



**UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y**  
**VETERINARIA**  
**CARRERA DE AGROPECUARIA**



**TRABAJO DE TITULACION**

Componente practico del examen de carácter Complexivo,  
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como  
requisito previo para obtener el título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA:**

Biochar como enmienda orgánica del suelo en los cultivos hortícolas

**AUTOR:**

Pedro Adrián Arechua Contreras

**TUTOR:**

Ing. Agro. Tito Bohórquez Barro. MBA.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

**2024**

## RESUMEN

En el desarrollo de esta investigación basada en el “Biochar como enmienda orgánica del suelo en los cultivos hortícolas.” En el cual se planteó como objetivo, describir el Biochar como enmienda orgánica del suelo para mejorar la productividad de los cultivos hortícolas. La metodología, se basó en un tipo de investigación básico, se desarrolló bajo un enfoque descriptivo-analítico, con un diseño de investigación cualitativo, En el desarrollo se determinó los cultivo Hortícola en Ecuador la calidad de los principales productos hortícolas su Sostenibilidad e Innovación Tecnológica, su aplicación en suelos los beneficios y aplicaciones del en la agricultura el uso y aplicación del Biochar el impacto ambiental la reducción de gases de efecto invernadero también el secuestro de carbono. En cuanto a los resultados, el biochar mejora la fertilidad del suelo su estructura porosa mejora la aireación y el drenaje del suelo, lo que favorece el crecimiento de microorganismos beneficiosos y reduce la necesidad de fertilizantes; para maximizar los beneficios y minimizar los efectos negativos, se debe comenzar con dosis bajas; recomienda una dosis de 3-4 Kg por 100 por metro cuadrado, mezclado al 50% con compost, humus de lombriz o estiércol, para producir 39,5 toneladas de jitomates por hectárea. En conclusión, se demostró que el biochar disminuye la contaminación del suelo y los gases de efecto invernadero al adsorber contaminantes y secuestrar carbono durante un largo período de tiempo, mediante el pirólisis de desechos agrícolas, forestales, es un material carbonoso resistente a la oxidación que puede perdurar cientos o miles de años.

**Palabras Claves:** Biochar, Horticultura, Enmienda, Organico, Sostenibilidad.

## SUMMARY

In the development of this research based on "Biochar as an organic soil amendment in horticultural crops." in which it was proposed as an objective to describe Biochar as an organic soil amendment to improve the productivity of horticultural crops. The methodology is determined to be based on a basic type of research, where it was developed under a descriptive-analytical approach, with a qualitative research design, in its development to determine the horticultural crops in Ecuador, the quality of horticultural products in Ecuador, the main horticultural crops in Ecuador, their Sustainability and Technological Innovation, their application in soils, the benefits and applications of in Agriculture, the use and application of Biochar, the environmental impact of biochar, the reduction of greenhouse gases, and carbon sequestration. Regarding the results, biochar improves soil fertility and reduces the need for fertilizers; Its porous structure improves soil aeration and drainage, which favors the growth of beneficial microorganisms, to maximize benefits and minimize negative effects, you should start with low doses; recommends a dose of 2-4 liters per square 100 meter, mixed 50% with compost, worm castings or manure, to produce 39.5 tons of tomatoes per hectare. In conclusion, it was shown that biochar reduces soil pollution and greenhouse gases by adsorbing pollutants and sequestering carbon over a long period of time, through the pyrolysis of agricultural, forestry waste or manure, it is a carbon material resistant to oxidation that can last hundreds or thousands of years.

**Keywords:** Biochar, Horticulture, Amendment, Organic, Sustainability.

## INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY .....	III
1.CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Líneas de investigación .....	4
2. DESARROLLO .....	5
2.1 Marco conceptual.....	5
2.1.1 Origen .....	5
2.1.2. Importancia del cultivo de hortalizas a nivel mundial .....	5
2.1.3. Cultivo Hortícola en el Ecuador .....	5
2.1.4. Calidad de los productos hortícolas en el Ecuador. ....	5
2.1.5. Principales cultivos Hortícolas en el Ecuador.....	6
2.1.5.1. Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	6
2.1.5.2. Cebolla ( <i>Allium cepa</i> ).....	6
2.1.5.3. Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ).....	7
2.1.6. Sostenibilidad e Innovación Tecnológica .....	7
2.1.7. Biochar .....	8
2.1.8. Biomasa. ....	9
2.1.9. Pirólisis de biomasa .....	9
2.1.10. Aplicación de biochar en suelos .....	9
2.1.9. Beneficios y del Biochar en suelos hortícolas. ....	10
2.1.10. Uso de del Biochar.....	10
2.1.11. Impacto ambiental del biochar.....	11
2.1.11.1. Reducción de gases de efecto invernadero .....	11
2.1.11.2. Secuestro de carbono.....	11
2.1.11.3. Mitigación de la contaminación del suelo. ....	12
2.1.12. Ventajas y desventajas de la aplicación del biochar en suelos hortícolas. .....	12
2.1.12.1. Ventajas. ....	12

2.1.12.2. Desventajas. ....	13
2.1.13. Efectos del Biochar sobre las propiedades del suelo.....	13
2.1.14. Dosis de Biochar como enmienda orgánica para mejorar la producción hortícola .....	14
2.1.15. Composición química del Biochar .....	15
2.2. Marco metodológico.....	17
2.3. Resultados .....	17
2.4 Discusión de resultados.....	18
3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	19
3.1. Conclusiones .....	19
3.2. Recomendaciones .....	20
4.REFERENCIAS Y ANEXOS .....	21
4.1. Referencias bibliográficas.....	21
4.2. Anexos. ....	27

## Tabla de Figuras

Figura 1. Biocarbó.....	8
-------------------------	---

# 1.CONTEXTUALIZACIÓN

## 1.1. Introducción

La degradación del suelo es un problema que afecta la productividad agrícola en todo el mundo, la erosiones, la pérdida de materia orgánica y la disminución de la fertilidad del suelo han reducido los rendimientos de los cultivos, poniendo en peligro la seguridad alimentaria mundial y el entorno humano, poniendo este impacto a través de la deforestación, la eliminación de la vegetación y la expansión urbana, lo que altera el uso del suelo y proporciona soluciones viables y sostenibles para mejorar el suelo, esta enmienda es importante para la productividad agrícola en este contexto (Montatixe y Eache 2021).

