de elaboración es relativamente alta el biochar producido tendrá un pH alcalino y si la temperatura usada es baja y se aplica en tiempos cortos el pH sería ácido. Por consiguiente, dichos resultados se pueden evidenciar en la tabla 05. Acorde con lo antes mencionado por los distintos investigadores Kang et.al (2020) en su investigación evidencia una tendencia particular con las materias primas que fueron expuestas al proceso de pirólisis baja, ya que dieron un pH ácido, además también remarca la influencia de las características de las materias primas en las enmiendas, debido a esto algunas materias primas que contienen celulosa luego de pasar por el proceso de pirolisis obtendrán un pH aún más ácido. Es por esto que Campos et.al (2020) está de acuerdo con Kang y en la tabla 05 muestra que las características de su materia prima influenciaron a las propiedades del biochar ya que estas contenían celulosa, lignina, sílice y entre otros componentes

que luego de llegar a temperaturas de 180°- 250°C se transforman en sustancias ácidas, por consiguiente, las características de los biochars producidos a bajas temperaturas tuvieron un incremento de la materia volátil y la repelencia en el agua las cuales fueron disminuyendo significativamente cuando la temperatura aumenta. Acorde con Campos y Kang; Luo et.al (2020) en su investigación usó una materia prima con alto contenido de lignina la cual le dio como resultado un biochar rico en carbón, que posterior a su aplicación en los suelos influyó en el alto rendimiento del carbono vegetal. En concordancia con Kang; El-Bassi et.al en su investigación evidenció una degradación de minerales y nutrientes como el K, Na y el Mg, esto ocurrió debido a las propiedades que poseía la materia prima en la elaboración del biochar, de este modo se obtuvo un biochar rico en minerales y con un pH básico (8,8 – 9,2) el cual modificó el pH inicial del suelo de 7,5 a un rango de pH de 6,2 – 7,87, además modificó la conectividad eléctrica presente en el suelo.

Por su parte Wang et.al (2019) en concordancia con Kang menciona que los biochars producidos con distintas materias primas alta en minerales, lignina, celulosa, etc., pueden actuar como una fuente de P para el suelo y también influencia a la disponibilidad de nutrientes que tendrá el biochar. Sachdeva et.al (2019) está acorde con Wang y menciona que la fuente de P y la disponibilidad de nutrientes son parámetros del biochar en las cuales se enfocan la mayoría de los investigadores, no obstante, también existen más parámetros del biochar como la aromaticidad, área superficial específica y porosidad, las cuales juegan un rol importante en la funcionalidad y la estabilidad del biochar. Además, recalca que se debe tener en cuenta las propiedades del suelo que pueden reaccionar con los parámetros del biochar y con sus propiedades. Igalavithana et.al (2017) acorde con Sachdeva obtuvo en su investigación una reacción entre las propiedades del suelo (capacidad amortiguadora) y las propiedades del biochar, debido a esta reacción se obtuvo un aumento drástico en el pH del suelo, inicialmente era de 9,6 – 10,3 y tras la aplicación del biochar llegó a valores de 5,4 y 7,6.

V. CONCLUSIONES

Se concluye que tanto las propiedades como las características del biochar influyen de manera significativa al emendar suelos agrícolas, por lo que las propiedades y características influyentes en dichos suelos son la reactividad, porosidad, estructura, pH, capacidad de intercambio catiónico, humedad, contenido de carbono, cenizas, fuente de p, disponibilidad de nutrientes, aromaticidad, área superficial específica, las cuales juegan un rol importante en la funcionalidad y la estabilidad del biochar. Entre todas las propiedades y características mencionadas las más influyentes en enmendar los suelos agrícolas son la disponibilidad de nutrientes, contenido de carbono, porosidad y la capacidad de intercambio catiónico.

Se identificó que los efectos del biochar posterior a su aplicación en los suelos agrícolas son tanto positivos como negativos, pero principalmente predominan los efectos positivos como lo es la mejora de la macroporosidad, el almacenamiento de carbono total, la disminución de los metales, la mejora de las propiedades del suelo y sus características, incrementa el rendimiento y la productividad del cultivo, etc., tanto los efectos positivos como los negativos (degradación de suelos, pérdida de fertilidad y sequías) están relacionados con los parámetros de elaboración del biochar en las cuales tenemos a la materia prima, las condiciones iniciales del suelo, el tiempo y temperatura de pirolisis., quienes influirán en el efecto que produzca la enmienda en los suelos agrícolas.

