



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Producción y Aplicación de Biocarbón a partir de Biomasa
Residual para Mejorar la Calidad de Suelos Agrícolas. Revisión
Sistemática, 2020**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Gamboa Romero, Jorge Lenin (ORCID: 0000-0001-8693-088X)

ASESORA:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA - PERÚ

2021

Dedicatoria

Esta investigación es el resultado del esfuerzo y la entrega que he realizado durante estos meses, la cual la dedico a mis padres por su apoyo incondicional durante todo el tiempo de mi formación de vida y académica, lo cual me permitirá ser una mejor persona y un muy buen profesional.

Agradecimiento

Agradecer primeramente a Dios, por permitirme gozar de buena salud para poder elaborar esta investigación. Agradecer a mis padres por su apoyo durante mi etapa académica. Así mismo agradecer a la Mag. Rita Jaqueline Cabello Torres por el apoyo durante la elaboración de la investigación.

Índice de Contenido

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de Contenido	iv
Índice de Tablas.....	v
Índice de Figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	27
3.1 Tipos y Diseño de la Investigación	27
3.2 Categoría, Subcategorías Y Matriz De Categorización Apriorística.....	27
3.3 Escenario de Estudio	28
3.4 Participantes	29
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	29
3.6 Procedimientos	29
3.7 Rigor Científico	30
3.8 Método de análisis de información	30
3.9 Aspectos Éticos	31
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
V. CONCLUSIONES	47
VI.RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS	49
ANEXOS.....	57

Índice de Tablas

Tabla 1: Constituyentes de la biomasa y temperaturas de descomposición.....	12
Tabla 2: Aplicación de diferentes tipos de biocarbón a diferentes tipos de cultivo.....	21
Tabla 3: Matriz de categorización apriorística.	28
Tabla 4: Resultados y referencias para el contenido de humedad de la biomasa	32
Tabla 5: Resultados y referencias para el contenido de cenizas de la biomasa	33
Tabla 6: Resultados y referencias para el contenido de lignina de la biomasa.....	34
Tabla 7: Rendimientos de materiales precursores	35
Tabla 8: Procesos de pirólisis y rendimiento generado.	36
Tabla 9: Comparación entre pirolisis lenta y pirolisis rápida	36
Tabla 10: Rendimiento del cultivo y tipo de biomasa.....	44
Tabla 11: Resultados para las propiedades biológicas de los suelos.....	45

Índice de Figuras

Figura 1: Biocarbón	5
Figura 2: Microfotografías de biocarbón de fibra de Coco	8
Figura 3: Imágenes de cáscaras de nueces de macadamia crudas	9
Figura 4: Proceso y productos de la pirólisis de biomasa.....	13
Figura 5: Diagrama de factores y variables del proceso de pirólisis	14
Figura 6: Proceso de pirólisis para la obtención de biocarbón	15

Resumen

La presente investigación se realizó con la finalidad de obtener información relacionada a mejorar la calidad de suelos agrícolas mediante la producción y aplicación del biocarbón a partir de masa residual, para lo cual se describieron los tipos de materiales precursores y se analizó la pirólisis como tecnología para la producción del biocarbón. Se evaluó también la aplicación de este para mejorar la calidad de los tipos de suelos y cultivos, así como el uso del biocarbón para el tratamiento de suelos contaminados. Las técnicas, recolección de datos y el análisis han sido realizados alternativamente a lo largo del desarrollo teórico de la investigación. En la investigación se analizaron y discutieron, temas relacionados a la elaboración y aplicación del biocarbón en los diferentes tipos de suelos, dependiendo de la masa residual del biocarbón. De la investigación realizada se demuestra que la aplicación del biocarbón en los diferentes tipos de suelo mejora significativamente las condiciones biológicas y nutricionales de los mismos, con lo cual disminuye la degradación, aumenta la fertilidad y producción. Por lo cual se recomienda realizar más investigaciones respecto al biocarbón, especialmente en las zonas donde no se practican las tecnologías que mejoran la calidad de los suelos agrícolas.

Palabras claves: Biocarbón, Pirolisis, Aplicación del biocarbón, caracterización del Biocarbón, Biocarbón y suelos agrícolas.

Abstract

The present research was carried out in order to obtain information related to the improvement of the quality of agricultural soils, the production and application of biochar from residual mass, for which the types of precursor materials were described and analyzed pyrolysis as a technology for the production of biochar. . The application of this to improve the quality of the types of soils and crops was also evaluated, as well as the use of biochar for the treatment of contaminated soils. The techniques, data collection and analysis have been carried out alternately throughout the theoretical development of the research. In the research, issues related to the elaboration and application of biochar in different types of soil were analyzed and discussed, depending on the residual mass of the biochar. The research carried out shows that the application of biochar in different types of soil significantly improves their biological and nutritional conditions, thus reducing degradation, increasing fertility and production. For this reason, more research on biochar is recommended, especially in areas where technologies that improve the quality of agricultural soils are not practiced.

Keywords: Biochar, Pyrolysis, Application of biochar, characterization of Biochar, Biochar and agricultural soils.

I. INTRODUCCIÓN

La degradación del recurso suelo es la pérdida de la capacidad de producción de la tierra en términos de fertilidad y biodiversidad. Las causas de la degradación del suelo incluyen la contaminación agrícola, industrial y comercial; pérdida de tierra cultivable debido a la expansión urbana, el pastoreo excesivo y las prácticas agrícolas insostenibles. El suelo se considera fértil cuando proporciona los nutrientes esenciales, agua para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, en cantidad y calidad adecuada. Golda & Muthu, (2020).

Los diferentes sistemas agrícolas han estado causando degradación acelerada del suelo, lo que conlleva a una reducción en la producción de cultivos agrícolas, problemas graves ambientales, sociales y económicos. Guimaraes et al, (2017). Se puede reducir el impacto ambiental de las actividades antropogénicas mediante nuevos sistemas y tecnologías de producción de biocarbón que sean apropiados para las diferentes condiciones ambientales y concilien la producción de alimentos con la preservación de toda la biodiversidad, la conservación del suelo y el agua y contribuyan al secuestro del exceso de carbono en la atmósfera. El suelo se ha convertido en uno de los recursos más vulnerables del mundo frente al fenómeno del cambio climático, así mismo la degradación del recurso suelo, como también la pérdida de biodiversidad. El recurso suelo es muy importante como reserva de carbono, el cual contiene más carbono que la propia atmósfera y toda la vegetación de la tierra Lefevre et al, (2017).

En la agricultura, el fuego todavía se usa porque es un método simple y económico. Sin embargo, su uso como herramienta agrícola genera varios impactos en el medio ambiente, entre ellos, el principal es la pérdida de biodiversidad. Varias razones conducen a la degradación ambiental, entre las principales son los cortes, los incendios y las actividades agrícolas. La deforestación y los incendios son dos de los mayores problemas ambientales que enfrenta en la actualidad. Aunque distintas, son prácticas tradicionalmente asociadas, pues como consecuencia de la tala de vegetación, casi siempre se produce la quema de material vegetal. Cuando

la quema agrícola se realiza de forma inadecuada, puede provocar un incendio forestal con efectos desastrosos para el medio ambiente. Manta, (2017).

El aumento de la productividad agrícola asociado a la promoción de ecosistemas naturales biodiversos ricos en carbono, contextualiza el uso del biocarbón como estrategia para mejorar la calidad de suelos y reducir el cambio climático. Por lo tanto, es conveniente proceder con el estudio del biocarbón a través de la definición de sus características y propiedades, así como su estructura y posibles aplicaciones para condiciones edafoclimáticas. Trazzi et al, (2018).

Otro beneficio de la producción de biocarbón es la aparición de un nuevo destino para los diferentes residuos orgánicos principalmente del sector agrícola, que puede estar representado por material vegetal resultante de la operación de cosecha y poda, así como también de residuos de la industria productiva. Conz, et al, (2015).

La evolución de los estudios acerca del biocarbón requiere la estandarización de análisis y metodologías, además del establecimiento de las propiedades más importantes. Dada la variación en las propiedades que se obtienen de la producción del biocarbón, la determinación de los factores que influyen en sus características finales es muy importante para la obtención de un material adecuado en relación al destino final de este, lo cual solo será posible cuando existe conciliación de las relaciones entre la materia prima y el biocarbón, y las condiciones de producción. Novotny et al, (2015).

Los beneficios de agregar biocarbón al recurso suelo incluyen la mayor retención de agua, menor lixiviación de nutrientes, mayor actividad micorrízica y en consecuencia la mayor productividad de los diferentes tipos de cultivos. Oni et al, (2019).

El biocarbón se obtiene mediante el proceso de pirólisis de biomasa. La facilidad y el bajo costo de producción de biocarbón, se ha convertido en una poderosa herramienta mitigante en el destino final de los residuos orgánicos, ya que este

producto tiene la capacidad de secuestrar carbono, y promover mejoras en las propiedades químicas, físicas y microbiológicas del suelo. Shi et al, (2015).

Existen experiencias muy positivas acerca de la aplicación del biocarbón en diferentes tipos de suelos, los cuales generan mejoras en cuanto a sus propiedades biológicas y nutricionales, lo cual se manifiesta en el aumento de la productividad de los suelos. El biocarbón al ser recalcitrante, hace que el carbono tenga una larga duración, retardando así el retorno a la atmosfera como CO₂, lo cual contribuye significativamente a mitigar el cambio climático. Escalante et al, (2015).

El potencial del biocarbón es notable en aspectos socioeconómicos y ambientales, esto se debe no solo a su excelente capacidad de adsorción, sino también a sus beneficios medioambientales y económicos. La diversidad de biomasa y la disponibilidad de recursos renovables allanan el camino para el uso estratégico de residuos en la cadena productiva agroindustrial para la producción de materiales de valor agregado. En este contexto, además de estar justificado, es fundamental invertir en esfuerzos intelectuales que valoren las cadenas productivas a nivel nacional, reduciendo posibles impactos ambientales. Gwenzi et al, (2017).

El uso de biocarbón puede contribuir a la mejora de la estructura del suelo, mayor retención de agua y nutrientes, mayor productividad agrícola y reducción de la contaminación de los recursos hídricos. El efecto del biocarbón tiene un alcance más amplio en áreas con escasas precipitaciones y en suelos arenosos. En estos suelos, los beneficios del biocarbón se traducen en una reducción en las tasas de aplicación de fertilizantes, ya que el biocarbón proporciona una matriz para la retención de nutrientes y permanece en el suelo durante muchos años o décadas. (Zhikun et al, 2019).

La eliminación de desechos de actividades humanas es un problema mundial. Por tanto, la conversión de estos residuos en biocarbón para su aplicación en el suelo no solo tiene el potencial de reducir las emisiones y consecuentemente contribuir a la mitigación del cambio climático, sino que también puede ser una alternativa para gestión de residuos. De Gisi et al, (2016).

El biocarbón permite armonizar la producción de energía y alimentos con una mayor fertilidad del suelo y secuestro de carbono. Estas características hacen que esta tecnología uno de los pocos disponibles en la actualidad con potencial para responder a la convergencia de problemas que enfrenta el mundo a principios de este siglo: degradación del suelo, escasez de alimentos y fertilizantes, competencia por la biomasa y escalada de emisiones de gases de efecto invernadero hacen que sean utilizados cada vez más. El uso de carbono a través de la transformación de desechos en biocarbón es mayor y más eficiente en comparación con el equilibrio del ciclo del carbono en condiciones naturales en el medio ambiente. Yang et al, (2016).

En la presente investigación se planteó como problema general: ¿De qué manera la producción y aplicación de biocarbón a partir de biomasa residual mejorara la calidad de los suelos agrícolas?, así mismo se tiene como problemas específicos: ¿Cuáles son los materiales precursores para la elaboración del biocarbón?, ¿Qué tecnologías se utilizan para la producción del biocarbón?, ¿Qué aplicaciones tiene el biocarbón para mejorar los suelos y cultivos?, ¿De qué manera mejora la calidad nutritiva y biológica de los suelos mediante la aplicación de biocarbón?

Así mismo en esta investigación se plantea el siguiente objetivo general: Evaluar la producción y aplicación de biocarbón a partir de la biomasa residual para mejorar la calidad de suelos agrícolas, teniendo como objetivos específicos: Describir los tipos materiales precursores para la elaboración del biocarbón, Analizar las tecnologías que se utilizan para la producción del biocarbón. Evaluar la aplicación del biocarbón en diferentes tipos de suelos y cultivos, Evaluar las propiedades nutricionales y biológicas del suelo.

Con la investigación que se presenta se demuestra que la calidad de suelos agrícolas se mejora mediante la producción y aplicación de biocarbón a partir de biomasa residual.

II. MARCO TEÓRICO

El biocarbón es un material carbonizado que se obtiene a partir de la biomasa con alto contenido de carbono, mediante una descomposición térmica en un entorno de oxígeno nulo o muy bajo según el tipo de biomasa y mediante procesos sostenibles. El término de biocarbón se inicia de la obtención de un tipo de material carbonizado a partir de una biomasa con niveles de carbono alto, mediante pirólisis en condiciones de muy bajos niveles oxígeno a través de un proceso controlado. Oni et al, (2020).

El biocarbón no solo hace referencia a la utilidad que se le da como materia orgánica carbonizada en los suelos agrícolas, sino también sirve para el uso para la recuperación de suelos degradados, entre muchas aplicaciones ambientales. Es importante resaltar que este término hace énfasis en su origen orgánico. Li et al, (2019).

El biocarbón desde el punto de vista aplicativo es una enmienda del suelo que posee propiedades físicas, químicas y biológicas e interacciona con el suelo y la planta, así incrementa el rendimiento del cultivo agrícola, el reciclaje de nutrientes del suelo y la captura de carbono atmosférico en el suelo como carbono orgánico. Majunder et al, (2019).



Figura 1: Biocarbón

Fuente: Elaboración propia.

Caracterización el biocarbón. La composición del biocarbón es muy heterogénea, porque este contiene componentes inestables como también estables. Tasneen & Shah, (2017). Las características del biocarbón pueden ser evaluados según los siguientes parámetros que a continuación se describen:

Humedad: Aparte de contener vapor de agua, existen diferentes alternativas de solventes orgánicos en el cual se menciona el metanol y ácido acético que son sustancias que también proporcionan humedad. La humedad viene a ser la cantidad de masa de agua perdida durante el proceso de secado. Wang & Wang, (2019).

Material volátil: es la capacidad de ser extraído no solo en un estado sino tiene la opción de ser removido por el proceso de degradación microbiana, como también por lixiviación en el suelo dejando al biocarbón solo con contenido de ceniza y otros. Wang & Wang, (2019).

Ceniza: Es el contenido que se encuentra totalmente seca es decir libre de humedad que puede influir en las propiedades del biocarbón como un indicador de contenido de minerales y otros nutrientes en forma de óxidos, silicatos, carbonatos, sulfatos, cloruros y fosfatos Wang & Wang, (2019).