Según Heredia y Tarelho (2018), indica que el sector agrícola en Ecuador ha sido el motor de la economía del país durante muchos años, alcanzando una participación del 8.2% al 9.9% del PIB nacional en el año 2021; sin embargo, la pérdida de materia orgánica y erosión del suelo nos han llevado a buscar una nueva alternativa, una de ellas es el biochar, que gracias a su capacidad para retener agua y nutrientes evita que se lixivien, ayudando a emendar suelos erosionados.

El biochar es una enmienda del suelo orgánica con muchas ventajas, su capacidad física y química, que influyen una estructura porosa, una gran estabilidad y una alta capacidad de retención de agua, lo que convierte en un excelente candidato para mejorar la calidad del suelo, varios estudios han demostrado, que el uso de biochar pueden mejoran la estructura del suelo, y aumentar la actividad microbiana y la capacidad de intercambio catiónico, el crecimiento de las plantas y rendimientos de los cultivos al mejorar las propiedades del suelos (Escalante *et al.*2016).

Este estudio examina como el biochar, aplicado como una enmienda orgánica del suelo, mejora la productividad de los cultivos, se llevará a acabo el criterio de expertos y como han evaluado los cambios de las propiedades del suelo y el rendimiento en los cultivos hortícolas; una alternativa significativa para mejorar el desempeño ambiental y económico de este sector es la creación de biochar a partir de la biomasa.

## **1.2. Planteamiento del problema**

Una de las mayores amenazas para la agricultura sostenibles es la degradación del suelo, que afecta negativamente la productividad y la estabilidad de los ecosistemas agrícolas; el monocultivo y el uso excesivo de los fertilizantes químicos, entre otras prácticas agrícola intensivas, han provocado la erosión del suelo, la pérdida de materia orgánica y la disminución de la fertilidad del suelo, estas condiciones no solo reducen los rendimientos de los cultivos, sino que también hacen que el suelo sean más vulnerables a sequías e induraciones (Muñoz 2021).

Además, el uso intensivo de recursos y la dependencia de insumos han causado importantes problemas ambientales, como la contaminación del agua y la disminución de la biodiversidad del suelo la degradación del suelo ha tenido un impacto en los procesos biológicos, lo que ha reducido la actividad de microorganismos y ha afectado los ciclos biogeoquímicos, disminuyendo la disponibilidad y absorción de nutrientes por parte de las plantas (Burbano 2021).

Estos problemas conducen a suelos inadecuados que no pueden producir cultivos saludables, lo que reduce los rendimientos y aumentan la vulnerabilidad de las plantas a enfermedades y cambios climáticos, la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes se ha visto comprometida a muchos casos, lo que agrava la situación a los agricultores de depender de insumos químicos que a largo plazo son dañinos para la biodiversidad del medio ambiente.

### **1.3. Justificación**

Es necesario buscar alternativas sostenibles para contrarrestar estos efectos perjudiciales y fomentar prácticas agrícolas que aumentan la productividad a largo plazo, el biochar se presenta como una posible solución que mejora las características del suelo y al mismo tiempo, reduce los efectos negativos de las prácticas agrícolas convencionales; además, saber el impacto del biochar en la capacidad para aumentar la productividad de los cultivos, también proporciona una posible estrategia para abordar el problema de la degradación del suelo en la agricultura.

El biochar es una solución prometedora para mejorar la salud del suelo, debido a su estructura porosa y su capacidad para retener agua y nutrientes, las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo pueden mejorarse significativamente; esto no solo mejora el crecimiento de las plantas, sino que, además, reduce la necesidad de riego constante y la utilización de fertilizante, lo que resulta en una agricultura más ecológica y sostenible, proporcionando datos concretos que pueden guiar su implementación a gran escala.

Además, el uso de biochar tiene efectos positivos en el medio ambiente, esto ayuda a reducir en cierta parte el cambio climático al atraer carbono que se libera a la atmósfera al mejorar la capacidad del suelo para retenerlo, puede reducir la contaminación de agua al reducir la lixiviación de pesticidas y nutrientes; este estudio se justifica por su capacidad para ofrecer soluciones a problemas agrícolas persistentes y por su capacidad para generar beneficios ambientales significativos.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Describir el Biochar como enmienda orgánica del suelo para mejorar la productividad de los cultivos hortícolas.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Detallar los efectos del Biochar sobre las propiedades del suelo.
- Analizar las dosis de Biochar como enmienda orgánica para mejorar la producción hortícola.
- Describir la composición química del Biochar.

## **1.5. Líneas de investigación**

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. El enfoque principal de este estudio se centra en el: “Estudio del efecto del Biochar como enmienda orgánica del suelo para mejorar la productividad de los cultivos hortícola”. En este contexto, específicamente se aborda la línea en Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y en la Sublíneas de Agricultura sostenible y sustentable.

## **2. DESARROLLO**

### **2.1 Marco conceptual**

#### **2.1.1 Origen**

#### **2.1.2. Importancia del cultivo de hortalizas a nivel mundial.**

Los cultivos hortícolas son esenciales para la agricultura mundial debido que es fundamental este sector en la seguridad alimentaria y el desarrollo económico, la horticultura proporciona una fuente vital de vitaminas, minerales y fibras, lo que contribuyen de una manera importante a la nutrición humana, la variedad de productos hortícolas ayuda a combatir la malnutrición en muchas regiones de personas, especialmente en las zonas rurales, son empleadas por este sector agrícola, lo que mejora la calidad de vida de las comunidades locales y genera ingresos estables (Peton 2021).