Las condiciones óptimas que debe poseer un biochar para lograr una mejora en los suelos agrícolas es tener una alta temperatura, un tiempo de residencia larga y una velocidad de calentamiento baja., dichas condiciones son las que maneja una pirolisis lenta. En relación con estas condiciones se tienen distintos alcances y limitaciones que posee esta enmienda. Primeramente, se tienen a los alcances como pueden ser los distintos beneficios que trae en tiempos cortos, su aplicabilidad en distintos tipos de suelos y la variedad de métodos de obtención. Posteriormente y quien predomina en esta enmienda son las limitaciones ya que

estas se encuentran básicamente en los componentes de elaboración del biochar como la materia prima, propiedades del suelo, características del proceso, tiempo de aplicación, cantidad de aplicaciones.

Finalmente se identificó a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas que fueron influenciadas luego de la aplicación del biochar, y entre estas propiedades físicas que fueron influenciadas por el biochar tenemos principalmente a la porosidad del suelo, la estabilidad del suelo, la retención del agua y la densidad. Luego tenemos a las propiedades químicas como la disponibilidad de nutrientes, el contenido de C, el % de materia orgánica, Na, Mg, contenido de K, contenido de N, contenido de P, el pH, la conductividad eléctrica. Y como último las propiedades biológicas influidas son la cantidad de materia orgánica, los organismos presentes en el suelo como la comunidad microbiana y su actividad biológica.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Realizar la comparación de los distintos procesos de elaboración (gasificación y combustión) del biochar, con el proceso usado en la investigación (pirólisis), para lograr la obtención de datos y ver si los distintos procesos influirían en la composición del biochar y su efectividad en enmendar suelos agrícolas.
- Ampliar y actualizar información en función a las propiedades físicas, químicas y biológicas, del biochar y el suelo, para su correcta caracterización puesto que la tecnología pueda cambiar al pasar de los años, como los procesos para su elaboración y el uso de materia prima.
- Se recomienda profundizar más en la aplicación del biochar específicamente en suelos agrícolas y actualizar gran parte de la información referente al tema, ya que la información actual no es tan sustancial y carece de datos importantes como las propiedades iniciales del suelo en donde se aplica la enmienda para así evidenciar con más claridad los beneficios y efectos que genere el biochar.
- Según los hallazgos de la literatura, los beneficios de las aplicaciones a base de biochar al suelo, a menudo se limitan a condiciones, como tal es de importancia averiguar más a fondo los posibles efectos negativos del biochar en suelos agrícolas, para que dicho efecto no se pueda subestimar en aplicaciones reales. Por ello se necesita más investigación para una correcta y específica estimación, en predecir los efectos negativos de la enmienda de biochar en suelos agrícolas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABUJABHAH, et al. Effects of biochar and compost amendments on soil physico-chemical properties and the total community within a temperate agricultural soil. [En Línea]. febrero 2016, n.º98. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139315301141>
2. AHMED, et. al. Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. [En Línea]. Noviembre 2017, n.º79. [Fecha de consulta: 9 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117306937>
3. AHMED, MJ y HAMEED, BH. Adsorption behavior of salicylic acid on biochar as derived from the thermal pyrolysis of barley straws. [En Línea]. Setiembre 2018, n.º195. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261831610X>
4. AMIN. Carbon sequestration, kinetics of ammonia volatilization and nutrient availability in alkaline sandy soil as a function on applying calotropis biochar produced at different pyrolysis temperatures [En Línea]. Julio 2019, n.º726 [Fecha de consulta: 11 de mayo del 2020]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720_320027
5. ANYANWU, I et.al. Influence of biochar aged in acidic soil on ecosystem engineers and two tropical agricultural plants. [En Línea]. Mayo 2018, n.º153. [Fecha de consulta: 9 de octubre del 2020]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651318_300769
6. AMOHA, C et.al. Restoration of soil quality using biochar and browl coal waste: A review. [En Línea]. Junio 2020, n.º722. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720313644>

7. BEESLEY, et al. Application of co-composted biochar significantly improved plant-growth relevant physical/chemical properties of a metal contaminated soil[En Línea]. Marzo 2019, n.º242. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519324956>

8. BUTNAN, S. Biochar properties affecting carbon stability in soils contrasting in texture and mineralogy. [En Línea]. Diciembre 2017, n.º51. [Fecha de consulta: 24 de octubre del 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452316X16300825>

9. CAMPOS, et.al. Chemical, physical and morphological properties of biochar produced from agricultural residues: Implications for their uses as soil amendment. [En Línea marzo 2020, nº105. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X20300714>