Contenido de carbono fijo: Es el contenido que no sea ceniza y que no se volatiliza a 950°C es carbón fijo o materia residente. Wang & Wang, (2019).

Adsorción del biocarbón. La adsorción de biocarbón se puede simplificar y describir como la adhesión de moléculas a su superficie. El término adsorción se refiere a las moléculas capturadas en fase líquida o gaseosa y el término adsorbente se refiere al sólido que contiene el adsorbato. Moura et al, (2018).

La capacidad adsorbativa del adsorbente depende de varios factores experimentales, como la temperatura, las características físicas y químicas del adsorbato y del adsorbente y las concentraciones utilizadas. A partir de la isoterma

de adsorción, es posible obtener información relevante sobre el material adsorbente, como la determinación del área superficial, el volumen y distribución de los poros y el calor de adsorción. La capacidad de adsorción del carbón activado se puede evaluar a partir de un conjunto de metodologías, que incluyen el índice de adsorción de colorantes aniónicos y / o catiónicos, la determinación del área de la superficie de los poros y la distribución del tamaño de los poros; así, en base a estos parámetros, se define la mejor aplicación para el adsorbente producido. Gwenzi et al, (2017).

Las isothermas de adsorción son modelos gráficos que se correlacionan con la concentración del adsorbato en función de la concentración de equilibrio. Las ecuaciones de Langmuir y Freudlich son las más utilizadas para obtener isothermas que involucran adsorción de soluciones y estudios de superficies porosas. Basak et al, (2016).

Microscopia Electrónica de Barrido para el Biocarbón. El proceso de pirólisis le da al carbón una estructura microporosa formado con el potencial de filtración y adsorción de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Es importante señalar las propiedades de los productos formados por pirólisis sufren una influencia significativa según la temperatura asignada al proceso. A partir de las micrografías, el cambio morfológico en la superficie del biocarbón se evidencia al comparar las micrografías de la materia prima, lo que permite comprobar la eficiencia del agente activador en la formación de la estructura porosa del biocarbón. Además, también es posible sugerir que los cambios morfológicos que ocurren en la superficie del biocarbón se relacionan con las reacciones químicas que ocurren entre el material precursor y el agente de activación debido a las sustancias orgánicas volátiles y los gases ligeros que se liberan durante el proceso de activación y pirólisis, que previamente obstruían los poros. Tran *et al*, (2015).

El microscopio permite observar la porosidad de la partícula, agujero y huecos. Cada hueco tiene un área donde ingresan nutrientes y bacterias, estos a su vez tienen grupos químicos y funcionales que ejercen una atracción entre nutrientes y sustancias con las bacterias que se quedan secuestradas. Cuando las plantas

comienzan a absorber nutrientes el biocarbón lo suelta poco a poco y es así que la planta tiene nutriente por más tiempo. Sun et al, (2016).

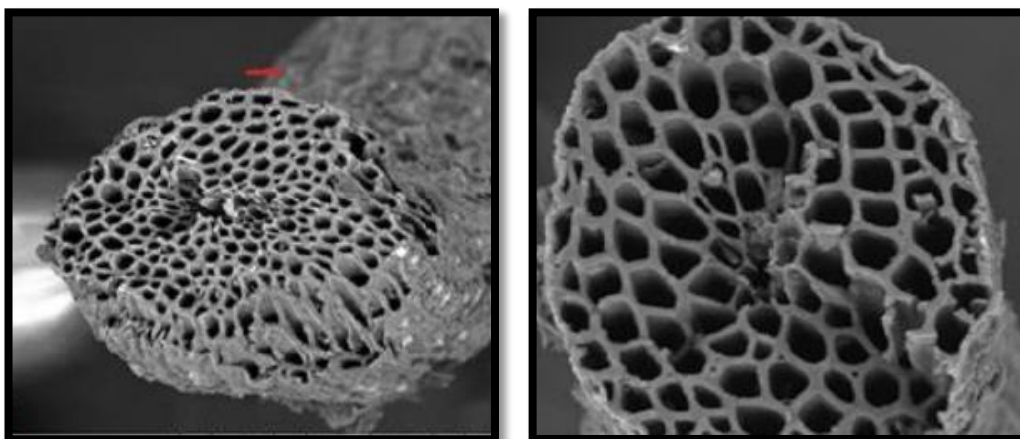


Figura 2: Microfotografías de biocarbón de fibra de Coco

Fuente: Sun et al, (2016)

Otro análisis muestra que mediante un microscopio se ha observado una muestra de bagazo de naranja con el biocarbón en el cual es posible verificar que los poros son heterogéneos y que parte de la estructura de la biomasa ha conservado disminución del tamaño de partícula tras el procedimiento de pirólisis. En comparación con el biocarbón y el carbón comercial activado, se puede observar que la estructura del biocarbón está compuesta por partículas con cavidades profundas y abiertas provocadas por la liberación de materia volátil, resultado que puede estar asociado con la presencia de material mineral que provoca un aumento de la desintegración en las partículas de biocarbón. La alta porosidad del biocarbón en el que asiste el proceso de adsorción, difiere del carbón comercial, ya que estos están formados por partículas con formas laminares y poca profundidad. Conz et al, (2015).

En la figura siguiente se muestra imágenes microscópicas de la cascara de nueces de macadmia crudas antes y después de ser sometidas a la pirolisis

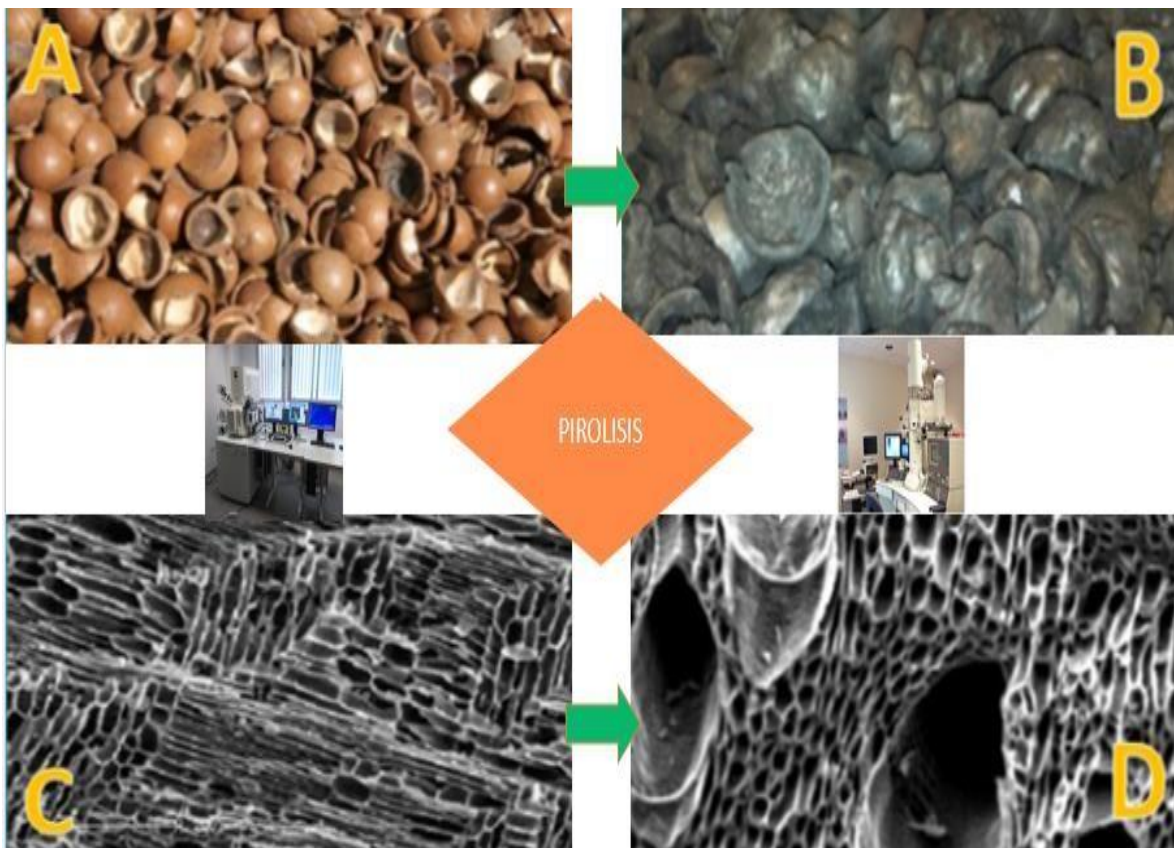


Figura 3: Imágenes de cáscaras de nueces de macadamia crudas

Fuente: Adaptado de: Cultura Edáfica (2018)

Presencia de Grupos Funcionales en el biocarbón. Los grupos funcionales en el biocarbón son aquellos que se pueden identificar usando técnicas espectroscópicas y pueden proporcionar información sobre carbón pirogénico. Entre las técnicas espectroscópicas, la microscopía Raman permite evaluar la estructura cristalina y amorfa del material. La presencia de grupos funcionales en la estructura periférica del biocarbón da como resultado materiales ácidos o básicos, hidrófilos o hidrófobos en la superficie. Basak et al, (2016).

El proceso de pirólisis da como resultado el desarrollo de grupos superficiales funcionales, que determinan la capacidad de adsorción de iones del biocarbón. La presencia de grupos funcionales básicos o ácidos está influenciada por la temperatura de pirólisis. El aumento de temperatura tiende a aumentar los grupos básicos y disminuir los ácidos, lo que se refleja directamente en la capacidad de intercambio catiónico y en la calidad del biocarbón como acondicionador del suelo. Shi et al, (2015).

Materiales Precusores para la Elaboración del Biocarbón. Los materiales precusores para la elaboración del Biocarbón se basan en la materia orgánica que es aquella que se caracteriza por ser de origen animal o vegetal, la biomasa constituye un grupo de productos energéticos y de materia prima de recursos renovables que resulta a partir de materia orgánica formada por vía biológica. Tanto la biomasa residual, como los residuos orgánicos son consideradas materias primas principales para el proceso de pirólisis, la cual da como resultado la producción de biocarbón. Sato et al, (2020).

Entre los principales constituyentes de la biomasa lignocelulosa tenemos a la: madera, cultivos y rastrojos de cultivos bioenergéticas, que son componentes de la celulosa, hemicelulosa y lignina. Las diferencias estructurales de cada componente de la biomasa se descomponen en intervalos de temperaturas diferentes. La celulosa siempre resistente a la descomposición térmica que la hemicelulosa, mientras que la lignina es más difícil de descomponer que la celulosa y la hemicelulosa. Lorenz & Lal, (2014).

Se tienen muchas materias primas principales para la producción de biocarbón y sus propiedades deseadas se encuentran en función a la selección, así como del método de producción que se empleara. Teóricamente se puede usar cualquier tipo de biomasa, desde residuos agrícolas, forestales y de chacra, hasta los residuos domésticos e industriales. Tasneen & Shah, (2017).

La biomasa tiene tres fases principales: materia orgánica, materia inorgánica y materia fluida. La materia orgánica es sólida y puede ser no cristalina (celulosa, hemicelulosa, lignina y extractos) y cristalina (oxalatos minerales). La materia inorgánica también es sólida y puede ser cristalina, semicristalina y amorfa. Finalmente, la materia fluida puede estar en forma líquida o gaseosa (Lorenz & Lal, 2014).

La composición de la biomasa puede variar ampliamente debido a varios factores que intervienen en su producción: condiciones agronómicas locales, prácticas de

cosecha (tipo de equipo, proceso, estación, luz solar, tiempo de cosecha, fertilizantes y clima), condiciones de almacenamiento, edad de la planta, cuestiones ambientales y procesos de pre tratamiento. Por ejemplo, las condiciones de cosecha pueden afectar el contenido de cenizas, carbohidratos y humedad en la biomasa. Algunos de estos factores, como las condiciones de almacenamiento y los procesos de pre-tratamiento, pueden controlarse mediante métodos estándar. Sin embargo, cuando la variabilidad de la composición de la biomasa está relacionada con las condiciones ambientales, su control se vuelve difícil, ya que puede estar asociado a variaciones climáticas, disponibilidad de agua, período estacional, variaciones de temperatura y suelo, que incluyen principalmente la presencia de arena y variación de pH. Gollakota et al, (2016).

Restos Forestales. Los residuos forestales pueden ser de: corteza de eucalipto, aserrín y madera de roble, olivo, corteza de pino, astillas, poda y aserrín, entre otros; Así mismo como residuos agrícolas se tiene las cáscaras de coco, café, corteza de olivo, fibras de palma, cáscaras y granos, cáscara de arroz; bagazo caña de azúcar, cáscaras de girasol, maíz, avena, arroz y paja de trigo, entre otros. Sato et al, (2020).

La generación excesiva de residuos de madera asociada a su baja utilización resulta en daños ambientales, además de una importante pérdida de oportunidades para la industria, las comunidades locales, los gobiernos y la sociedad en general, especialmente en regiones lejanas, dependientes de fuentes de energía externas. Las investigaciones sobre procesos térmicos que se pueden aplicar a los residuos forestales son con el fin de generar, además del valor calorífico, productos de mayor valor agregado, generando con este procesamiento valiosos productos químicos e insumos para las más variadas aplicaciones de estos. Zago & Barros, (2018)

Tabla 1: Constituyentes de la biomasa y temperaturas de descomposición

Componente	Temperatura de descomposición (°C)
Lignina	280-500
Celulosa	240-350
Hemicelulosa	200-260
Agua	>120

Fuente: Elaboración propia

Residuos Orgánicos. Los residuos orgánicos son todos aquellos residuos que tienen origen animal o vegetal, o sea que recientemente forma parte de un ser vivo. En un lenguaje más técnico y moderno, nos acercáramos a los residuos sólidos, siendo su componente biológico la materia orgánica, pero de la misma forma procedente de seres vivos, animales y plantas. Este tipo de residuos se considera contaminantes cuando se acumulan. Zago & Barros, (2018).

Residuos Industriales. Los residuos industriales, son reconocidos como valiosas materias primas renovables debido a su rica composición en carbono. Los residuos industriales representan como potenciales fuentes de suministro de materia prima para la industria química renovable, debido a la gran cantidad producida y las cadenas bien establecidas, lo que en algunos casos facilita su uso. La búsqueda del uso de estos residuos en productos nobles sigue la misma lógica que la industria petrolera; es decir, la diversificación del potencial de la materia prima, dando lugar a una ramificación de nuevos productos a partir de las fracciones constituyentes. La biomasa está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa, lignina y, en menor proporción, resinas, taninos, ácidos grasos, fenoles, compuestos nitrogenados (proteínas) y sales minerales. Su conversión genera una variedad de productos, con pocos residuos y emisiones, generando mayores ganancias económicas, minimizando los aspectos ambientales negativos y mejorando la sostenibilidad y eficiencia de las cadenas industriales. Feitosa et al, (2020).