#### **2.1.3. Cultivo hortícola en el Ecuador.**

El cultivo de hortalizas es una actividad agrícola que tiene un gran porcentaje en el sector agropecuario a nivel nacional, dado que en el país los climas variados en las distintas zonas permitiendo la producción de una variedad de productos hortícolas durante todo el año; además, se cultivan diversidad de hortalizas en las zonas frías y calidad del Ecuador. (Campo-expert 2023).

#### **2.1.4. Calidad de los productos hortícolas en el Ecuador.**

En Ecuador, varios factores geográficas y climáticos, tienen un impacto en la calidad de los productos hortícolas, en la sierra conocidas por sus altas tierras y condiciones frías, se cultivan la mayoría hortalizas de alta calidad como papa, cebolla, lechugas etc., debido a las prácticas agrícolas tradicionales que priorizan el uso de técnicas naturales y orgánicas, estos cultivos son apreciados tanto por su sabor como su resistencias a enfermedades, sin embargo, en las áreas costeras, donde prevale un clima tropical también se cultivan ciertas hortalizas (Santa *ET AL.* 2021).

A pesar de estas ventajas, en Ecuador existen obstáculos para mantener y mejorar la calidad de los productos hortícolas, como la necesidad de modernizar las prácticas agrícolas para aumentar la eficiencia y sostenibilidad, para garantizar

que los productos lleguen al mercado en las mejores condiciones posible, es necesario adoptar tecnologías de manejo integrado de plagas y fertilización; las certificaciones orgánicas y estándares de calidad internacional también pueden abrir nuevas oportunidades en el mercado (Muñoz 2021).

## **2.1.5. Principales cultivos hortícolas en el Ecuador.**

### **2.1.5.1. Papa (*Solanum tuberosum*).**

La papa se cultiva principalmente en las tierras altas de la sierra en Ecuador, el país cuenta con condiciones climáticas ideales para su desarrollo, ubicado entre 1.800 y 3.200 metros sobre el nivel del mar; las variedades de papa se adaptan a una variedad de altitudes, desde las más frías hasta las más templadas, lo que permite una productividad variada en todo el año (Guzmán *et al.* 2015).

Para cultivar, es necesario un suelo bien drenado, fértil y con un pH de 5,5 a 6,5, debido a que la papa es sensible al exceso de humedad, necesita riegos adecuados para aumentar un balance hídrico óptimo: para que el sistema radicular se desarrolle bien, se prefieren suelos sueltos, el control de plagas a través de técnicas de manejo integrado (MIP), como la rotación de cultivos y las prácticas de bioseguridad esencial para garantizar cosechas saludables y productivas (FAO s.f).

### **2.1.5.2. Cebolla (*Allium cepa*).**

La cebolla se cultiva principalmente en las regiones montañosas y costeras del Ecuador, donde se adaptan a diferentes condiciones climáticas y altitudes, en la sierra se cultivan en altitudes de 1.800 a 3.000 m.s.n.m, mientras que, en la Costa, se cultiva en climas más cálidos y húmedos (MAG 2019).

Para cultivar cebolla, el suelo debe estar bien drenado y ligeramente ácido y el pH debe estar entre 6 y 7; además, se requiere un uso equilibrado de fertilizantes orgánicos o químicos, debido a que es un cultivo que necesita nutrientes, especialmente nitrógeno, para evitar la producción de las raíces, es necesario regular el riego, pero sin encharcamiento, utilizando variedades resistentes y rotar el cultivo para controlar malezas y plagas enfermedades (Reyes 2018).

### **2.1.5.3. Tomate (*Solanum lycopersicum*)**

El cultivo de tomate es importante en Ecuador y se cultiva en diversas regiones, principalmente en la costa y la sierra, donde el clima favorece su producción durante todo el año, además, se cultiva en la Sierra en altitudes que van desde los 500 hasta los 2,000 metros sobre el nivel del mar, mientras que, en la Costa, el clima cálido y húmedo crea el clima ideal para el cultivo de tomate. (YARA 2020).

El cultivo del tomate requiere un suelo bien drenado, fértil y con un pH entre 5.5 y 7.0, para mantener un nivel adecuado de humedad en el suelo, el tomate necesita riegos regulares pero controlados porque es sensible al exceso de humedad; es un cultivo que necesita una nutrición balanceada, especialmente en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, que son necesarios para un crecimiento saludable y una buena producción de frutos para proteger los cultivos (MAG 2019).

Estos cultivos hortícolas no solo son importantes para la economía nacional, sino que también reflejan la diversidad y riqueza agrícola de Ecuador, adaptándose a las distintas condiciones climáticas y geográficas del país.

### **2.1.6. Sostenibilidad e Innovación Tecnológica**

La agricultura de precisión, los sistemas hidropónico y la implementación de invernadero son técnicas de cultivos avanzadas que permiten una producción ,mas eficiente y menos dependiente de los recursos naturales, el cultivo hortícola también es importante en la practicas agrícolas sostenible y la innovación de tecnología (López 2018).

### 2.1.7. Biochar.

Tiene un volumen de poros de 0.013 a 0.27 cm<sup>3</sup>/g, dependiendo de la temperatura del proceso, además, contiene una gran cantidad de grupos funcionales con cargas reactivas, principalmente carboxílicos y fenólicos, se obtiene de la pirólisis de la biomasa; es importante tener en cuenta que la composición y reactividad del biochar producido durante un proceso pueden variar según las condiciones de las operaciones utilizadas. Las temperaturas de combustión, el tiempo de residencia de operaciones utilizadas, del material en combustión, el gas utilizado en la cámara de combustión y el tipo de pirólisis (Awad y Kuzyakov 2018).