10. CAMPOS Y MARTÍNEZ, La observación, un método para el estudio de la realidad[En Línea]. Marzo 2012, n.º7. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en:<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3979972.pdf>

11. CASTILLO, Edelmira y VAZQUEZ, Marta. El rigor metodológico en la investigación cualitativa. [En Línea]. 2003, nº24. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2020]. Disponible en:<https://www.redalyc.org/pdf/283/28334309.pdf>

12. CHA, et al. Production and utilization of biochar: A review.[En Línea]. Agosto 2016, n.º40[Fecha de consulta: 11 de mayo del 2020]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X1631472>

13. CHENG et.al. Biochar amendment controlled bacterial wilt through changing soilchemical properties and microbial community [En Línea] Junio 2020, n.º231. [Fecha de consulta: 13 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501319307190>

14. COOPER, et al. Effect of biochar and compost on soil properties and organic matter in aggregate size fractions under field conditions. [En Línea]. 15 junio 2020, n.º295. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880920300670>

15. DAI, et al. Combined effects of biochar properties and soil conditions on plant growth: A meta-analysis. [En Línea]. Abril 2020, n.º713. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720301455>

16. DING, Y et.al. Potetial Benefist form Biochar Application for Agricultural Use: AReview. [En Línea]. Agosto 2017, n.º27. [Fecha de consulta: 4 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S100201607603758>

17. EL-BASSI, L et.al. Application of olive mill waste-based biochars in agriculture: Impact on soil properties, enzymatic activities and tomato growth. [En Línea]. Febrero 2020, n.º755. [Fecha de consulta: 9 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720360605>

18. FERJANI, A et.al. Nutrient retention and release from raw exhausted grape marc biochars and an amended agricultural soil: Static and dynamic investigation. [En Línea]. Agosto 2020, n.º19. [Fecha de consulta: 9 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S235218642030314X>

19. GERSBACH, H. SORGER, G y AMON, C. Hierarchical Growth: Basic and

- Applied Research. [En Línea]. Mayo 2018, n.º90. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2020]. Disponible en:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165188918300988>
20. GREENBERG, I. et al. Effect of biochar and compost on soil properties and organic matter in aggregate size fractions under field conditions.[En Línea].Junio 2020, n.º295. [Fecha de consulta: 24 de octubre del 2020].Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880920300670>
21. HAN, et al. Biochar's stability and effect on the content, composition and turnover of soil organic carbon.[En Línea].Abril 2020, n.º364[Fecha de consulta: 11 de mayo del 2020].Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706119321755>
22. HAGNER, M et.al. The effects of birch (*Betula* spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth. [En Línea]. Noviembre 2016, n.º163. [Fecha de consulta: 13 de octubre del 2020].Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198716301040?via%3Dihub>
23. HANGYONG, Hanandeh. Life cycle perspective of bio-oil and biochar production from hardwood biomass; what is the optimum mix and what to do with it?[En Línea].Marzo 2019, n.º212[Fecha de consulta: 11 de mayo del 2020].Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618337272>
24. HARRIS. et al. Predicting biochar properties and functions based on feedstock and pyrolysis temperature: A review and data syntheses.[En Línea]. Abril 2019, n.º215. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020].Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619301179>
25. HERNANDEZ, FERNANDEZ & BATISTA. Metodología de la Investigación.

México: Mc Graw Hill.[En Línea]. Junio 2006 n.º10. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en:

<https://books.google.com.pe/books?id=ZPVtPpdFdGMC&pg=PA12%206&lpq=PA126&dq=Metodolog%C3%ADa+de+la+Investigaci%C3%20B3n.+M%C3%A9xico:+Mc+Graw+Hill.%5BEn+L%C3%ADnea%5D%20.&source=bl&ots=JVC0Si%201WW3&sig=ACfU3U0T4cjzsCDW6TJ-%20fR17T3HdWjIGCw&hl=es-%20419&sa=X&ved=2ahUKEwiPvbTky77qAhVLGLkGHXKhAL0Q6AE%20wCHoECAg%20QAQ>

26. HOUSSOU, A. Influence of biochar and soil properties on soil and plant tissue concentrations of Cd and Pb: A meta-analysis. [En Línea]. Febrero 2020, n.º755. [Fecha de consulta: 24 de octubre del 2020]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S00489697203_61118

27. KAN, T. STREZOV, V y EVANS, T. Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. [En Línea]. Mayo 2016, n.º57. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211501683>