Tecnologías de producción del biocarbón. El biocarbón se obtiene por pirólisis de la biomasa. Este proceso hace referencia a la descomposición térmica mayor a

300 °C de la materia orgánica en ausencia de del elemento oxígeno. En su primera fase se genera la combustión y gasificación, finalmente el proceso finaliza con la oxidación total o parcial de la biomasa, lo cual resulta en un subproducto compuesto de altas cantidades de carbono, el cual es conocido como biocarbón. Muvhiwa et al, (2019).

La producción de biocarbón se puede llevar a cabo a diferentes escalas, como hornos simples de baja capacidad. También el ser humano ha utilizado fosas y hornos construidos de tierra, piedra, madera y otros elementos para la producción de carbón a lo largo de la historia. Hanoglu et al, (2018).

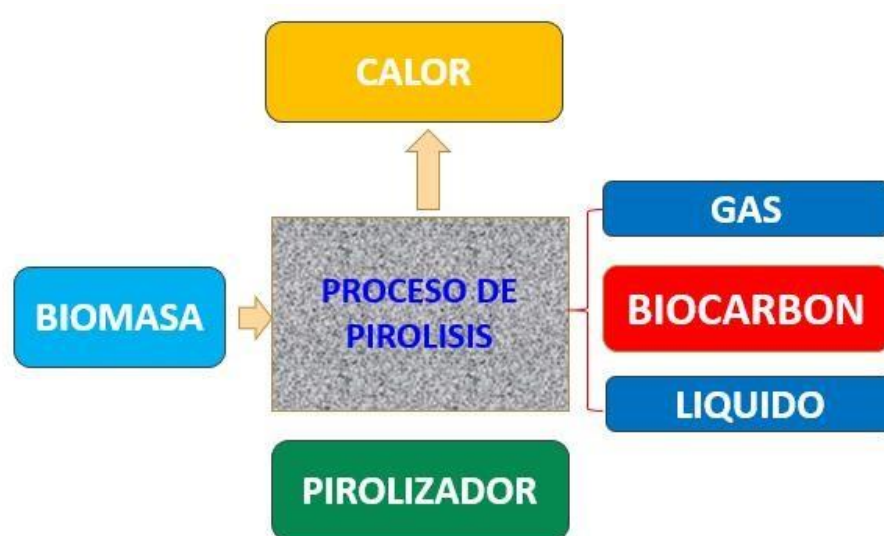


Figura 4: Proceso y productos de la pirólisis de biomasa

Fuente: Elaboración propia

Pirólisis. La pirólisis es un proceso conocido desde hace más de un siglo, cuyo nombre deriva de las palabras griegas "piro", que significa fuego, y "lisis", que significa descomposición o rotura en partes. Así la pirólisis es un proceso termoquímico que consiste en la descomposición de la materia orgánica por temperatura - entre 350 y 700 ° C. Papari & Hawboldt, (2015).

La pirólisis consiste en la lenta degradación térmica de los componentes de la biomasa, la mayoría de los cuales son polímeros, en ausencia de oxígeno. La

pirólisis lenta se ha utilizado tradicionalmente para la producción de carbón vegetal, pero varios estudios detallados sobre pirólisis de biomasa, iniciados en la década de 1970, han tomado la proporción deseada de productos obtenidos mediante el control de variables. La pirólisis es un proceso de conversión térmica que implica la ruptura de enlaces carbono-carbono y la formación de enlaces carbono-oxígeno. Más apropiadamente, la pirólisis es un proceso de oxi-reducción, en el que parte de la biomasa se reduce a carbono, mientras que la otra parte se oxida e hidroliza, dando lugar a fenoles, carbohidratos, aldehídos, cetonas y ácidos carboxílicos. Estos productos primarios se combinan para formar moléculas más complejas, como ésteres, productos poliméricos, etc. Hanoglu et al, (2018).

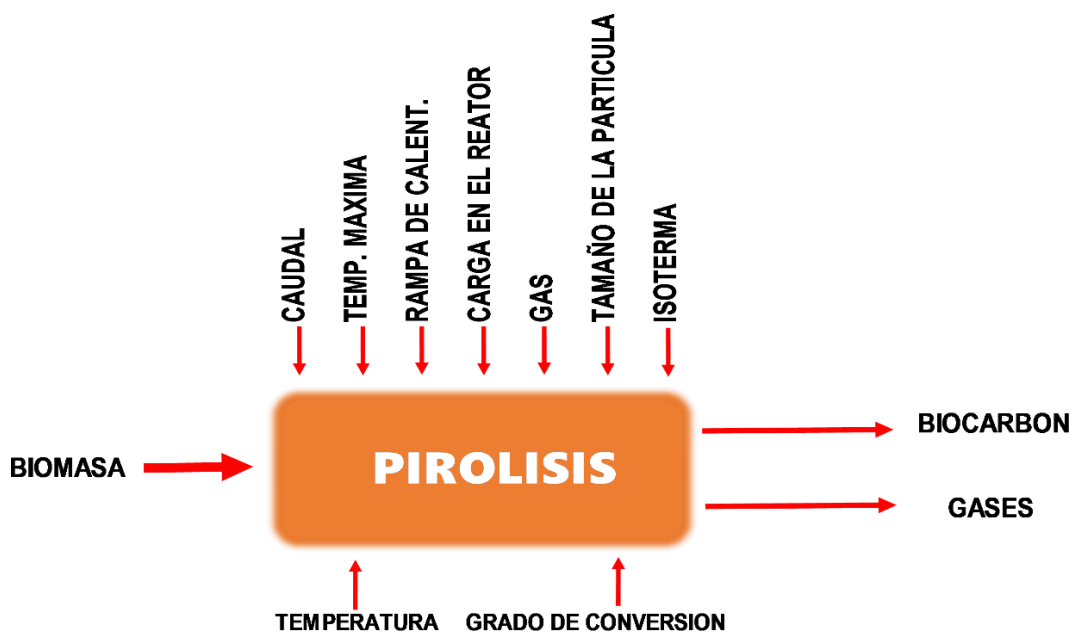


Figura 5: Diagrama de factores y variables del proceso de pirólisis

Fuente: Adaptado de Papari & Hawboldt, (2015)

La pirólisis tiene como meta principal la práctica sanitaria y ambiental de los residuos sólidos, reduciendo notablemente su volumen al ser transformados en materiales con gran potencial de uso energético, como también materias primas para números procesos industriales. Así mismo se obtienen gases de síntesis, compuestos de hidrocarburos, óxidos de carbono e hidrógeno y por último, biocarbón, que en su constitución son residuos sólidos carbonosos, que contienen carbono fijo obtenido a diferentes temperaturas. Gao et al, (2019).

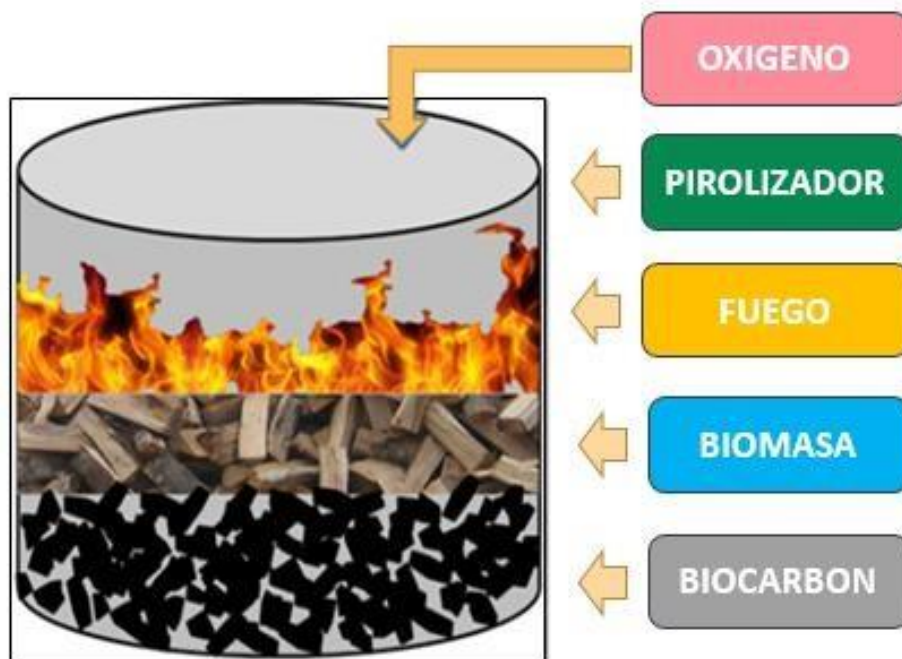


Figura 6: Proceso de pirólisis para la obtención de biocarbón

Fuente: Adaptado de Papari & Hawboldt, (2015)

Tipos de Pirólisis. En el proceso de producción de biocarbón se utilizan dos sistemas de pirólisis: La pirólisis rápida y pirólisis lenta. Ambos originan biocarbón, gas y bioaceite, dependiendo de las cantidades relativas y sus características de cada uno de los coproductos controladas por las condiciones de operación. Funke et al, (2016).

Pirólisis Lenta. El proceso de pirólisis lenta se caracteriza por intervalos de calentamiento de la biomasa pausados, con temperaturas bajas y tiempos largos de residencia. De acuerdo al sistema, los intervalos de calentamientos son cerca de 0.1 a 2 °C por segundo y prevalecen las temperaturas alrededor de los 250°C a 450 °C. El proceso de la pirólisis lenta es el método más adecuado y usado para producir biocarbón. La pirólisis lenta de la biomasa se suele estudiar con el objetivo de tener un mejor rendimiento del producto sólido (biocarbón) generado en el proceso y consecuentemente afectando el rendimiento de los demás productos (líquidos y sólidos) garantizando altas potencias energéticas. Gao et al, (2019).

Pirólisis Rápida. La pirólisis rápida es el proceso de descomposición térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno, donde la biomasa se convierte en biocombustible, carbón y gases no condensables. La pirólisis rápida se diferencia de otros procesos de conversión térmica porque en su proceso se tienen velocidades de calentamiento elevadas en el reactor y bajos tiempos de residencia del vapor en la zona de reacción. Se dan a temperaturas alrededor de los 450°C a 600 °C. Zhang, et al (2019).

Aplicación del Biocarbón. El biocarbón se puede aplicar en:

Biocarbón como mejorador de suelos. El biocarbón es muy estable en el suelo y tiene el potencial de incrementar directamente la capacidad de retención de agua a largo plazo, a través de su naturaleza a menudo porosa, reflejando las estructuras celulares de la materia prima. También tiene cenizas que son fuentes de fósforo y potasio y otros elementos que pueden estar en formas más solubles y accesibles que en la materia prima no pirolizada. Trazzi et al, (2018).

El efecto del biocarbón sobre la disponibilidad de estos elementos puede explicar algunos impactos en la producción de algunos cultivos a corto plazo, especialmente debido al hecho de que algunos elementos no pueden estar disponibles simplemente aumentando la cantidad de materia orgánica en el suelo. El biocarbón aumenta la disponibilidad de nutrientes en el medio ambiente, esencial para el crecimiento de hongos; el biocarbón cambia la actividad de otros microorganismos que tienen un efecto sobre las micorrizas; el biocarbón cambia la dinámica de la rizosfera, aumentando la interacción entre microbios, raíces de plantas y hongos micorrízicos; y el biocarbón actúa como refugio para la colonización de hongos y bacterias. Trazzi et al, (2018).

El uso de biocarbón, producto resultante de la pirólisis (quema controlada de residuos orgánicos) puede ser la solución para la restauración de suelos degradados, además de promover un incremento de casi un 30% en la producción agrícola y de forrajes y contribuir a la preservación del medio ambiente. La aplicación de biocarbón en pastizales degradados aumentó la productividad de las

gramíneas forrajeras en un 27%, aumentó la cantidad de macronutrientes, disminuyó la acidez del suelo y secuestró carbono, contribuyendo así a la regulación climática. La producción de biocarbón a gran escala sería una buena solución para cubrir esta demanda de producción agrícola y de forrajes y podría llevarse a cabo mediante procesos industriales. Moura et al, (2018).

Biocarbón para el tratamiento de Suelos Contaminados. Las características del biocarbón generalmente dependen de su material de origen y del proceso de pirólisis. Los materiales animales, como el estiércol, suelen tener un pH más alto en comparación con los del material vegetal, así como una mayor cantidad de nutrientes, como N, P, K, S, Ca, Mg, debido a su constitución química capacidad de intercambio catiónico inicial y mayor, pero con menos Carbono . El biocarbón se puede utilizar como sustituto de los fertilizantes químicos, como acondicionador del suelo, especialmente en suelos meteorizados y de baja fertilidad natural; así como también se puede utilizar para tratar a suelos contaminados. El aumento de la producción de biomasa vegetal puede deberse a mejoras en la parte física, química y biológica del suelo. Los estudios demuestran que el uso de biocarbón en el suelo favorece una mayor capacidad de retención de agua, mejora la estabilidad de los agregados, aumenta la porosidad y la tasa de infiltración del agua. Sin embargo, los efectos sobre el suelo varían según el tipo de suelo y el biocarbón. Varios estudios han informado de su potencial para mejorar la capacidad de retención de agua del suelo. Muvhiwa et al, (2019).

Al afectar las características físicas del suelo, afecta directamente la respuesta del suelo al agua, agregación, aireación, trabajo durante la preparación del suelo para el cultivo, elasticidad y permeabilidad, así como su capacidad de retención de cationes y respuesta a los cambios. Al afectar las características físicas del suelo, afecta directamente la respuesta del suelo al agua, agregación, aireación, trabajo durante la preparación del suelo para el cultivo, elasticidad y permeabilidad, así como su capacidad de retención de cationes y respuesta a los cambios de temperaturas. De forma indirecta, se pueden influir algunos aspectos químicos y biológicos de la fertilidad del suelo, como la presencia física de los sitios de reacción y la provisión de hábitats protectores para la población microbiana del suelo. El

efecto directo del biocarbón está relacionado con su gran superficie interna y la gran cantidad de microporos, donde el agua es retenida por fenómenos de capilaridad. El uso de biocarbón puede ayudar a equilibrar estas interacciones y hace que los nutrientes retenidos estén disponibles para la solución del suelo, porque actúa en el complejo de intercambio como un coloide que retiene los nutrientes en el micro y el mesoporos superficiales. He et al, (2019).