El área superficial del biochar varían según la temperatura de la pirólisis y es otro parámetro importante para determinar la característica del biochar, la materia prima utilizada durante el proceso, también determina los grupos funcionales y como interactúan durante la combustión para crear la composición final; por ejemplo, el área superficial de microporos de biochar producido a 700°C, es de 685 m<sup>2</sup>/g, mientras que el biochar producido a 250°C, tiene un área superficial de 883.1 m<sup>2</sup>/g, por otro lado tiene un alto contenido de carbono fijo que representa el 90% de la biomasa (Santa *et al.* 2021).



**Figura 1.** Biocarbó.

**Fuente:** (CREAF 2020).

### **2.1.8. Biomasa.**

La lignina, la hemicelulosa y la celulosa son componentes principales de la biomasa vegetal, la hemicelulosa es una estructura amorfa por la unión de diferentes moléculas de azúcar; por otro lado, la célula tiene estructura mayoritariamente cristalina formada por cadenas lineales de glucosa ordenadas, y la lignina no tiene una estructura definida, pero tiene grupos fenólicos y alcoholes, dependiendo del material de origen de lignina también pueden tener ácidos grasos, grupos fenólicos iones entre otros (Domínguez *et al.* 2018).

### **2.1.9. Pirólisis de biomasa.**

Actualmente se utiliza el pirólisis para reducir biocombustible y gas síntesis, debido que es un proceso que degrada o descompone los componentes orgánicos de la biomasa a alta temperatura y sin oxígeno se caracteriza por ser un proceso irreversible que dependiendo de las condiciones de operación produce aceites gases volátiles y biochar, un desecho colado con alto contenido de carbón, la temperatura, la velocidad de calentamiento la presión y el tiempo de residencia del proceso de la pirólisis afectan la calidad de los productos (USBI 2023).

La pirólisis de la biomasa generalmente se lleva a cabo a temperaturas de 350°C a 650°C, dependiendo del producto deseado, que puede ser bioaceites, biogás o biochar, las características, la estructura y la composición del producto deseado se determina por el tiempo de residencia, las tasas de calentamiento y el enfriamiento; por otro lado, es importante tener en cuenta que el fósforo puede permanecer en el biochar después de agregarlo, lo que permite liberarse a la solución del suelo y transferirse a la planta después de un proceso de solubilización (Ezgi 2019).

### **2.1.10. Aplicación de biochar en suelos.**

El biochar como adición al suelo se ha vuelto más común en los últimos 20 años, se ha descubierto que pueden aumentar el pH del suelo, lo que puede llevar a un pH superior a 6 unidades de una condición de acidez y mejorar la retención de nutrientes, se cree que estas variaciones se deben a la obtención de biochar a temperaturas más altas debido a un aumento (Milesi *et al.* 2019).

El biochar tiene una mayor capacidad de intercambio iónico debido a su mayor área superficial, temperatura de pirólisis y tiempo de residencia, esto se debe

principalmente que los grupos aromáticos contiene grupos carboxílicos, que producen puntos de intercambio en la superficie por unidad de carbono; es importante tener en cuenta que la capacidad de intercambio iónico pueden disminuir con la reducción de pH, se debe de tener en cuenta que el biochar a una temperatura entre 450°C y 550°C si el objetivo es aumentar la capacidad de intercambio iónico. (Paladino *et al.* 2018).

Los estudios sobre el uso de biochar en los suelos hortícolas, muestran que el suelo se enriquece con nutrientes y mejora los ciclos de nitrógeno, lo que conduce a un mejor rendimiento de nutrientes en relación al crecimiento de las plantas; los resultados de los estudios cualitativos muestran la falta de un modelo que permita una descripción cuantitativa del mecanismo de demostración del crecimiento de las plantas. (Pourhashem *et al.* 2018).

#### **2.1.9. Beneficios y del biochar en suelos hortícolas.**

El uso de biochar en la agricultura tiene muchas ventajas. Mejora la fertilidad del suelo al aumentar la capacidad de retención de nutrientes y agua, lo que es especialmente beneficioso para suelos degradados o pobres; esto mejora el crecimiento y el rendimiento de los cultivos; además, permite la presencia de microorganismos beneficiosos del suelo, como bacterias y hongos, que son esenciales para el ciclo de nutrientes y la salud del suelo (Climatetrade 2023).

El biochar también puede secuestrar carbono, lo que ayuda a reducir el impacto del cambio climático al reducir la cantidad de dióxido de carbono presente en la atmósfera, su capacidad para adsorber contaminantes y metales pesados, su movilidad y toxicidad en el suelo, aumentar la protección ambiental, mejorar la productividad de los cultivos y la salud del ecosistema agrícola, lo que lo convierte en una herramienta útil para la agricultura sostenible (The food 2024).

#### **2.1.10. Uso del biochar.**

Es esencial realizar pruebas locales para determinar la cantidad ideal de biochar a aplicar y evaluar sus efectos a largo plazo. Las dosis y los métodos de incorporación varían según el tipo de suelo, el clima y las necesidades particulares de los cultivos; el uso debe adaptarse a las condiciones únicas de cada zona y tipo

de cultivo, para maximizar sus beneficios, la implementación apropiada puede incluir mezclas con compost u otras enmiendas orgánicas (García *et al.* 2021).

## **2.1.11. Impacto ambiental del biochar.**

### **2.1.11.1. Reducción de gases de efecto invernadero**

El biochar mejora significativamente el medio ambiente al reducir los gases de efecto invernadero, principalmente el CO<sub>2</sub>, a través del proceso de pirólisis o carbonización, que ocurre durante la producción. Este proceso transforma la biomasa orgánica en biochar en condiciones de baja o nula presencia de oxígeno. Además, no solo estabiliza el carbono orgánico, evitando su liberación en forma de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, sino que también puede secuestrar carbono a largo (Ferraces 2023).