28. KAVITHA, B. et.al. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. [En Línea]. Diciembre 2018, n.º227. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718309538>

29. KUMAR Y BASHKAR. Hydrochar and biochar: Production, physicochemical properties and techno-economic analysis. [En Línea]. Abril 2020, n.º27 [Fecha de consulta: 11 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420307148>

30. Li, S et.al. Predicting biochar properties and functions based on feedstock and pyrolysis temperature: A review and data syntheses. [En Línea]. Abril 2019, n.º215. [Fecha de consulta: 9 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619301179>

31. ALBUJABHAH, I. et al. Effects of biochar and compost amendments on soil physico-chemical properties and the total community within a temperate agricultural soil. [En Línea]. Octubre 2015, n.º98. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139315301141>
32. LUO, C et.al. Effect of biochar on soil properties on the Loess Plateau: Results from field experiments. [En Línea]. Junio 2020, n.º369. [Fecha de consulta: 9 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706119323699>
33. LIU, Y et.al. Impact of biochar amendment in agricultural soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: A review. [En Línea]. Diciembre 2018, n.º645. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718325841>
34. LIU, Z. et al. Effects of biochar application on nitrogen leaching, ammonia volatilization and nitrogen use efficiency in two distinct soils. [En Línea]. Junio 2017, n.º17. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2020]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071895162017000200018&lang=es#
35. MATUSTIK, J. HNATKOVA, T. y KOCE, V. Life cycle assessment of biochar to soil systems: A review. [En Línea]. Junio 2020, n.º259. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620310453>
36. MERTENS, Research and evaluation in Education and Psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods. Thousand Oaks: Sage. [En Línea]. Junio 2010, n.3. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books/about/Research_and_Evaluation_in_Education_and.html?id=m0N3tcIVds8C&redir_esc=y_MERTENS

37. MUHAMMAD, et.al. A concise review of biochar application to agricultural soilsto improve soil conditions and fight pollution. [En Línea]. Diciembre 2018, n°228. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2020].Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718309976>
38. NESLIHAN, A. A systematic review of biochar uses in animal waste composting. [En Línea]. Abril 2019, n.°88. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2020].Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19301862>
39. NICOMEDES, E. Tipos de investigación. [En Línea]. 2018. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/250080756>
40. NOREÑA, et.al. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigacióncualitativa. [En Línea]. Diciembre 2012. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/aqui/v12n3/v12n3a06.pdf>
41. ONI, B. OZIEGBE, O. y OLAWOLE, O. Significance of biochar application to theenvironment and economy. [En Línea]. Diciembre 2019, n.°64. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020].Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0570178319300405>
42. PANDEY, et al. Biochar: Production, Properties and Emerging role as a Supportfor Enzyme Immobilization. [En Línea]. Mayo 2020, n.°255[Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620303140>
43. RAZZAGJHI, F. et al. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. [En Línea]. Marzo 2020, n.°361. [Fecha de consulta: 24 de octubre del 2020].Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706119322153>

44. RAJPAL, S. y PRAKASH, N. Effect of different biochars on acid soil and growth parameters of rice plants under aluminium toxicity. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2020]. Disponible en: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=4&sid=8eb2b4cd-08f5-4299-bc14-aff5162f2dc0%40sdc-vsessmgr03&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l%20ZT1lZHMtbGI2ZQ%3d%3d#AN=144730911&db=a9h>
45. REHMA, A et.al. Effects of manure-based biochar on uptake of nutrients and water holding capacity of different types of soils. [En Línea]. Septiembre 2020, n.º2. [Fecha de consulta: 4 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016420300347>
46. RIZWAN, et al. Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: a critical review. [En Línea]. Febrero 2016, n.º23. [Fecha de consulta: 11 de mayo del 2020]. Disponible en: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=4&sid=7ba0e92e-0d6e-4b1c-8955-54f3a514f783%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGI2ZQ%3d%3d#AN=edsagr.US201600132018&db=edsagr>
47. RODRIGUEZ, J. et.al. Influence of pyrolysis temperature and feedstock on the properties of biochars produced from agricultural and industrial wastes. [En Línea]. Agosto 2020, n.º149. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237020301571>
48. SACHDEVA, V et.al. Biochar-induced soil stability influences phosphorus retention in a temperate agricultural soil. [En Línea]. Octubre 2019, n.º351. [Fecha de consulta: 13 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706119304458>
49. SALGADO, Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. [En Línea]. Abril 2020. [Fecha de consulta: 10 de mayo