Propiedades del Suelo que se mejora con el Biocarbón. Actualmente, algunos estudios se han centrado en la modificación del biocarbón sobre las propiedades físicas y químicas de varios suelos. En realidad, además de la enmienda directa del biocarbón sobre las propiedades del suelo, el biocarbón también puede alterar el estado microbiano y nutricional del suelo dentro de la zona de raíces de la planta al cambiar las propiedades físicas del suelo (por ejemplo, densidad aparente, porosidad y distribución del tamaño de partícula). En general, la mejora de las propiedades del suelo contribuye en gran medida al aumento de la eficiencia del uso de nutrientes y agua y la productividad de los cultivos. La aplicación de biocarbón podría aumentar el valor del pH del suelo, el aumento del pH del suelo podría cambiar la forma de los nutrientes y facilitar la adsorción de algunos elementos de la raíz. La capacidad de intercambio catiónico es una medida indirecta de la capacidad de los suelos para retener agua y nutrientes. En general, las mejoras de las propiedades del suelo podrían aumentar directa o indirectamente el contenido y la disponibilidad de nutrientes y disminuir la lixiviación de nutrientes, que se conocen como mecanismos para el aumento de la fertilidad del suelo. Ding et al, (2016).

Propiedades Nutricionales. El Biocarbón proporciona al suelo la retención de nutrientes al mejorar la capacidad de intercambio catiónico. La cantidad de compuestos aromáticos presentes en la superficie del biocarbón, la oxidación del carbono y la formación de grupos carboxílicos pueden ser la razón principal de la alta capacidad de intercambio catiónico observado. La formación de grupos carboxílicos y grupos funcionales con cargas negativas en un amplio rango de pH puede ser el resultado de dos procesos: oxidación de las partículas superficiales

del carbón, o adsorción de una gran cantidad de materia orgánica en las superficies del biocarbón, o un efecto combinado de ambos. Petter et al, (2016).

La incorporación de biocarbón en el suelo puede alterar sus propiedades físicas del suelo tales como textura, estructura, tamaño de poro y densidad. La porosidad, una fracción del volumen ocupado por la solución y el aire del suelo, es de gran importancia para los procesos físicos, químicos y microbiológicos, como infiltración, conductividad, drenaje, retención de agua, difusión de nutrientes y crecimiento de microorganismos. Se explica que el tamaño de partícula del suelo combinado con la estructura del biocarbón influye en la capacidad de retención de agua por el efecto directo de la superficie del material sólido. Petter et al, (2016).

Propiedades Biológicas. El uso de biocarbón estimula la actividad de una variedad de microorganismos, influyendo significativamente en las propiedades biológicas del suelo. La estructura porosa del biocarbón, la gran superficie interna y la capacidad de adsorber materia orgánica soluble, gases y nutrientes inorgánicos son características importantes del biocarbón, ya que proporciona un hábitat adecuado para la colonización de microorganismos. El tamaño de poro de la biomasa utilizada aumenta con la carbonización hidrotermal y está relacionado con el uso de la temperatura y el tiempo de residencia del proceso. La alta porosidad del biocarbón puede permitir una mayor retención de humedad, ya que los poros más pequeños atraen y retienen el agua en el suelo más fácilmente. De esta forma, la porosidad juega un papel fundamental en las propiedades biológicas del suelo. Sun et al, (2016).

El estudio de los efectos del biocarbón sobre las propiedades microbianas del suelo es de fundamental importancia, ya que esta es una variable sensible a los cambios en el medio y es un indicador de la calidad de los suelos. Inicialmente, cuando los desechos no se incorporan al suelo, tienen poco potencial biológico. Sin embargo, después de ser acondicionado al suelo, durante algún tiempo, se adquiere un potencial biológico. Khadem & Raiesi, (2017).

Cuando se agrega al suelo, la estructura porosa del biocarbón puede ofrecer micrositios favorables: contra los diferentes tipos de microorganismos, contra los depredadores de la fauna del suelo. La estructura porosa tiene una alta superficie interna con la capacidad de adsorber materia orgánica soluble, gases y nutrientes inorgánicos, lo que la convierte en un hábitat sostenible para el crecimiento y reproducción colonizados, en particular para bacterias, actinomicetos y hongos micorrízicos arbusculares. Khadem & Raiesi, (2017).

Los estudios que evaluaron el biocarbón encontraron que el crecimiento de hongos para las bacterias fue del 30%. Un mayor conocimiento sobre la relevancia de estos microorganismos en el suelo puede ayudar a indicar el mejor manejo del uso de biocarbón en el suelo. El biocarbón puede tener el potencial de neutralizar la acidez del suelo, haciéndolo apto para microorganismos y también favoreciendo el aumento de adiciones de carbono orgánico. Así mismo mejora la retención de nutrientes que se vuelven accesibles a los microorganismos en la superficie de la partícula. Khadem & Raiesi, (2017).

Tabla 2: Aplicación de diferentes tipos de biocarbón a diferentes tipos de cultivo.

Autor (Es)	Tipo De Cultivo	Tipo De Biocarbón	Lugar (País)	Metodología	Resultados
Fiallos, et al, (2015, 15-16)	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	Árbol de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Riobamba (Ecuador)	Realizaron la investigación de la restauración ecológica del suelo a partir de la aplicación de diferentes concentraciones de biocarbón (10, 20, y 30 t.ha ¹) y evaluaron su efecto sobre la producción forrajera del cultivo alfalfa, bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar.	Los resultados superiores se obtuvieron al aplicar 30 t.ha ¹ de biocarbón, así: en el primer corte se alcanzó el menor tiempo de presencia a la floración con (40,50 días), la mayor cobertura basal (39,35 %), la elevada cobertura aérea (86,0%), la mejor altura (87,98 cm), el mayor número de hojas por tallo (103,45) y sobre todo, la elevada producción en forraje de alfalfa.
Da Silveira et al, (2016, p.2-3)	Rúcula (<i>Eruca vesicaria</i>)	Árbol de cajueiro (<i>Anacardium occidentale</i>)	Redenção (Brasil)	Realiza el experimento en la huerta de la UNILAB, utilizando el biocarbón producido a partir de madera de poda de anacardo hecho artesanalmente en horno de ladrilleros. El diseño experimental fue hecho en bloques al azar con cinco tratamientos y 4 repeticiones.	Los tratamientos se realizaron considerando 15t / ha de fertilización, conformando los tratamientos: T1 (sin fertilización), T2 (50% humus + 50% biocarbón), T3 (75% humus + 25% biocarbón), T4 (25% humus y 75% biocarbón) y T5 (100% humus). En el primer y segundo corte, los tratamientos no mostraron diferencia significativa y la aplicación de biocarbón no difirió del testigo (sin fertilización).
Da Silva et al, (2017, p.2-3)	Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Residuos orgánicos	Minas Gerais (Brasil)	Realizaron tres experimentos simultáneamente en el invernadero. Cada uno de los experimentos fue representado por la aplicación del biocarbón, los cuales fueron producidos a partir de residuos orgánicos de cáscara de arroz, aserrín y	En los tres experimentos la aplicación de biocarbón incrementó la masa seca de la raíz, la masa seca de la parte aérea, la masa seca de granos, el número de vainas y el número de granos. Estos resultados indican que los biocarbóns contribuyeron significativamente al crecimiento y producción de frijoles

				residuos de ensilaje de sorgo, utilizados como material filtrante para el jugo biofertilizante, los tratamientos evaluados consistieron en agregar cinco niveles de biocarbón, es decir, 0, 2.5%, 5% 7.5% y 10% v / v	
Trupia no et al, (2017, p. 2-4)	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	Carbón comercial	Firenze (Italia)	Se analizaron las características microbiológicas, químicas y físicas del suelo, así como el crecimiento y fisiología de las plantas. También se realizó un cribado inicial para evaluar el efecto del biocarbón y la toxicidad del compost, utilizando plantas de berro y lombrices de tierra.	Los resultados mostraron que la enmienda de compost tuvo efectos claros y positivos en el crecimiento y rendimiento de las plantas y en las características químicas del suelo. Sin embargo, demostramos que también el biocarbón estimuló el número de hojas de lechuga y la biomasa total, mejorando el contenido de nitrógeno y fósforo total del suelo, así como el carbón total, y mejorando las comunidades microbianas relacionadas.
Herrera et al, (2018, p. 570-572)	Sapote (<i>Capparis scabrida</i>)	Cascara de café (<i>Coffea arabica</i>)	Tumbes (Perú)	Realizaron una minuciosa caracterización del biocarbón obtenidos en función a sus propiedades texturales, morfológicas, estructurales y química superficial. El diseño experimental lo realizaron en semillas viables del sapote, fueron colocadas en sustratos con dosis respectiva de 0, 15 y 30 % wt de cada uno de los tres tipos de biocarbón obtenidos, se pusieron en bolsas de 2 kg en condiciones de vivero. Evaluaron los	Determinaron que el tipo de biocarbón tenía influencia solo en el tiempo de germinación y la dosis de biocarbón, también tuvo influencia en el aumento de masa de parte aérea durante el crecimiento de las plántulas.

				parámetros de germinación, como tiempo y el porcentaje de germinación del crecimiento de las plántulas.	
Iglesias et al, (2018, p. 27-28)	Maíz (<i>Zea mays</i>)	Árbol de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Azuay (Ecuador)	Realizaron el cultivo en coordinación con INIAP. Hicieron la preparación del biocarbón utilizando dos tipos de pirólisis y dos clases de biomasa. Usaron un control sin aplicación de biocarbón y un tratamiento fertilizado. Para el diseño experimental utilizaron el bloque completo al azar.	El resultado bajo las condiciones estudiadas se encontraron tendencias de aumentos en los rendimientos de proteína en el grano del maíz con el biocarbón de eucalipto, como también otras características fenológicas de crecimiento, también se espera que la respuesta del biocarbón tenga efectos residuales tanto a mediano y largo plazo para posteriores cultivos.
Aggan gan, et al, (2019, p. 6-11)	Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	Bambú (<i>Phyllostachys aurea</i>)	Los Baños (Filipinas)	Investigaron los efectos del biocarbón de bambú sobre el crecimiento del cacao. Las plántulas de cacao se cultivaron en suelo ácido sin esterilizar y esterilizado en horno. Después de 15 meses, aumentó la mayoría de los rasgos de crecimiento de la planta de cacao sobre el control.	El biocarbón de bambú al 15% dio el mejor crecimiento de las plantas independientemente de la esterilización del suelo. Cuando se agregó biocarbón el 15% proporcionó constantemente el peso seco total de la planta más pesada, especialmente en suelo no esterilizado. Asimismo, todos los tratamientos mejoraron los incrementos de altura y diámetro del tallo de aquellos cultivados en suelo no esterilizado.
Piash, et al, (2019, p. 75-76)	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	Desechos orgánicos domésticos	Upozilla (Bangladesh)	En el experimento se utilizaron ocho tratamientos diferentes, a saber, control, solo fertilizante, tres biocarbónos diferentes (estiércol de corral, jacinto de	El efecto de los tratamientos con biocarbón y fertilizantes sobre la absorción de macronutrientes (N, P, S y K) de la planta de arroz fue significativo a un nivel de 0.1% en ambos suelos. La aplicación de biocarbón de residuos orgánicos

				<p>agua y desechos orgánicos domésticos) con y sin las dosis de fertilizante recomendadas.</p>	<p>domésticos fertilizados facilitó la mayor absorción de N en las plantas de arroz tanto en la paja como en el grano. Esta absorción altamente significativa de nutrientes podría deberse al aumento del rendimiento de los cultivos mediante la aplicación conjunta de biocarbón y fertilizantes, lo que podría ser la mejor práctica para los suelos tropicales.</p>
<p>Videga in et al, (2020, p. 3- 6)</p>	<p>Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)</p>	<p>brotos de vid (<i>Vitis vinífera</i>)</p>	<p>Aragón (España)</p>	<p>Adoptaron un diseño de bloques trifactorial aleatorio con los siguientes factores: temperatura final de pirólisis (400 y 600 ° C) / tasa de aplicación (0% en peso como control, 1.5 y 3% en peso) y textura del sustrato de cultivo (origen franco-arenoso y franco-arcilloso).</p>	<p>La aplicación de biocarbón producido a 400 ° C aumentó significativamente el peso seco de las raíces de las plantas en el sustrato de cultivo franco-arenoso (52% en comparación con el control). La producción de granos también se vio afectada significativamente por la aplicación de biocarbón, mostrando mejores resultados después de la adición de biocarbón producido a 400 ° C. La capacidad de retención de agua y los contenidos de K, Ca y Mg se mejoraron mediante la adición de biocarbón.</p>
<p>Qayyum et al, (2020, p: 7-9)</p>	<p>Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>)</p>	<p>Paja de arroz (<i>Oryza sativa</i>)</p>	<p>Multan (Pakistán)</p>	<p>El estudio lo realizaron en un campo experimental en un suelo franco limoso de moderado a fuertemente calcáreo para demostrar el efecto de los niveles de aplicación de biocarbón y potasio a base de paja sobre el crecimiento, el rendimiento del algodón en rama y la calidad de la pelusa.</p>	<p>Los resultados mostraron que el crecimiento y el rendimiento general del algodón mejoraron significativamente al aumentar las tasas de aplicación de potasio. Tres fuentes de biocarbón afectaron el rendimiento y la calidad del algodón en rama con diferentes efectos. Por ejemplo, el biocarbón de paja de arroz aumentó la altura de la planta (11,71% a 22,47%), el número de cápsulas por planta (0,74% a 13,75%), el peso promedio de cápsulas (35,44% a 36,22%). El rendimiento de semilla de algodón aumentó en un</p>

					14,48% en comparación con el control cuando se aplicó biocarbón de paja de arroz en combinación con potasio a 30 kg ha ⁻¹ .
Elias et al, (2020, p. 2-4)	Amaranto (<i>Amaranthus</i> , sp)	Árbol de Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	Jalan (Malasia)	<p>Evaluaron el efecto del biocarbón de Leucaena en los rendimientos de Amaranthus, un cultivo de hortalizas de hoja y medimos los cambios en el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes durante dos ciclos de crecimiento. Luego probaron si la respuesta del rendimiento al biocarbón dependía de la tasa de aplicación de biocarbón.</p>	<p>Encontraron que la aplicación de biocarbón a 30 t ha⁻¹ con fertilizante máximo aumentaron los rendimientos entre un 17 y un 53% en suelos muy fuertemente ácidos. El biocarbón agregado a 15 t ha⁻¹ con fertilizante máximo aumentó el rendimiento en un 54% en suelos fuertemente ácidos, mientras que no hubo una respuesta de rendimiento significativa en suelos fertilizados y ligeramente ácidos.</p>
Ma, et al, (2020, p.2-3)	Sorgo dulce (<i>Sorghum bicolor</i>)	Cáscara de arroz (<i>Oriza sativa</i>)	Fuzhou (China)	<p>Estudiaron los efectos de la adición de biocarbón de cáscara de arroz en la digestión anaeróbica del sorgo se investigaron en pruebas por lotes.</p>	<p>La adición de 15 g / L de biocarbón aumenta la tasa máxima de producción de metano del sorgo en un 25% y acorta el tiempo de la fase de retraso en un 44%. El aumento adicional de la concentración de biocarbón mostró pocos efectos. El aumento de alcalinidad provocado por la adición de biocarbón contribuyó a la mejora del rendimiento.</p>
Farias, et al, (2020, 30-32)	Okra (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	Cáscara de coco seco (<i>Cocos nucifera</i>)	Sergipe (Brasil)	<p>Organizaron el experimento en bloques al azar, con 6 pruebas, evaluaron la altura de la planta, el número de frutos por planta, el rendimiento y la</p>	<p>Los resultados se dieron en la producción de okra y las características de crecimiento con un aumento de productividad del 421.15% y 419%, respectivamente, en comparación con el</p>

			<p>productividad del uso del agua. Para evaluar el efecto del biocarbón en el suelo, tomaron muestras de suelo para determinar las concentraciones de pH, CIC, P, K, Ca, Mg después de la incorporación del biocarbón al suelo.</p>	<p>tratamiento de control. Todas las características químicas del suelo analizadas se modificaron cuando el biocarbón se incorporó al suelo. Los resultados proporcionan información valiosa de que los productores de okra pueden adoptar el uso de la combinación proporcionando mejores rendimientos y un menor uso de agua en el cultivo de esta planta.</p>
--	--	--	---	--

Fuente: Elaboración Propia.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipos y Diseño de la Investigación

El tipo de investigación que se desarrolla es básica, ya que aporta conocimientos científicos que no origina resultados inmediatos, recoge información real el cual ayuda a mejorar el conocimiento teórico, esta investigación está orientada a la exploración de principios y leyes ayudando a que el investigador pueda entender y conocer mejor la realidad problemática. Espinoza & Toscano, (2015).