### **2.1.11.2. Secuestro de carbono.**

El biochar se produce mediante la pirólisis de materiales orgánicos como desechos agrícolas o forestales en condiciones de bajo o nulo oxígeno, este proceso estabiliza el carbono orgánico, evitando su liberación a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y es importante en el proceso de secuestro de carbono, que es un proceso crucial para mitigar el cambio climático; el biochar es un excelente sumidero de carbono porque puede permanecer en el suelo durante cientos o incluso miles de años, lo que contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático y a la reducción de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. (Pariona *et al.* 2020).

### **2.1.11.3. Mitigación de la contaminación del suelo.**

Cuando se aplica al suelo, el biochar elimina fácilmente contaminantes como metales pesados y compuestos orgánicos persistentes, debido a su estructura porosa y alta capacidad de superficie, estos contaminantes se unen físicamente al biochar en sitios de adsorción; como resultado, no se lixivia en las capas freáticas, lo que lo hace menos accesible para las plantas y organismos del suelo, además, puede alterar las propiedades físicas y químicas del suelo, lo que aumenta la capacidad de retención de agua y nutrientes, lo que ayuda a las plantas y los cultivos a crecer en lugares contaminados (Gómez 2021).

### **2.1.12. Ventajas y desventajas de la aplicación del biochar en suelos hortícolas.**

#### **2.1.12.1. Ventajas.**

Según Santamaria y Rossignoli (2021), a través de su estudio indica las siguientes ventajas que tiene la aplicación del biochar en suelos hortícolas en el Ecuador;

- **Mejoramiento de la estructura del suelo:** el biochar mejora la aireación y el drenaje al aumentar la porosidad del suelo, lo que ayuda al crecimiento de las raíces de las plantas.
- **Retención de agua y nutrientes:** su capacidad de retención de agua y nutrientes aumenta la eficiencia del uso de recursos al reducir la necesidad de riego y fertilización.
- **El secuestro de carbono:** funciona como un sumidero de carbono y ayuda a reducir el impacto del cambio climático al almacenar carbono en el suelo durante un período prolongado de tiempo.
- **Reducción de la lixiviación de nutrientes:** Ayuda a reducir la pérdida de nutrientes por lixiviación, lo que permite que los nutrientes estén disponibles para las plantas.

### 2.1.12.2. Desventajas.

Según Benavente (2023), a través de su estudio indica las siguientes desventajas que tiene la aplicación del biochar en suelos hortícolas en el Ecuador;

- **Costo inicial:** la producción de biochar puede ser costosa, lo que puede hacer que los agricultores de pequeña escala no la puedan usar.
- **Potencial contaminación:** Si el biochar no se produce correctamente, puede contener contaminantes que pueden liberarse en el suelo.
- **Es necesario ajustar la dosis de biochar:** Debido a la adsorción excesiva, una cantidad excesiva de biochar puede afectar negativamente la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- **Los efectos sobre los microorganismos del suelo:** Puede alterar la comunidad microbiana del suelo, pero esto puede ser reducido mediante el manejo adecuado.

### 2.1.13. Efectos del biochar sobre las propiedades del suelo

El biochar mejora la fertilidad del suelo al aumentar su capacidad para retener nutrientes y agua, su estructura porosa permite la adsorción y liberación gradual de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio de las plantas, lo que aumenta el rendimiento de los cultivos y aumenta la eficiencia en el uso de fertilizantes, lo que reduce la necesidad de aplicaciones frecuentes y promueve el crecimiento vegetal de manera sostenible (Ferraces 2023).

También mejora la estructura física del suelo con la incorporación, la agregación y la porosidad del suelo aumentan, lo que facilita una mejor aireación y drenaje, también crea hábitats favorables para microorganismos beneficiosos del suelo, como bacterias y hongos, que son esenciales para el ciclo de nutrientes y la descomposición de materia orgánica; estos cambios mejoran la salud, la resistencia y la productividad del suelo y lo hacen capaz de soportar el crecimiento de las plantas en una variedad de condiciones ambientales (CSIC 2020).

Debido a su capacidad para adsorber contaminantes como metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos, el biochar también reduce la contaminación del suelo y los gases de efecto invernadero porque su movilidad y biodisponibilidad disminuyen, lo que mejora la calidad del suelo; el biochar también ayuda en el

secuestro de carbono porque puede almacenar carbono en el suelo durante largos períodos de tiempo, reduciendo la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera., esto no solo reduce el cambio climático, sino que también puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Pariona *et al.* 2020).

El biochar, un material carbonoso producido por la pirólisis de la biomasa, mejora las propiedades físicas del suelo gracias a su alta porosidad, estructura y capacidad de retención de agua; esto es especialmente útil en suelos arenosos y en condiciones de sequía, además, ayuda a que el suelo se airee, lo que mejora el desarrollo radicular y aumenta la actividad microbiana; las mejoras físicas como estas mejoran la estabilidad estructural del suelo y reducen la erosión, mejorando el entorno para el crecimiento de las plantas (CREAF 2020).

El biochar aumenta la disponibilidad de nutrientes, mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo y regula el pH, especialmente en suelos ácidos, además, fomenta la actividad microbiana al proporcionar hábitats adecuados para microorganismos beneficiosos, lo que mejora la descomposición de la materia orgánica y la salud general del suelo; debido a sus efectos combinados, el biochar secuestra carbono a largo plazo, contribuyendo a la reducción de los efectos del cambio climático y siendo una herramienta útil para la agricultura sostenible y la mejora de la calidad del suelo (Ramírez 2021).

#### **2.1.14. Dosis de biochar como enmienda orgánica para mejorar la producción hortícola**

Las dosis de biochar como enmienda orgánica en la producción hortícola deben equilibrarse delicadamente para maximizar los beneficios y minimizar los efectos negativos. Para empezar, la aplicación de dosis bajas permite evaluar cómo reaccionan el suelo y los cultivos a la presencia del biochar; además, esta técnica de dosificación conservadora reduce el riesgo de que el carbono orgánico sobrecargue el suelo, lo que podría cambiar el equilibrio microbiológico (PNHFA 2018).