- del 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-48272007000100009
50. SAÑUDO, Lya. La ética en la investigación educativa. [En Línea]. Diciembre 2006, n°6. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4138/413835165006.pdf>
51. SATO, M. et al. Biochar as a sustainable alternative to açai waste disposal in Amazon, Brazil. [En Línea]. Julio 2020, n.°139. [Fecha de consulta: 12 de octubre del 2020]. Disponible en: http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=2&sid=8eb2b4cd-08f5-4299-bc14-aff5162f2dc0%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2_I0ZT1IZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=143879740&db=eih
52. SOINNE, H. et.al. Are the environmental or agricultural benefits in using forest residue biochar in boreal agricultural clay soil? [En Línea]. Abril 2020. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720324724>
53. SOMERVILLE, et al. Biochar and compost equally improve urban soil physical and biological properties and tree growth, with no added benefit in combination. [En Línea]. Marzo 2020, n.°706. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719357316>
54. TAG et.al. Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potential applications of biochar. [En Línea]. Julio 2016, n.°120 [Fecha de consulta: 11 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237015304022>
55. TANG, J et.al. Effects of pyrolysis temperature on soil-plant-microbe

- responsesto Solidago canadensis L.-derived biochar in coastal saline-alkali soil. [En Línea]. Agosto 2020, n.º731. [Fecha de consulta: 9 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720324554>
56. TANG, et al. Effects of biochar amendment on the availability of trace elements and the properties of dissolved organic matter in contaminated soils [En Línea]. Noviembre 2019, n.º16. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186419303633>
57. VARELA, Margarita y VIVES, Tania. Autenticidad y calidad en la investigación educativa cualitativa: multivocalidad. [En Línea]. 2016, n.º5. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-50572016000300191&lng=en&nrm=iso&tlng=es
58. VARGAS, Z. La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. [En Línea]. 2009, n.º33. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
59. WANG, D et.al. Impacts and interactions of biochar and biosolids on agricultural soil microbial communities during dry and wet-dry cycles. [En Línea]. Agosto 2020, n.º152. [Fecha de consulta: 9 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092913931930530X>
60. WANG, D. et.al. Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review. [En Línea]. Junio 2019, n.º723. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720312870>
61. WANG, J y WANG, S. Preparation, modification and environmental

- application of biochar: A review. [En Línea]. Agosto 2019, n.º227. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619313733>
62. WIERSMA, W. et al. No effect of pyrolysis temperature and feedstock type on hydraulic properties of biochar and amended sandy soil. [En Línea]. Abril 2020, n.º364. [Fecha de consulta: 24 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706118323565>
63. XANG, et al. Effects of different biochar amendments on carbon loss and leachate characterization from an agricultural soil. [En Línea]. Julio 2019, n.º226. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519305211>
64. XIE, et al. Characteristics and Applications of Biochar for Environmental Remediation: A Review [En Línea]. Marzo 2015, n.º939 [Fecha de consulta: 11 de mayo del 2020]. Disponible en: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=382898d0-5b92-47de-8ee7-c9bf467e708e%40sessionmgr4007&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=RN365195831&db=edsbl>
65. XUE, X. et al. The effect of biochar on soil-plant-earthworm-bacteria system in metal(loid) contaminated soil. [En Línea]. Agosto 2020, n.º263-B. [Fecha de consulta: 24 de octubre del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119363961>
66. XUQIN, P. et al. Preparation of biochar and biochar composites and their application in a Fenton-like process for wastewater decontamination: A review. [En Línea]. Febrero 2020, n.º754. [Fecha de consulta: 24 de octubre del 2020]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720356333>

67. YA, et.al. Effects of different biochar amendments on carbon loss and leachate characterization from an agricultural soil. [En Línea]. Julio 2019, n°226. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653519305211>
68. YANG, X. et.al. Effect of different biochar amendments on carbon loss and leachate characterization from an agricultural soil. [En Línea]. Julio 2019, n.°226. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519305211>
69. YING, Generalising from case studies. [En Línea]. Junio 2013, n.°10. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317616888_Generalising_from_Case_Studies
70. YAASHIKAA, P. et.al. Advances in production and application of biochar from lignocellulosic feedstock for remediation of environmental pollutants. [En Línea]. Noviembre 2019, n.°292. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085241931260X>
71. YUAN, P et.al. Review of biochar for the management of contaminated soil: Preparation, application and prospect. [En Línea]. Abril 2019, n.°659. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971835>