Según Santos et al, (2018), la investigación es cualitativa narrativa-biografica de tópicos porque tiene como objeto examinar bibliografías con el propósito de averiguar el significado expreso o latente así como su aplicación. Así mismo esta investigación es flexible ya que tiene como finalidad profundizar conocimientos basados en la realidad por lo que el análisis que se presenta recopila información de diferentes autores.

3.2 Categoría, Subcategorías Y Matriz De Categorización Apriorística

En la tabla 03 se detalla la matriz de categorización apriorística donde señala los objetivos específicos, problemas específicos, las categorías y sub categorías.

Tabla 3: Matriz de categorización apriorística.

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categorías	Sub Categorías	Unidad De Análisis
Describir los tipos de materiales precursores para la elaboración del biocarbón.	¿Cuáles son los tipos de materiales precursores para la elaboración del biocarbón?	Materiales precursores	Restos forestales. Residuos orgánicos. Residuos industriales	Muvhiiwa et al, (2019); Zago & Barros, (2018); Shi et al, (2015) ; Sato et al, (2020) ; Feitosa et al, (2020)
Analizar las tecnologías que se utilizan para la producción del biocarbón.	¿Qué tecnologías se utilizan para la producción del biocarbón?	Tecnología de producción.	Pirólisis lenta. Pirólisis rápida.	Papari & Hawboldt, (2015) ; Gao et al, 2019); Funke et al, (2016) ; Zhang, et al (2019
Evaluar la aplicación del biocarbón en diferentes tipos de suelos y cultivos.	¿Qué aplicaciones tiene el biocarbón para mejorar los suelos y cultivos?	Aplicación del Biocarbón	Mejorador de suelos agrícolas. Tratamiento de suelos contaminados.	Lorenz & Lal, (2015); Petter et al, (2016); He et al, 2019 ; Trazzi et al, (2018) ; Moura et al, (2018) ;
Evaluar las propiedades nutricionales y biológicas del suelo.	¿De qué manera mejora la calidad nutritiva y biológica de los suelos mediante la aplicación de biocarbón?	Propiedades de los suelos agrícolas	Propiedades nutricionales. Propiedades biológicas.	Conz et al, (2015); Ding et al, (2016) ; Petter et al, 2016) ; Sun et al, (2016) ; Khadem & Raiesi, (2017)

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Escenario de Estudio.

La investigación que se presenta no tiene un escenario de estudio definido, ya que esta es una revisión bibliográfica sobre la producción de biocarbón a partir de biomasa residual para mejorar la calidad de suelos agrícolas, para lo cual se utilizaron bibliografías de los últimos 05 años, excepcionalmente una bibliografía de hace 6 años por considerarla importante para la investigación.

3.4 Participantes

Para la presente revisión bibliográfica se seleccionó revistas científicas, libros, tesis, tomando mayor relevancia las revistas científicas, considerando su relevancia para el tema, para ello se consultaron a diferentes bases de datos como: ScienceDirect, SciELO, Springer, ResearchGate y Google Académico.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Las técnicas, recolección de datos y el análisis han sido realizados alternativamente a lo largo del desarrollo teórico de la investigación. Por lo cual producto del análisis de la información bibliográfica han surgido las categorías y subcategorías, así como otros elementos que han sido integrados a la investigación y que se reafirman en las diferentes fases de la recolección de datos hasta obtener la suficiente información teórica. Por lo cual la metodología ha utilizado un trabajo inductivo en un sentido mucho más estricto. Penalva, et al (2015)

En esta investigación se hizo uso de una ficha de recolección de datos que es mostrada en el Anexo IV, la cual incluye información de: título, autor (es), tipo de documento, indexación, objetivo, método, resultado, país, idioma, así como las conclusiones que se encontraron.

3.6 Procedimientos

Respecto al procedimiento se realizó el muestreo de los artículos científicos recopilados. Los términos más importantes para la búsqueda tanto en inglés como en español fueron: biocarbón, biochar, pirólisis, degradación de suelos, suelos agrícolas, se buscaron en base de datos como ScienceDirect, SciELO, Springer, ResearchGate y Google Académico. Se seleccionaron 62 bibliografías a los cuales se analizaron minuciosamente teniendo en cuenta los criterios de inclusión los cuales fueron antigüedad no menor de 5 años y los criterios de exclusión fueron: por no estar indexadas y por no contener información relevante para el tema de estudio.

3.7 Rigor Científico

La investigación se desarrolló con los siguientes criterios descritos por Abreu, (2015):

- La investigación se enfocó con un criterio práctico en el desarrollo en la cual todo lo desarrollado va a ayudar a cualquier investigador a replicar completamente la investigación, lo cual va a facilitar los resultados obtenidos en la investigación.
- La información que se presenta es congruente con los hechos y consistente con los requerimientos de la disciplina metodológica.
- En la investigación se han registrado, recopilado y analizado toda la información siguiendo el rigor científico para el cumplimiento del objetivo.
- Los procedimientos, y técnicas que se han empleado para la investigación se han desarrollado de manera coordinada y sistemática para poder desarrollar el proceso de investigación.

3.8 Método de análisis de información

La información se agrupó de acuerdo a las categorías y sub categorías que se plantearon al iniciar la investigación, siguiendo el orden de estas. Es así que se utilizaron las palabras claves para buscar las bibliografías que pudiesen resolver los objetivos. Posteriormente se seleccionaron las bibliografías que se ajustaban a las categorías y subcategorías, desechando las que no cumplían con lo que era el objetivo de la investigación, sin embargo se tomaron de referencia para enriquecer esta investigación. En cuanto a los resultados y discusión se utilizaron las bibliografías del marco teórico pero fueron complementadas con otras que se encontraron a lo largo de la investigación.

3.9 Aspectos Éticos

La investigación realizada posee aportes de fuentes confiables, respectivamente citadas respetando a los autores, las referencias bibliográficas siguiendo las recomendaciones de las Guías de Investigación establecidas por la Universidad César Vallejo. Así mismo el análisis de resultados será respaldado por los criterios de rigor científico descritos. La investigación que se presenta podrá ser utilizada por cualquier persona o institución que requiera información con respecto al Biocarbón.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

OE 1: Descripción de los tipos de materiales precursores para la elaboración del biocarbón:

Caracterización de la biomasa: Contenido de Humedad. En cuanto a los resultados encontrados para la caracterización de la biomasa, específicamente el Contenido de Humedad se destaca en la tabla 04, junto con los valores encontrados en los antecedentes para mediciones similares.

Tabla 4: Resultados y referencias para el contenido de humedad de la biomasa.

MUESTRA	FUENTE	DESCRIPCIÓN	CONTENIDO DE HUMEDAD
Hierba	Qayyum et al, (2020)	Paja de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	74%
Hierba	Maa et al,(2020)	Cascara de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	54%
Ramas	Fiallos et al, (2015)	Árbol de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	50%
Ramas	Da Silveira et al, (2016)	Árbol de cajueiro (<i>Anacardium occidentale</i>)	40%
Ramas	Elias et al, (2020)	Árbol de Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	46%
Hojas	Aggangan et al, (2019)	Bambu (<i>Phyllostachys aurea</i>)	59%
Hojas	Videgain et al, (2020)	vid (<i>Vitis vinífera</i>)	40%
Frutos	Farias et al, (2020)	Cascara de coco seco (<i>Cocos nucifera</i>)	46%
Frutos	Herrera et al, (2018)	Cascara de café (<i>Coffea arábica</i>)	52%

Fuente: Elaboración Propia

El contenido de humedad de la biomasa fresca puede variar dramáticamente dependiendo de diversos factores como la temporada, el clima, el tipo de biomasa, las condiciones recientes de precipitación y humedad relativa, incidencia solar,

entre otros. En este sentido, se puede esperar un amplio rango para cada tipo de biomasa, en el que la humedad sufrirá cambios intrínsecos.

De acuerdo con la Tabla 04, se observa que los valores de humedad para las cuatro fracciones (hierba, ramas, hojas y frutos) están dentro de los esperados y cercanos a los valores mencionados en las referencias utilizadas para los mismos materiales.

Contenido de Cenizas. Los resultados encontrados para la caracterización de la biomasa, específicamente el Contenido de Cenizas, en base seca se destacan en la Tabla 05, junto con los valores encontrados en la literatura para mediciones similares. Los contenidos de ceniza encontrados en este estudio son consistentes con lo que Farias et al, (2020), indica que una cantidad de cenizas alta puede significar la abundancia de elementos minerales en el material.

Tabla 5: Resultados y referencias para el contenido de cenizas de la biomasa.

MUESTRA	FUENTE	DESCRIPCIÓN	CONTENIDO DE CENIZA
Hierba	Qayyum et al, (2020)	Paja de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	8,23 %
Hierba	Maa et al, (2020)	Cascara de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	8,48 %
Ramas	Fiallos et al, (2015)	Árbol de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	1,01 %
Ramas	Da Silveira et al, (2016)	Árbol de cajueiro (<i>Anacardium occidentale</i>)	1,17 %
Ramas	Elias et al, (2020)	Árbol de Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	1.5 %
Hojas	Aggangan et al, (2019)	Bambu (<i>Phyllostachys aurea</i>)	3,32 %
Hojas	Videgain et al, (2020)	vid (<i>Vitis vinífera</i>)	2,94 %
Frutos	Farias et al, (2020)	Cascara de coco seco (<i>Cocos nucifera</i>)	10.4 %
Frutos	Herrera et al, (2018)	Cascara de café (<i>Coffea arábica</i>)	11.5 %

Fuente: Elaboración propia

Las biomásas de frutos y hierbas utilizadas en este estudio contienen niveles altos de minerales, fracciones inorgánicas, que las ramas, que contienen niveles más altos de fracciones orgánicas, lignina, celulosa y hemicelulosa y por lo tanto, pueden sufrir variaciones en las reacciones de conversión térmica, con contenido reducido de cenizas. Maa et al, (2020).

Contenido de total de lignina. Los resultados encontrados para la caracterización de la biomasa, específicamente el Contenido de Lignina Total, sobre una base de masa seca se destacan en la Tabla 6, junto con los valores encontrados en la literatura para mediciones similares.

Tabla 6: Resultados y referencias para el contenido de lignina de la biomasa.

MUESTRA	FUENTE	DESCRIPCIÓN	CONTENIDO LIGNINA
Hierba	Qayyum et al, (2020)	Paja de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	3 %
Hierba	Ma et al, (2020)	Cascara de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	5 %
Ramas	Fiallos et al, (2015)	Árbol de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	38 %
Ramas	Da Silveira et al, (2016)	Árbol de cajueiro (<i>Anacardium occidentale</i>)	30 %
Ramas	Elias et al, (2020)	Árbol de Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	29 %
Hojas	Aggangan et al, (2019)	Bambu (<i>Phyllostachys aurea</i>)	19 %
Hojas	Videgain et al, (2020)	vid (<i>Vitis vinífera</i>)	21 %
Frutos	Farias et al, (2020)	Cascara de coco seco (<i>Cocos nucifera</i>)	40 %
Frutos	Herrera et al, (2018)	Cascara de café (<i>Coffea arábica</i>)	42 %

Fuente: Elaboración propia

El contenido de lignina total para la biomasa analizada estuvo dentro de las expectativas para los tipos de materiales utilizados. Para la biomasa existe una ligera superioridad en el valor encontrado en comparación con los valores utilizados

como referencia. Según Iglesias et al, (2018), manifiesta que los niveles de lignina pueden aumentar debido a la proximidad de la extracción de la madera y la base del árbol, así en función de su edad.

Para Hojas y ramas, hubo una gran proximidad a los valores, los cuales muestran linealmente una reducción en el contenido de lignina, ya que representan materiales no leñosos, siendo, en consecuencia, de composición y comportamientos relativamente diferentes al compararlos con las ramas de un mismo árbol.

A continuación en la tabla 7 se muestra los rendimientos y resultados de los materiales precursores obtenidos de diferentes tipos de biomasa.

Tabla 7: Rendimientos de materiales precursores

N°	DESCRIPCION	TIEMPO	PESO MATERIA SECA (lb)	PESO BIOCARBO N (lb)	%	PROM EDIO	AUTOR
1	CACAO	06h 58'	19	1.48	7.79%	24.26 %	Marín et al, (2018)
2	CACAO	5h 34'	12.5	0.5	4.00%		
3	CACAO	5h 32'	10.5	5.2	49.52%		
4	CACAO	5h 45'	14	5	35.71%		
5	CACAO	5h 46'	13	3.3	25.38%		
6	BANANO	71h 59'	49	1.16	2.37%	15.96 %	Marín et al, (2018)
7	BANANO	55'	12	3	25.00%		
8	BANANO	5h 15'	19.5	4	20.51%		
9	RASTROJO DE MAIZ	1h	182	68	37.36%	40.93 %	Herrera, (2018)
10	CASCARILLA DE ARROZ	1h	182	81	44.51%		

Fuente: Elaboración propia

OE. 2: Analizar las tecnologías que se utilizan para la producción del biocarbón:

Pirólisis lenta y pirólisis rápida. Se puede observar que las proporciones de los elementos del análisis inmediato fueron muy cercanas, aunque el rendimiento de la pirólisis lenta fue mayor. En pirólisis lenta, el rendimiento es mayor porque la materia volátil permanece más tiempo en contacto con el residuo carbonoso, favoreciendo las reacciones de recombinación de los fragmentos de alquitrán.