La cantidad de biochar debe ajustarse según las características del suelo y los requisitos del cultivo. Gómez (2021), por ejemplo, recomienda una dosis de 1-2 litros por metro cuadrado para cultivos hortícolas; ha demostrado ser particularmente efectivo mezclar el biochar con compost, humus de lombriz o estiércol en una proporción del 50%, produciendo 39.5 toneladas de jitomates por hectárea.

Además, Cargua et al. (2020) afirman que el biochar se agregó en una dosis de 20 g kg<sup>-1</sup> al sustrato a base de cepas de *micorrizas Acalulospora spp*, *Glomus spp* y *Sclerocystis spp* (200 millones UFC mL<sup>-1</sup>), mejoro de una manera significativa los resultados microbianos y contibuyó a la reparación del suelo, demostrando un entorno más saludable para el crecimiento de las plantas.

#### **2.1.15. Composición química del biochar**

El biochar es un material carbonoso sólido producido por pirólisis de materiales orgánicos como desechos agrícolas, desechos forestales o estiércol, en ausencia o con poca cantidad de oxígeno; la composición química del biochar varía según los materiales utilizados para su fabricación y las condiciones de pirólisis utilizadas, pero en general, el biochar está hecho principalmente de carbono elemental y una pequeña cantidad de otros elementos y compuestos (USDA – NASS 2022).

Los componentes del biocarbón son extremadamente resistentes a la oxidación química y biológica, lo que significa que tiene una vida útil de cientos a miles de años, al menos de 10 a 10 mil veces mayor que la de la mayoría de la materia orgánica del suelo; debido a su resistencia, agregar este producto al suelo puede funcionar como un sumidero potencial de carbono, y así ayudar a reducir la cantidad excesiva de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, pero es importante (FAO 2021).

Con respecto a sus propiedades físicas, el biocarbón es un sólido carbonoso de color negro con una superficie intrincada y desordenada, cuyas características estructurales varían según el tipo y el tiempo de pirólisis, se compone de partículas de diferentes tamaños dependiendo de la fuente y el tamaño de la materia prima; debido a su alta porosidad con microporos de tamaño inferior a 2 nm, mesoporos de tamaño inferior a 2 nm y macroporos de tamaño superior a 50 nm, se ha

comparado con un "arrecife subterráneo" que puede ser hogar de microorganismos. (Escalante *et al.* 2016), citado por (Arechua 2024).

En la mayoría de los casos, el biochar contiene entre el 50 % y el 90 % de carbono, el biochar tiene estructuras sólidas que contienen este carbono, lo que le da sus características físicas distintivas, como su alta superficie específica y su capacidad para retener agua y nutrientes en el suelo; también contiene nutrientes, así como hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y cenizas minerales, estos componentes pueden provenir de los materiales que se utilizaron por primera vez en su fabricación (Geoingeniería 2022).

## **2.2. Marco metodológico**

Para el presente documento se reúne información de documentos actuales artículos de investigación, bibliotecas virtuales y sitios web para ayudar a presentar las opiniones e ideas de los actores que permitan desarrollos de investigación.

Se identificaron temas relevantes del Biochar como enmienda orgánica del suelo en los cultivos hortícolas. Este trabajo se desarrolló como una investigación bibliográfica no experimental utilizando la técnica de análisis, revistas, textos actuales, artículos síntesis y resumen de los datos recopilados.

## **2.3. Resultados**

El biochar mejora la fertilidad del suelo y reduce la necesidad de fertilizantes al aumentar la retención de nutrientes y agua y liberar gradualmente nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, su estructura porosa mejora la aireación y el drenaje del suelo, lo que favorece el crecimiento de microorganismos beneficiosos; además, reduce la contaminación del suelo y los gases de efecto invernadero al adsorber contaminantes y secuestrar carbono a largo plazo, lo que reduce el impacto en el cambio climático y es una herramienta útil para la agricultura sostenible.

La aplicación de biochar como enmienda orgánica en la producción hortícola debe equilibrarse cuidadosamente para maximizar los beneficios y minimizar los efectos negativos; se recomienda una dosis de 1-2 litros por metro cuadrado, mezclado al 50% con compost, humus de lombriz o estiércol, para producir 39,5 toneladas de jitomates por hectárea; la aplicación de biochar como enmienda orgánica en la producción hortícola debe comenzar con dosis bajas, también sugieren agregar 20 gramos de biochar por kilogramo de sustrato junto con micorrizas, lo que mejorará la actividad microbiana y la estructura del suelo.

El biochar es un material carbonoso sólido producido por la pirólisis de desechos agrícolas, forestales o de estiércol en condiciones de poca o nula presencia de oxígeno, su capacidad para resistir la oxidación química y biológica le permite sobrevivir durante cientos o miles de años, desempeñando el papel de sumidero de carbono y contribuyendo a la reducción del CO<sub>2</sub> atmosférico; su estructura porosa, que incluye mesoporos, microporos y macroporos, ayuda a la retención de agua y nutrientes en el suelo y crea hábitats para microorganismos beneficiosos. Contiene

entre el 50 % y el 90 % de carbono, junto con hidrógeno, oxígeno y nitrógeno de los materiales iniciales utilizados en su fabricación.