Tabla 8: Procesos de pirólisis y rendimiento generado.

PROCESOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE RESIDENCIA	RENDIMIENTO MEDIO DEL BIOCARBÓN (%)
Pirólisis lenta	250- 450	Largo (5-30 min)	35
Pirólisis Rápida	450- 600	Corto (<2s)	13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Comparación entre pirólisis lenta y pirólisis rápida.

DESCRIPCION	BIOCARBÓN-PIROLISIS LENTA	BIOCARBÓN-PIROLISIS RAPIDA
Materia Volátil (MV)	14,24 %	10,28 %
Carbono Fijo (CF)	78,42 %	80,62 %
Ceniza (CZ)	7,34 %	9,10 %
RENDIMIENTO	35.00 %	13.00 %

Fuente: Elaboración propia

OE 3: Evaluar la aplicación del biocarbón en diferentes tipos de suelos y cultivos:

Biocarbón como mejorador de suelos. Besen et al, (2018) dan a conocer que el biocarbón mejora la calidad de los suelos ya que aumenta el contenido de potasio en comparación con su no aplicación. El biocarbón pudo aumentar los niveles de bases y fósforo en el suelo y reducir la presencia de estos elementos en el agua de

lixiviación. Las dosis crecientes de cloruro de potasio alteran la dinámica de las bases en el suelo. El biocarbón pudo nutrir adecuadamente las plantas de mucuna y moringa. El efecto positivo del compost orgánico solo se verificó después del cultivo de la moringa, aumentando el crecimiento y nutrición de estas plantas, así como los niveles de nutrientes en el suelo. Tanto la aplicación conjunta del biocarbón y el compuesto orgánico, como la aplicación del biocarbón con cloruro de potasio proporcionaron efectos positivos sobre el contenido de nutrientes en el suelo y sobre el crecimiento y nutrición de las plantas de moringa. El biocarbón cuando se asocia con compost orgánico tiene un efecto aditivo sobre las características del suelo solo después de la descomposición de los residuos de abono verde (mucuna negra) y el cultivo de moringa.

El efecto del biocarbón sobre el crecimiento de las plantas varía según el tipo y la cantidad aplicada (Da Silva et al, 2017). Como en este estudio, en el que el aumento de la altura de la planta de frijol en el tratamiento con biocarbón de residuos orgánicos, permitió un mayor crecimiento de la planta. Los estudios muestran que la influencia del biocarbón en el crecimiento de las plantas se debe a la característica porosa del biocarbón que proporciona hábitats y sustratos adecuados, aumentando la actividad microbiana para la degradación de minerales presentes en el suelo. Trazzi et al, (2018). Estos microorganismos no solo movilizan sustancias biodegradables, sino que también aportan micronutrientes y otros elementos beneficiosos que favorecen el crecimiento de las plantas. Piash et al, (2019).

Elias et al, (2020) utilizaron biocarbón obtenido del árbol de leucaena, en el crecimiento, absorción y translocación de nutrientes de la planta de amaranto y encontraron que el biocarbón mejora la calidad del suelo para el cultivo de amaranto siendo excelente para el crecimiento de las plantas, como altura y producción de semillas. Estos efectos pueden estar relacionados con la degradación o los compuestos fitotóxicos orgánicos solubles que están asociados con la carbonización por pirólisis. El leve aumento de la masa seca de las plantas de frijol en las que se aplicó el biocarbón, puede deberse al aumento de los nutrientes que se encuentran disponibles en el suelo y con esto se produce un aumento de la

biomasa microbiana que provoca un aumento o disminución del crecimiento de las plantas, porque los nutrientes están disponibles en el suelo. Este aumento en la masa seca del área está relacionado con el efecto causado por la capacidad del biocarbón para secuestrar carbono en la descomposición del carbono total del suelo. El mejor establecimiento de la planta ocurre debido a la mejora de la humedad en el ambiente durante la adición del biocarbón.

El biocarbón de cascara de café agregado al suelo mostró un aumento significativo en los atributos químicos del suelo y en el pH. Esto se puede explicar por los altos elementos que están presentes en la superficie del biocarbón o por la asociación del suelo con la adición del biocarbón que puede movilizar la actividad microbiana que degrada los componentes del suelo haciendo que los nutrientes estén disponibles para la planta, Herrera et al, (2018).

La pirólisis conduce a la acumulación de sustancias alcalinas en la superficie del biocarbón, lo que aumenta el pH del suelo y está vinculado a la disponibilidad de nutrientes, como fósforo entre otros. Cuando se aplica biocarbón a suelos ácidos, puede ejercer la función de correctivo del suelo, aumentando así el pH del suelo a medida que aumentan las dosis, siendo el biocarbón de cascara de café el de mejor desempeño. Da Silveira (et al, 2016).

Se observó que cantidades superiores al 10% de biocarbón promovieron una disminución en las variables biométricas de crecimiento de los cultivos agrícolas. Esto puede ser el resultado de posibles desequilibrios nutricionales, por ejemplo, limitar la disponibilidad de potasio y el exceso de otros nutrientes que limitaban el desarrollo de la planta en dosis más altas. Otro factor que puede contribuir a este efecto es la presencia de ácido húmico en el biocarbón. Así mismo se observaron disminuciones en altura de planta, área foliar y masa seca de la raíz en la lechuga, debido al incremento en la cantidad de ácido húmico. Herrera et al, (2018),

El biocarbón mostró la mejor respuesta para la altura de las planta, fue la cáscara de café, mostrando una diferencia significativa en relación en relación a los otros. La aplicación del biocarbón al suelo no indujo diferencias entre los biocarbón. El

uso del biocarbón mostró un aumento significativo para la masa seca de la parte aérea, para los promedios evaluados siendo el biocarbón de cáscara de café que se desempeñó mejor. Cuando se evaluó la materia seca de la parte aérea, las curvas de regresión presentaron un comportamiento similar a la altura y diámetro de las plantas. Herrera et al, (2018).

La incorporación de biocarbón en el suelo puede alterar sus propiedades físicas del suelo tales como textura, estructura, tamaño de poro y densidad. La porosidad, una fracción del volumen ocupado por la solución y el aire del suelo, es de gran importancia para los procesos físicos, químicos y microbiológicos, como infiltración, conductividad, drenaje, retención de agua, difusión de nutrientes y crecimiento de microorganismos. Se explica que el tamaño de partícula del suelo combinado con la estructura del biocarbón influye en la capacidad de retención de agua por el efecto directo de la superficie del material sólido. El Biocarbón proporciona al suelo la retención de nutrientes al mejorar la capacidad de intercambio catiónico. La cantidad de compuestos aromáticos presentes en la superficie del biocarbón, la oxidación del carbono y la formación de grupos carboxílicos pueden ser la razón principal de la alta capacidad de intercambio catiónico observado. Petter et al, (2016).

El uso de biocarbón estimula la actividad de una variedad de microorganismos, influyendo significativamente en las propiedades microbiológicas del suelo. La estructura porosa del biocarbón, la gran superficie interna y la capacidad de adsorber materia orgánica soluble, gases y nutrientes inorgánicos son características importantes del biocarbón, ya que proporciona un hábitat adecuado para la colonización de microorganismos. El tamaño de poro de la biomasa utilizada aumenta con la carbonización hidrotermal y está relacionado con el uso de la temperatura y el tiempo de residencia del proceso. La alta porosidad del biocarbón puede permitir una mayor retención de humedad, ya que los poros más pequeños atraen y retienen el agua en el suelo más fácilmente. De esta forma, la porosidad juega un papel fundamental en las propiedades microbiológicas del suelo. Sun et al, (2016).

Videgain, et al. (2020) mencionaron que las ramas de los arboles representan un recurso interesante para la producción de biocarbón, debido a su manejo relativamente fácil y lento proceso de pirólisis, y el aspecto más importante, las propiedades fisicoquímicas apropiadas de los biocarbones resultante. Se determinó un riesgo moderado de efectos de fitotoxicidad en la germinación de semillas (solo una de las especies probadas exhibió valores bajos de IG para el biocarbón producido a 600 °C). Los efectos de la aplicación de biocarbón como enmienda orgánica, en estas condiciones experimentales, fueron claramente dependientes de la textura de los medios de cultivo analizados. El mayor efecto sobre el desarrollo de las raíces se encontró en la textura franco-arenosa con biocarbón producido a 400 °C, independientemente de la tasa de aplicación. Las propiedades fisicoquímicas de los sustratos se vieron más gravemente afectadas cuando se aplicó el biocarbón a la temperatura más alta. Sin embargo, es necesario que se realicen más investigaciones para optimizar el rango de tamaño de partícula y la tasa de aplicación de biocarbón, ya que se observó una tendencia creciente en el desarrollo de cultivos para ambos tipos de textura cuando se agregó biocarbón en la tasa de adición más alta.

Trupiano et al, (2017) mostraron que los resultados que el biocarbón no era tóxico para las comunidades bióticas del suelo. De hecho, la prueba de fitotoxicidad con *Lepidium terrestris* no mostró efectos del biocarbón y el compost sobre el índice de germinación (82 ± 4 y $95 \pm 4\%$, respectivamente) en comparación con el control (agua; $100 \pm 2\%$), mientras que la prueba de evitación mostró que *Lepidium terrestris* prefería el suelo modificado con biocarbón. El análisis químico del suelo mostró que la adición de biocarbón indujo un aumento significativo de los valores de pH de 6,9 a 8,0 y de 7,5 a 7,7 en suelo más biocarbón, el valor de alcalinidad no cambió, también observó un aumento del contenido de Nitrógeno total. Mientras que la longitud, el ancho, el área y el perímetro de las hojas se mantuvieron sin cambios. Las plantas cultivadas sin biocarbón mostraron menor longitud, ancho, área y perímetro de hojas El peso seco total de la planta, considerando la biomasa de hojas y raíces, aumentó con el biocarbón. El contenido de clorofila no mostró

cambios significativos entre tratamientos. La tasa de asimilación no se vio alterada por el tratamiento con biocarbón.

Qayyum et al, (2020), demostraron que la aplicación del potasio (0, 15 y 30 kg ha⁻¹) en combinación con biocarbón (cáscara de arroz), influyen en la transformación de nutrientes y las propiedades del suelo, conduciendo a un mejor crecimiento, rendimiento y calidad del algodón. Las mejores condiciones del suelo apoyaron una mayor absorción y utilización de potasio por parte de las plantas. Una mejor disponibilidad de nutrientes conduce a mejorar el crecimiento de los cultivos y los componentes del rendimiento. El biocarbón de cáscara de arroz aumentó la altura de la planta (11,71% a 22,47%), el número de cápsulas por planta (0,74% a 13,75%) y el peso promedio de cápsula (35,44% a 36,22%) sobre el tratamiento de control (sin adición de biocarbón). Cuando se aplica biocarbón de paja de arroz en combinación con una dosis más alta (30 kg ha⁻¹) de aplicación de potasio, se produce una semilla de algodón significativamente mayor en un 14,48% en comparación con kg ha⁻¹) de aplicación de potasio de forma significativa un rendimiento de semilla de algodón en un 14,48% en comparación con el control.

Es necesario investigar más respecto al Biocarbón, para mejorar la comprensión mecanicista de las interacciones de los nutrientes entre el suelo y el biocarbón en condiciones variables de humedad del suelo y las condiciones de nutrientes existentes del suelo para clasificar las mejores prácticas de manejo para un mayor rendimiento y calidad del algodón. Qayyum et al, (2020),

Piash et al, (2019), encontraron que los parámetros de respuesta de crecimiento (altura de la planta, número de hojas, peso fresco, peso seco y producción de biomasa), se vieron significativamente afectados por los tratamientos de biocarbón. La aplicación de fertilizantes además de los tratamientos de biocarbón contribuyó al mejor crecimiento de las plantas en ambos suelos. La aplicación de biocarbón de estiércol de corral fertilizado dio como resultado la mejor producción de biomasa del suelo sara, mientras que el biocarbón de residuos orgánicos domésticos fertilizado para Kalma.

Maa et al, (2020), en su estudio, investigaron la adición de biocarbón de cáscara de arroz en la digestión anaeróbica del sorgo en condiciones de alta carga y los hallazgos clave se pueden resumir de la siguiente manera: La adición de biocarbón de 15 g / L resultó eficaz para aumentar la tasa máxima de producción de metano de sorgo en un 25% y acortar el tiempo de la fase de retraso en un 44%. El aumento adicional de la concentración de biocarbón mostró pocos efectos. Los efectos promotores de la adición de biocarbón sobre la degradación del ácido acético, propiónico y butírico fueron limitados en condiciones de pH neutro.

Farias et al, (2020), Indicaron que el uso de biocarbón incorporado al suelo puede ser beneficioso para aumentar la productividad de la okra, optimizar el uso del agua y mejorar las características químicas del suelo. Los tratamientos con biocarbón proporcionaron los mejores resultados de los parámetros de producción de okra, lo que demuestra que estos tipos de biocarbón se pueden utilizar en la producción de okra y que la materia prima del biocarbón es decisiva para decidir si se utiliza o no. Los parámetros químicos del suelo se han modificado en función de la materia prima utilizada en la producción de biocarbón, lo que puede promover la reducción de la aplicación de fertilizantes químicos al suelo por parte de los agricultores.

Elias et al, (2020) muestran los resultados del biocarbón producido localmente utilizando biomasa de *Leucaena* y pirólisis de bajo costo puede provocar una respuesta positiva en el rendimiento de los cultivos, pero solo en suelos tropicales muy ácidos a muy ácidos, en combinación con la aplicación de fertilizantes. El biocarbón disminuyó la disponibilidad de Nitrógeno del suelo a corto plazo cuando se aplica con fertilizantes, lo que puede mejorar la eficiencia del uso de nitrógeno al reducir las tasas de lixiviación de nitrógeno. El biocarbón de *Leucaena* también aumentó sustancialmente el pH del suelo. Esto puede beneficiar la productividad de los cultivos, ya que el aumento del pH del suelo reduce la movilidad de los iones Fe, Mn y Al, que encontramos asociados negativamente con el rendimiento.

Da Silveira et al. (2016), realizaron un experimento con rúcula observaron que las plántulas producidas en bandejas, en diferentes etapas de desarrollo y mostrando diferencias en las variables de longitud de brote (cm), cuando se trasplantaron en

el campo, se establecieron y se desarrollaron de manera similar, obteniendo plantas con cualidades similares en la cosecha. En la segunda cosecha, se observó que hubo un aumento en la producción de rúcula en comparación con la primera cosecha en las evaluaciones de masa fresca y seca. Esto pudo haber ocurrido porque al principio los nutrientes estaban en forma orgánica, y deben ser mineralizados para estar disponibles para las plantas lo que lo hizo más exitoso en la segunda cosecha, donde los nutrientes estarían más disponibles.

Da Silva et al, (2017) describieron respecto al crecimiento de plantas de frijol común con concentraciones crecientes de biocarbón está relacionado con una mayor adsorción de nutrientes, ya que las concentraciones de nutrientes aumentaron linealmente con el aumento de las dosis de biocarbón. En general, se observó que los efectos positivos del biocarbón sobre las características agronómicas evaluadas están relacionados con el efecto acondicionador sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, como se describió anteriormente. Aunque, todavía poco conocido, el biocarbón puede afectar la fisiología vegetal. El biocarbón tuvo un efecto sobre las relaciones hídricas, aumentando el contenido relativo de agua y el potencial osmótico de la hoja, disminuyendo la resistencia estomática y estimulando el intercambio de gases foliar (transpiración), y sobre la fotosíntesis al aumentar la tasa de transporte de electrones del fotosistema y la relación entre el rendimiento cuántico fotoquímico efectivo y extinción no fotoquímica.

Aggangan et al, (2019) evaluaron el crecimiento general de las plantas de cacao de 15 meses de edad fue alterado positivamente por el biocarbón de bambú; sin embargo, los efectos de estos tratamientos variaron en suelos esterilizados y no esterilizados. El número de esporas de micorrizas en las raíces y el suelo aumentó con el tratamiento. Las propiedades químicas del suelo generalmente se vieron afectadas por la enmienda de biocarbón. Los resultados positivos del estudio pueden sugerir un beneficio potencial en la mejora de la fertilidad del suelo y el crecimiento y supervivencia de los cultivos, particularmente en Filipinas. Agricultores y diversas industrias como las relacionadas al cacao puede beneficiarse de estos resultados, que pueden contribuir al desarrollo agrícola y económico del país. Se están realizando pruebas de campo en siete sitios en la

región de Luzón (Filipinas), para verificar los resultados anteriores, ya que las condiciones dentro de una casa de malla son muy diferentes de las del campo. La recomendación a los agricultores para la adopción de la tecnología se basará en los resultados de las pruebas de campo junto con las parcelas de demostración en el campo de los agricultores.

Tabla 10: Rendimiento del cultivo y tipo de biomasa.

TIPO DE BIOMASA	TIPO DE CULTIVO	RENDIMIENTO (t)
Árbol de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	39,35 %
Árbol de cajueiro (<i>Anacardium occidentale</i>)	Rúcula (<i>Eruca vesicaria</i>)	25%
Residuos orgánicos	Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	10%
Carbón comercial	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	18%
Cascara de café (<i>Coffea arábica</i>)	Sapote <i>Capparis scabrida</i>	15%
Árbol de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Maíz (<i>Zea mayz</i>)	5.59%
Bambú (<i>Phyllostachys aurea</i>)	Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	15%
Desechos orgánicos domésticos	Arroz (<i>Oriza sativa</i>),	16-23%
Brotos de vid (<i>Vitis vinífera</i>)	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	52%
Paja de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>)	35 -36 %
Árbol de Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	Cultivos tropicales	9-11 %
Cáscara de arroz (<i>Oriza sativa</i>)	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	25%
Cascara de coco seco (<i>Cocos nucifera</i>)	Okra (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	28.48%

Fuente: Elaboración propia

Biocarbón para el tratamiento de suelos contaminados.

Campos et al, (2015) dieron a conocer el uso de residuos orgánicos y biocarbóns se ha estudiado como una forma de recuperación de suelos contaminados in situ, dado el potencial de estos materiales para reducir la disponibilidad y movilidad de metales pesados en el suelo. Por ello se investigó el uso potencial de dos residuos

orgánicos (lodos del tratamiento de aguas residuales sanitarias y bagazo de caña de azúcar) y sus respectivos biocarbóns en la reducción de la disponibilidad y movilidad de Cadmio en suelos contaminados. Para ello, se realizaron pruebas de adsorción y se ajustaron las isothermas. Como resultado, se observó que todos los materiales tienen la capacidad de absorber metales, y los lodos de depuradora fueron los más efectivos, sin embargo, para este residuo se presentó, además de la adsorción, el efecto de precipitación debido a la alta alcalinidad liberada por el material en solución.

OE 4: Evaluar las propiedades nutricionales y biológicas del suelo:

Biocarbón para mejorar las propiedades de los suelos:

Propiedades nutricionales:

Según el análisis de 153 artículos que se publicaron a través de un estudio de metanálisis que se basó en 1254 combinaciones se mostró que los efectos combinados de las diferentes condiciones de los suelos y las propiedades del biocarbón que hacen que crezcan las plantas podrían variar de 31.8% a 974% (Dai, et al, 2020).

Propiedades Biológicas

Tabla 11: Resultados para las propiedades biológicas de los suelos.

BIOMASA	TEMPERATURA	ENMIENDA	TIPO DE SUELO	RESPUESTA MICROBIANA	AUTOR
Cascarilla de arroz	400°C	45t/ha	Tierras de tabaco	Disminución de la abundancia relativa de bacterias desnitrificantes	Chen, et al., (2020)
Paja de Maíz	500°C	1%	Agrícola	Aumento de la actividad de deshidrogenasa, Inhibición de la actividad ureasa	Li, et al., (2018)
Paja de trigo	350°C	20t/ha	Franco arenoso	Disminución de la tasa de respiración basal del suelo	Li, et al., (2017)
Paja de arroz	550°C	0.45t/ha	Amarillo Marrón	Disminución de las propiedades de actinobacteria y ascomycota.	Gao y Col, (2017)

Paja de algodón	450°C	4.5t/ha	Suelo de plantacion de tabaco	Incremento en la masa microbiana del suelo: C (32%), N (58%), respiración (10%)	Liao et al, (2016)
-----------------	-------	---------	-------------------------------	---	--------------------

Elaboracion Propia

V. CONCLUSIONES

OE 1: Los materiales precursores que se han descrito en la investigación son los restos forestales, residuos orgánicos y residuos industriales, al ser analizados estos confirman que no son un producto estándar, ya que sus características físicas y químicas varían según el proceso de combustión, tipo de pirólisis, temperatura, tiempo de retención, cantidad de oxígeno así como el tipo y granulometría de biomasa.

OE 2: Se han analizado dos tipos de pirolisis: pirolisis lenta y pirolisis rápida, de lo cual se determina que para poder obtener un biocarbón que mejore la calidad de suelos se debe de utilizar el método de pirolisis lenta, ya que la pirolisis rápida va a generar gases y líquidos, los cuales no han sido materia de la investigación.

OE 3: Se ha evaluado la aplicación del biocarbón como mejorador de suelos agrícolas y para el tratamiento de suelos contaminados: El biocarbón como mejorador de suelos agrícolas, contribuye a la fertilidad ya que mejora las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. El biocarbón mejora significativamente el crecimiento, la nutrición vegetal y, en consecuencia, la productividad de los cultivos, favoreciendo los aspectos ambientales en la mitigación del cambio climático. El biocarbón, puede remediar los suelos contaminados y reducir el potencial de contaminación ambiental por pesticidas y metales pesados, deben ser cuidadosamente observadas para cada propósito de uso, a fin de maximizar sus efectos positivos y reducir los efectos negativos en los entornos agrícolas

OE4 Se han evaluado las propiedades nutricionales y biológicas de los suelos. Con base en los resultados obtenidos sobre las propiedades de determina que la aplicación de biocarbón mejora significativamente las condiciones biológicas y nutricionales del suelo, mejorando así el suministro de nutrientes a las plantas. Así mismo la aplicación del biocarbón en los suelos estimula la actividad de una variedad de microorganismos, influyendo significativamente en las propiedades biológicas del suelo

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar la investigación científica con una muestra recopilando información de aplicación del biocarbón en nuestro país, para determinar que materiales precursores son los que podrían dar mayor productividad a los suelos agrícolas.

Para futuras investigaciones se recomienda utilizar herramientas estadísticas que nos permitirán tener el detalle de los resultados obtenidos en la investigación.

Se recomienda que futuras investigaciones, estén orientadas a la producción de biocarbón en las zonas rurales del Perú, donde por la mala información que se tiene, los pobladores queman sus suelos de cultivo, asumiendo que con esto mejorara la próxima producción, sin embargo en la mayoría de veces se producen incendios forestales de pequeña y gran magnitud.

Se debe utilizar diferentes métodos y técnicas para la producción de biocarbón, de diferentes materiales de biomasa, dando a conocer el rendimiento de producción y las características que puedan influir en la producción de biocarbón.

Las entidades públicas del estado que destinan sus recursos a mejorar la actividad agrícola debería poner más énfasis en la aplicación del biocarbón para mejorar la calidad de los suelos agrícolas tomando en consideración los estudios que ya se tienen acerca del biocarbón.

Realizar análisis biológicos de laboratorio para ayudar a identificar la presencia de organismos que benefician en las propiedades de los suelos según el tipo de biomasa y el tipo de suelo.

En cuanto a la aplicación del biocarbón en los suelos agrícolas es muy necesario hacer diferentes pruebas experimentales para establecer las cantidades de biocarbón para cada tipo de suelos y cultivos agrícolas.

REFERENCIAS

- Abreu José, (2015) Análisis al método de investigación, de *International Journal of Good Conscience* 10(1), 205-214. Recuperado el 18 de octubre del 2020 de: [http://www.spentamexico.org/v10-n1/A14.10\(1\)205-214.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A14.10(1)205-214.pdf)
- Aggangan, N, Cortes, A., Reaño, C. (2019). Growth response of cacao (*Theobroma cacao* L.) plant as affected by bamboo biochar and arbuscular mycorrhizal fungi in sterilized and unsterilized soil. En *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*: 22 10-12. Recuperado el 25 de octubre del 2020 de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818119309399>
- Basak, B, Esin A, Ersan, P. (2016). Biochar: A Regional Supply Chain Approach in View of Climate Change Mitigation. En *Cambridge University Press*: 239-265. Recuperado el 18 de octubre del 2020 de: https://www.researchgate.net/publication/311102312_Biochar_-_A_Regional_Supply_Chain_Approach_in_View_of_Climate_Change_Mitigation
- Besen, M., Ribeiro, R., Rigo Monteiro, A., Iwasaki, G., Piva, J., (2018). Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. En *Scientia Agropecuaria*. 9(3): 429 – 439. Recuperado el 02 de noviembre del 2020 de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000300015
- Campos, R., Domis, T., Fontes, M. P. (2015). Potencialidade do uso de dois resíduos orgânicos e seus biocarvãoes como amenizantes na remediação de solos contaminados com Cádmiio. En *XXXV Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo* p: 1-4 Recuperado el 02 de noviembre del 2020 de: <https://www.eventosolos.org.br/cbcs2015/anais/>
- Chen, S., Qi, G., Ma, G., Zhao, X., (2020). Biochar amendment controlled bacterial wilt through changing soil chemical properties and microbial community. En *Microbiological Research*, 231. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126373>
- Conz, R. F., Abbruzzini, T. F., Cerri, C. E. (2015). Caracterização de matérias-primas e biochars para uso na agricultura. En *XXXV Congresso Brasileiro de*

- Ciencia do Solo*: 1-6 de: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-13052015-142608/pt-br.php>
- Cultura Edáfica (2018). La Importancia del suelo. Recuperado el 15 de octubre del 2020 de: <https://agrologia.wordpress.com/2018/08/12/biochar-biocarbon/>
- Da Silva, C. C., Alvarenga, A. C., Da Silva, L. L., Rocha, L., Mosa, L. L., Passos, R. R. (2017). Efeito do uso biocarvão de palha de café sobre as propriedades microbiológicas do solo em cafeeiro conilon. *VII Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba*. 1-6. Recuperado el 05 de noviembre del 2020 de: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/RE_1399_1526_01.pdf
- De Gisi, S., Lofrano, G., Grassi, M., Notarnicola, M. (2016). Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. En *Sustainable Materials and Technologies*. Vol. 9: 10–40. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2016.06.002>
- Ding, Y., Liu, Y., & Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G., Zhou, L., Zheng, B. (2016). Biochar to improve soil fertility. A review. En *Agronomy for Sustainable Development* 36 2-6. Recuperado el 25 de noviembre del 2020 de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-016-0372-z>
- Escalante A., Pérez G., Hidalgo C., López J., Campo J. Valtierra E., Etchevers J., (2016), Biocarbón (Biochar) I: Nature, history, manufacture and in soil. *En terra latinoamericana* 34, 367-382. Recuperado el 15 de diciembre del 2020 de: https://www.researchgate.net/publication/320610784_Biocarbon_biochar_I_Nature_history_manufacture_and_use_in_soil
- Espinoza E. E., Toscano, D. F. Metodología de investigación educativa y técnica. 2015 de: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6704>
- Elias, D. M. O., Ooi, G. T., Razi, M. F. A., Robinson, S., Whitaker, J., Mcnamara, N. P. (2020). Effects of Leucaena biochar addition on crop productivity in degraded tropical soils en *Biomass and Bioenergy* 142 105-710. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105710>

- Farias, D. B., De Freitas, M. I., Lucas, A. A., Gonzaga, M. I. (2020). Biochar and its impact on soil properties, growth and yield of okra plants. En *Colloquium Agrariae*, 16 (2) 29-39. Doi: 10.5747/ca.2020.v16.n2.a356
- Feitosa, A. A., Teixeira, W. G., Ritter, E., Resende, F. A., Kerne, J. (2020). Caracterização Química de Amostras de Biocarvão de Casca de Banana e Bagaço de Laranja Carbonizados a 400 e 600°C. En *Revista Virtual de Química*. 12 (4) 1-12. Doi: 10.21577/1984-6835.20200072
- Fiallos, L. R., Flores, Lg., Duchi, N., Flores, C. I., Baño, D., Estrada, L. (2015) Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de *Medicago sativa*. *Revista Ciencia y Agricultura* 12 (2):13-20. DOI: 10.19053/01228420.4349
- Funke, A., Niebel, A., Richter, D., M.M. Abbas, M. M., Müller, A. K., Radloff, S., Paneru, M., J Maier, J., N. Dahmen, N., Sauer, J. (2016). Fast pyrolysis char – Assessment of alternative uses within the bioliq concept. En *Bioresource Technology* 200 905-913. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.11.012>
- Gao, L., Wang, R., Shen, G., Zhang, J., Meng, G., Zhang, J., (2017). Effects of biochar on nutrients and the microbial community structure of tobacco-planting soils. En *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 17, 884-896. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400004>
- Gao, R., Fu, Q., Hu, H., Wang, Q., Liu, Y., Jun Zhu, J. (2019). Highly effective removal of Pb by co-pyrolysis biochar derived from rape straw and orthophosphate. En *Journal of Hazardous Materials*. 371: 191-197. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.079>
- Gollakota, A. R. K., Reddy, M., Subramanyam, M. D., Kishore. N. (2016). A review on the upgradation techniques of pyrolysis oil. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1543–1568. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.180>
- Golda, A. E. & Muthu, N. (2020). Soil Fertility, Integrated Management, and Sustainability. En *Life on Land*. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-71065-5_11-1
- Guimaraes, R. S., Padilha, F. J., Cedano, J. C. C., Damaceno, J. B. D., Gama, R. T., De Oliveira, D. M., Teixeira, W. G., Falcão, N. P. S. (2017). Efeito Residual

- de Biocarvão e Pó de Serra nos Teores de Carbono e Nitrogênio Total em Latossolo Amarelo na Amazônia. En *Revista Virtual de Química*. 9 (5), 1944-1956. Recuperado el 05 de diciembre del 2020 de: http://rvq.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=825
- Gwenzi, W., Chaukura, N., Noubactep, C., Mukome, F. N. D. (2017). Biochar-based water treatment as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision. En *Journal of Environmental Management*: 197 732-747. Doi: <http://doi: 10.1016/j.jenvman.2017.03.087>
- Hanoglu, A., Çay, A., Yanik, J. (2018). Production of biochars from textile fibres through torrefaction and their characterization. En *Energy*: 166 664-673. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.123>
- He, L., Zhong, H., Liu, G., Dai, Z., Brookes, P.C., Xu, J., (2019). Remediation of heavy metal contaminated soils by biochar: mechanisms, potential risks and applications in China. En *Environmental Pollution*: 252, 846–855. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.151>
- Herrera, E. L. Feijoo, C. Y., Alfaro, R., Solís, J. L., Gómez, M. M., Keiski, R. L., Cruz, G. J. F. (2018). Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrida* (sapote). En *Scientia Agropecuaria*: 9(4), 569 – 577. Doi: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.13>
- Herrera J. (2018), Pirólisis de Biomasa para la Obtención de Biocarbón y su Efecto en el Rendimiento de Tomate. Universidad Rafael Landívar de: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjr cd/2018/06/17/Herrera-Jaqueline.pdf>
- Iglesias, S., Alegre, J., Salas, C., Eiguez, J. (2018). El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. En *Scientia Agropecuaria*: 9(1) 25– 32. Recuperado el 23 de noviembre del 2020 de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172018000100003&script=sci_abstract
- Khadema, A, & Raiesi, F. (2017). Responses of microbial performance and community to corn biochar in calcareous sandy and clayey soils. En *Applied Soil Ecology*: 114 16-27. Doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.018>

- Lefevre, C., Rekik, F., Alcantara, V., Wiese, L. (2017). Carbono orgánico del suelo el potencial oculto. En *FAO*. 1-90. Recuperado el 20 de noviembre del 2020 de: <http://www.fao.org/3/b-i6937s.pdf>
- Li, Y., Hu, S., Chen, J., Müller, K., Li, Y., Fu, W., Lin, Z., Wang, H., 2017. Effects of Biochar application in forest ecosystems on soil properties and greenhouse gas emissions: a review. En *Journal of Soils and Sediments*: 2, 546-563. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1906-y>
- Li, Y., Zhou, C., Qiu, Y., Tigabu, M., Ma, X., 2018. Effects of biochar and litter on Carbon and nitrogen mineralization and soil microbial community structure in a China fir plantation. En *Journal of Forestry Research*, 30, 1913-1923. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0731-5>
- Li, H., Lua, X., Yan Xuc, Y., Liu, H. (2019). How close is artificial biochar aging to natural biochar aging in fields? A meta-analysis. En *Geoderma*: 352 96-103. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.06.006>
- Liao, N., Li, Q., Zhang, W., Zhou, G., Ma, L., Min, W., Ye, J., Hou, Z., 2016. Effects of biochar on soil microbial community composition and activity in drip-irrigated desert soil. En *European Journal of Soil Biology*: 72, 27-34. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.12.008>
- Lorenz, K. & Lal, R. (2015). Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. En *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*: 177(5) 651– 670. Doi: <https://doi.org/10.1002/jpln.201400058>
- Oni, B. A., Oziegbeb, O., Obembe, O., Olawoleb, O. O. (2019). Significance of biochar application to the environment and economy. En *Annals of Agricultural Sciences*: 64(2) 222-236. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2019.12.006>.
- Maa, H., Hua, Y., Kobayashia, T., Xua, K. Q. (2020). The role of rice husk biochar addition in anaerobic digestion for sweet sorghum under high loading condition. En *Biotechnology Reports*: 27 1-7. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00515>
- Majunder, S., Neogi, S., Dutta, T., Powell, M., Banik., (2019). The impact of biochar on soil carbon sequestration: Meta-analytical approach to evaluating environmental and economic advantages. En *Journal of Environmental*

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109466>

- Manta, M. I. (2017). *Contribución al conocimiento de la prevención de los incendios forestales en la sierra peruana*. Universidad nacional Agraria La Molina. De: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4302>
- Marín A. J, García B. R, Barrezueta U. S. (2018). Elaboración de biocarbón obtenido a partir de la cáscara del cacao y raquis del banano. En *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(3), 75-81. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/329659341_Elaboracion_de_biocarbon_obtenido_a_partir_de_la_cascara_del_cacao_y_raquis_del_banano
- Moura, L. F. S., Marques, J. J., Freitas, J. A. (2018). Adsorção de dióxido de carbono utilizando o biochar produzido a partir de sementes de mangaba. En *Scientia Plena*, 14 (3): 1-13. Doi: 10.14808/sci.plena.2018.034202
- Muvhiiwa, R., Kuvaregab, A., Llanaa., E., Muleja, A. (2019). Study of biochar from pyrolysis and gasification of wood pellets in a nitrogen plasma reactor for design of biomass processes. En *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5) 103-391. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103391>
- Novotny, E., Maia, C.M., Carvalho, M. T., Madari, B. E. (2015) Biochar: pyrogenic carbon for agriculture use - a critical review. En *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 39(2) 321-344 Doi: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcS20140818>
- Qayyum, M. F., Haider, G., Raza, M. A., Mohamed, A. K. S. H., Rizwan, M., El-Sheikh, M.A., Alyemeni, M. N., Ali, S. (2020). Straw-based biochar mediated potassium availability and increased growth and yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). En *Journal of Saudi Chemical Society*, 2412 963-973 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.10.004>
- Papari, S. & Hawboldt, K. (2015). A review on the pyrolysis of woody biomass to bio-oil: Focus on kinetic model. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1580-1595. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.191>
- Petter, F. A., Ferreira, T. S., Sinhoro, A. P., Lima, C. B., Almeida, F. A., Pacheco, L. P., Silva, A. F. (2016). Biochar Increases Diuron the Sorption and Reduces the Potential Contamination of Subsurface Water with Diuron

- in Sandy Soil. De *Pedosphere*, 29(6), 801-809. Doi: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60434-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60434-X)
- Piash, M. I., Hossain, M. F., Parveen, Z. (2019). Effect of biochar and fertilizer application on the growth and nutrient accumulation of rice and vegetable in two contrast soils. En *Acta Scientific Agriculture*, 3(2) 74- 83. Recuperado el 05 de diciembre del 2020 de: https://www.researchgate.net/publication/331175781_Effect_of_Biochar_and_Fertilizer_Application_on_the_Growth_and_Nutrient_Accumulation_of_Rice_and_Vegetable_in_Two_Contrast_Soils
- Santos, O; Hidalgo C., Arreaga, C. (2018). Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica-La etapa final del análisis y la redacción del informe de investigación cualitativo. Recuperado el 20 de diciembre del 2020 de: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12501/1/Tecnicas-y-MetodosCualitativosParaInvestigacionCientifica.pdf>
- Sato, M. K., De Lima, H. V., Costa, A. N., Rodrigues, S., Sacha J. Mooney, S. J. Clarke, M., Pedroso, A. J. S., Maia, A.M. (2020). Biochar as a sustainable alternative to ac, aí waste disposal in Amazon, Brazil. *En Process Safety and Environmental Protection*. 139: 36-46. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.04.001>
- Shi, Y., Zhang, L., Zhao, M. (2015). Effect of biochar application on the efficacy of the nitrification inhibitor dicyandiamine in soils. En *Bioresource* 10(1), 1330-1345. Doi: 10.15376/biores.10.1.1330-1345
- Sun, J. Fuhong He, F., Hongbo Shao, H., Zhang, Z., Xu, G. (2016): Effects of biochar application on Suaeda salsa growth and saline soil properties. De *Environmental Earth Sciences*, 1-21. Doi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-016-5440-9>
- Tasneen, K, S. &Shah, Z. (2017). Soil respiration, pH and EC as influenced by biochar. En *Soil & Environment*, 36(01), 77-83. Recuperado el 22 de noviembre del 2020 de: https://www.researchgate.net/institution/Agricultural_University_Peshawar
- Tran, H. N., You, S. J., Chao, H. P. (2015). Effect of pyrolysis temperatures and times on the adsorption of cadmium onto orange peel derived biochar. De

- Waste Management & Research*, 34(2) 129–138. Doi: <https://doi.org/10.1177/0734242X15615698>
- Trazzi, P. A., Higa, A. R., Dieckow, J., Mangrich, A. S., Higa, R.C. V. (2018). Biochar: reality and potential use in forestry. En *Ciência Forestal, Santa María*, 28(2), 875-887. Recuperado el 15 de octubre del 2020 de: <https://www.scielo.br/pdf/cflo/v28n2/1980-5098-cflo-28-02-875.pdf>
- Trupiano, D., Coccozza, C., Baronti, S., Amendola, C., Vaccari, F. P., Giuseppe Lustrato, G., Di Lonardo, S., Fantasma, F., Tognetti, R., Scippa, G. S. (2017). The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. En *International Journal of Agronomy*, 1-12. Doi: 10.1155/2017/3158207
- Videgain, M., Montori, P. M., Dalmau, C. M., Vega, M., Joan Josep Manyà, J. J., Garcia, F. J. (2020). Effects of biochar application in a sorghum crop under greenhouse conditions: growth parameters and physicochemical fertility. En *Agronomy* 10, 2-17. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10010104>
- Wang, J., Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. En *Journal of Cleaner Production*: 227, 1002-1022 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>
- Yuxi Yang, Y., Zhang, W., Qiu, H., Tsang, D., Morel, J. L. (2016). Effect of coexisting Al (III) ions on Pb (II) sorption on biochars: Role of pH buffer and competition. En *Chemosphere*, 161: 438- 445. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.007>
- Zago, V. C. & Barros, R. T. (2018). Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos. En *Engenharia Sanitária e ambiental*, 24(2). Doi: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019181376>
- Zhikun, Z., Zhu, Z., Shen, B., Liu, L. (2019). Insights into biochar and hydrochar production and applications: A review. En *Energy*, 171, 581-598. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.035>
- Zhang, P., Li, Y., Cao, Y., Han, L. (2019). Characteristics of tetracycline adsorption by cow manure biochar prepared at different pyrolysis temperatures. En *Bioresource Technology*, 285, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121348>


ANEXOS

ANEXO 01.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE CATEGORIA (CUALITATIVO)					
CATEGORÍA DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	SUB CATEGORÍAS	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Materiales precursores	Los materiales precursores para la elaboración del Biocarbón se basan en la materia orgánica que es aquella que se caracteriza por ser de origen animal o vegetal, la biomasa constituye un grupo de productos energéticos y de materia primas de recursos renovables que resulta a partir de materia orgánica formada por vía biológica. Tanto la biomasa residual, como los residuos orgánicos son consideradas materias primas principales para el proceso de pirólisis, la cual da como resultado la producción de biocarbón. Sato et al, (2020).	El tipo de material precursor y la caracterización de estos van a determinar en qué grado van a mejorar la calidad de suelos.	Restos forestales. Residuos orgánicos. Residuos industriales	1. Humedad, material volátil, ceniza, contenido de carbono fijo 2. Adsorción 3. Presencia de grupos funcionales	nominal
Tecnología de producción.	El biocarbón se obtiene por pirólisis de la biomasa. Este proceso hace referencia a la descomposición térmica mayor a 300 °C de la materia orgánica en ausencia de del elemento oxígeno. En su primera fase se genera la combustión y gasificación, finalmente el proceso finaliza con la oxidación total o parcial de la biomasa, lo cual resulta en un subproducto compuesto de altas cantidades de carbono, el cual es conocido como biocarbón. Muvhiwa et al, (2019).	La pirólisis lenta y rápida son un proceso termoquímico que consiste en la descomposición de la materia orgánica que va a determinar	Pirólisis lenta. Pirólisis rápida.	1. Porcentaje de biocarbón obtenido. 2. Características del biocarbón obtenido.	nominal

<p>Aplicación del Biocarbón</p>	<p>El biocarbón es muy estable en el suelo y tiene el potencial de incrementar directamente la capacidad de retención de agua a largo plazo, a través de su naturaleza a menudo porosa, reflejando las estructuras celulares de la materia prima. También tiene cenizas que son fuentes de fósforo y potasio y otros elementos que pueden estar en formas más solubles y accesibles que en la materia prima no pirolizada. Trazzi et al, (2018).</p>	<p>El tipo de biocarbón así como el tipo de suelo van a determinar la eficacia de la aplicación del biocarbón como mejorador de suelos agrícolas.</p>	<p>Mejorador de suelos. Tratamiento de suelos contaminados.</p>	<p>1. Fertilidad del suelo. 2. Producción de cultivos 3. Adsorción del suelo</p>	<p>nominal</p>
<p>Propiedades de los suelos agrícolas</p>	<p>Las mejoras de las propiedades nutricionales y biológicas del suelo podrían aumentar directa o indirectamente el contenido y la disponibilidad de nutrientes y disminuir la lixiviación de nutrientes, que se conocen como mecanismos para el aumento de la fertilidad del suelo. Ding et al, (2016).</p>	<p>La retención de nutrientes, así como la estimulación de microorganismos influyen significativamente en las propiedades del suelo</p>	<p>Propiedades nutricionales. Propiedades biológicas.</p>	<p>1. Fertilidad del suelo. 2. Producción de cultivos</p>	<p>nominal</p>

Anexo 2

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		FICHA DE RECOLECCION DE DATOS	
TITULO:			
REVISTA:	AÑO DE PUBLICACION:	LUGAR DE PUBLICACION:	
TIPO DE INVESTIGACION		DOI:	
FUENTE:		VOL.	
AUTORES:			
PALABRAS CLAVES			
RESULTADOS			
CONCLUSIONES			