## **2.4 Discusión de resultados**

El biochar tiene muchas ventajas para las propiedades del suelo. Aumenta la fertilidad del suelo al mejorar la retención de agua y la porosidad del suelo, además de aumentar el contenido de materia orgánica y la actividad microbiana, lo que puede aumentar los rendimientos agrícolas. Según CRAF (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones 2013), hay opiniones que sugieren que los efectos del biochar varían según el tipo de suelo y las condiciones climáticas, lo que podría limitar su eficacia en ciertas áreas y requerir ajustes específicos para maximizar sus beneficios

Las dosis de biochar como enmienda orgánica son esenciales para mejorar la producción hortícola, una dosis de diez a veinte toneladas por hectárea puede aumentar significativamente el rendimiento de los cultivos y mejorar la retención de nutrientes y agua en el suelo. Esto se alinea con lo afirmado por Muñoz (2021), que indica que una dosis más alta, que supera las 30 toneladas por hectárea, maximiza los beneficios para ciertos cultivos. Pero Agroecology (2020) sugiere que una dosis excesiva puede afectar el pH y la estructura del suelo, lo que significa que es importante ajustar las dosis según las necesidades del suelo y el tipo de cultivo.

El biochar contiene entre el 50 % y el 90 % de carbono, además de hidrógeno, oxígeno y nitrógeno de los materiales iniciales utilizados para su producción, y se sostiene que su alto contenido de carbono aumenta la retención de nutrientes y agua en el suelo, lo que aumenta la productividad agrícola. se concuerda con Manyá y Videgain (2017), que sugieren que la variabilidad en su composición, que depende de las materias primas y el proceso de pirólisis, puede afectar su eficacia y requerir ajustes específicos para diferentes tipos de suelo.

## **3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **3.1. Conclusiones**

El biochar se considera una herramienta esencial para la agricultura sostenible, al mejorar la fertilidad del suelo retener nutrientes y agua, además, libera gradualmente macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, así mismo reduce la necesidad de fertilizantes convencionales, debido a que su estructura porosa fomenta el crecimiento de microorganismos beneficiosos al permitir una mejora aireación y drenaje; reduce la contaminación del suelo y los gases de efecto invernadero al absorber contaminantes y secuestrar carbono, lo que reduce el impacto del cambio climático.

La aplicación de biochar como enmienda orgánica en la producción hortícola debe equilibrarse cuidadosamente para maximizar los beneficios y minimizar los efectos negativos, se debe aplicar una dosis de 3-4 Kg por 100 metros cuadrado mezclado al 50% con compost, humus de lombriz o estiércol; además, se sugiere agregar 20 gramos de biochar por kilogramos de sustrato juntos con micorrizas, lo que mejorará la actividad microbiana y la estructura del suelo, también se indica que la ampliación como enmienda orgánica en suelos dedicados a la horticultura se debe de comenzar con dosis bajas.

Asimismo, el biochar se lo cataloga como un material carbonoso sólido producido por pirólisis de desechos agrícolas, forestales o de estiércol, es altamente resistente a la oxidación química y biológica, lo que permite sobrevivir durante siglos; además, actúan como sumidero de carbono, su estructura porosa crea hábitats para microorganismos beneficiosos, siendo así que contiene el 50% y el 90% de carbono, así como hidrógeno oxígeno y nitrógeno

### **3.2. Recomendaciones**

Se debe empezar con una pequeña cantidad de 3-4 Kg por 100 metro cuadrado, mezclado al 50% con estiércol, humus de lombriz o compost, porque liberan gradualmente nitrógeno, fósforo y potasio ayudando significativamente la fertilidad del suelo al aumentar la retención de nutrientes y agua, fomentado el crecimiento de la producción de hortalizas

También se debe de aplicar 20g de biochar por kg de sustrato a base de cepas de micorrizas (*Acalulospora* spp, *Glomus* spp y *Sclerocytis* spp) , esta combinación no solo maximiza la retención de nutrientes y agua, sino que también crea un entorno favorable para microorganismos beneficiosos que ayuda a disminuir la contaminación del suelo y los gases de efecto invernadero al adsorber contaminantes que son esenciales para un crecimiento saludable y productivo de los cultivos hortícolas.

Se puede realizar un análisis parcial del suelo y el agua en los terrenos de explotación para obtener información precisa que permita la aplicación adecuada del biochar.

## 4.REFERENCIAS Y ANEXOS

### 4.1. Referencias bibliográficas

- Agroecología. 21 de septiembre de 2020. Biochar (en línea, blog). Consultado el 21 de jul. 2024. Disponible en <https://agrologia.wordpress.com/2018/08/12/biochar-biocarbon/>
- Agroecology. 24 de febrero del 2020. Carbon Vegetal (en línea, blog). Consultado el 16 de jul. 2024. Disponible en <https://agroecologysl.com/producto/carbon-vegetal-biochar/>
- Awad, Y & Kuzyakov, Y. 2018. Carbon and nitrogen mineralization and enzyme activities in soil aggregate-siz clases (en línea). Revista. Effects of biochar, oyster shells, and polymers. Chemosphere 19(1):40–48. Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1136&context=biologia>
- Benavente, I. 2023. Efectos del uso de biochar sobre el cultivo y las propiedades del suelo en ecosistemas agrícolas semiáridos (en línea). Tesis pregrado.Universidad politécnica de Madrid. Madrid España. 87 p.
- Burbano, J. 2021. Efecto de la adición de Biochar como enmienda de un suelo degradado, sobre microorganismos relacionados con el ciclo del carbono. Consultado el 18 de may de 2024. Disponible en <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/123>
- Campo-expert. 18 de enero del 2023. Cultivos hortícolas. Nutrición completa, eficiente e inmediata para obtener mayores rendimientos y una calidad excepcional (en línea, blog). Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://www.compo-expert.com/es-ES/cultivos/cultivos-horticolas>
- Chávez, M. 2022. Efecto del biocarbón en el cultivo de tomate riñón (*Solanum lycopersicum* L.), Chaltura, Antonio Ante (en línea) Agrovida. 3(5):330-450. Consultado el 10 de jun. 2024. Disponible en <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13069>
- Climatetrade. 13 junio del 2023. Qué es el Biochar, el Oro Negro de la Naturaleza, y por qué la gente está tan emocionada por su potencial (en línea, blog).

Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://climatetrade.com/es/que-es-el-biochar-y-por-que-la-gente-esta-entusiasmada-con-su-potencial/>

CREAF (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones). 2013. Uso del biochar en suelo como estrategia de mitigación del cambio climático y su potencial impacto ecotoxicológico (en línea, blog). Consultado el 16 de jul. 2024. Disponible en <https://www.creaf.cat/es/uso-del-biochar-en-suelo-como-estrategia-de-mitigacion-del-cambio-climatico-y-su-potencial-impacto-ecotoxicologico#:~:text=el%20biochar%20se%20ha%20propuesto,la%20mitigaci%C3%B3n%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico.>

CREAF (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones). 17 de mayo del 2020. Biochar, el carbón que no se quema (en línea, blog). Consultado el 18 de may de 2024. Disponible en <https://blog.creaf.cat/es/noticias/biochar-el-carbon-que-no-se-quema/#:~:text=El%20biochar%20es%20carb%C3%B3n%20vegetal,suelo%20para%20mejorar%20sus%20propiedades.>

CYC (Coffet y Climate). S.F. Biochar (en línea). Consultado el 21 de jul. 2024. Disponible en <https://toolbox.coffeeandclimate.org/es/tools/biochar/>

Digital.CSIC (Concejo superior de investigación Científica). 1 de julio del 2020. Efectos de la aplicación del biochar en un suelo contaminado por elementos traza (en línea, blog). Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://digital.csic.es/handle/10261/239586>

Domínguez, M; Alegre, J; Madejón, P; Madejón, E; Burgos, P; Cabrera, F; Marañón, T; Murillo, J. 2018. Contaminación de suelos con elementos traza en el accidente de Aznalcóllar tras su limpieza en diferentes escenarios (en línea). Revista Condegres 2(15):150-151. Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://digital.csic.es/bitstream/10261/248784/1/Efectos%20de%20la%20enmienda%20con%20biochar%20en%20la%20materia%20%28P%C3%B3ster%29%20481-484%20%282021%29.pdf>

- Escalante, A; Pérez, C; Hidalgo, J; López, J; Campo, E; Valtierra, J; Etchevers, J; 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. (en línea). Revista Terra Latinoamericana 34:367-382. Consultado el 18 de may de 2024. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Ezgi, H. 2019. Welcome to Alternative Fuels from Biomass Sources (en línea). Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://www.e-education.psu.edu/egee439/>
- FAO (Food and Agriculture Organization). S.F. Estudio de la Cadena de la Papa en Ecuador (en línea). Consultado el 16 de jul. 2024. Disponible en [https://www.fao.org/fileadmin/templates/esa/LISFAME/Documents/Ecuador/cadena\\_papa.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/esa/LISFAME/Documents/Ecuador/cadena_papa.pdf)
- Ferraces, I. 2023. Efectos del uso de biochar sobre el cultivo y las propiedades del suelo en ecosistemas agrícolas semiáridos (en línea). Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.73596>.
- Geoingeniería. 7 de febrero del 2022. Biochar o biocarbón. (en línea, blog). Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://es.geoengineeringmonitor.org/2022/02/biochar-o-biocarbon-hoja-informativa/>
- Guzmán, A; Gusqui M; Morán F; Harunobu I. 2015. Recomendaciones para los agricultores de papa (en línea). Consultado el 16 de jul. 2024. Disponible en [http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/Cultivo\\_de\\_papa\\_manual.pdf](http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/Cultivo_de_papa_manual.pdf)
- Heredia, M y Tarelho, L. 2018. Producción de biochar como alternativa para la valorización energética de la biomasa residual generada en el sector agroindustrial ecuatoriano (en línea). Revista. Un enfoque participativo. 3(5): 125-154. Consultado el 18 de may de 2024. Disponible en <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=>
- Indawan, E. Lestari, S. Thiasari, N. 2018. Sweet Potato Response to Biochar Application on Sub-optimal DryLand(en línea). Revista Degrade Min Land

Manage 5(2):1133-1139. Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible <https://jdmlm.ub.ac.id/index.php/jdmlm/article/view/379>

Jaramillo, M. 2018. Aplicación de enmiendas orgánicas y biochars derivados de la industria oleícola en el cultivo del arroz: influencia en la dinámica de plaguicidas y en propiedades agronómicas (en línea). Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://digital.csic.es/handle/10261/129704>

López, M. 2018. Manual tecnico para la producción de hortalizas (en línea). Revista. Agricultura familiar periurbana y de transporte. 5(6): 177-180. Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://cdn.portalfruticola.com/2017/07/Manual-T%C3%A9cnico-Producci%C3%B3n-Hortalizas.pdf>

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2019. Tomate riñón bajo invernadero, una opción hacia la rentabilidad agrícola en Pichincha (en línea). Consultado el 1 de jul. 2024. Disponible en <https://www.agricultura.gob.ec/tomate-rinon-bajo-invernadero-una-opcion-hacia-la-rentabilidad-agricola-en-pichincha/>

Manyá, J y Videgain, M. 2017. Producción y caracterización de biochar derivado de sarmiento de viña (vitis vinifera). Estudio preliminar de su aplicación sobre el desarrollo de plantas gramíneas (en línea). Tesis, Pregrado. Universidad de Zaragoza, Zaragoza España. 35 p.

Milesi, L. Ulle, J. Andriulo, A. 2019. Aplicación de biochar en un suelo degradado bajo producción de batata. efecto sobre propiedades edáficas (en línea). Cienc. Suelo (Argentina) 38 (1): 162-173. Consultado el 10 de jun. 2024. Disponible <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v38n1/v38n1a14.pdf>

Montatixe M y Eche, M. 2021. Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro (en línea) 8(1), e1735. Consultado el 18 de may. 2024. Disponible <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/1735>

Muñoz, J. 2021. Efecto de biochar y fertilizantes sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, desarrollo radical y componentes de rendimiento en arroz (en línea) Tesis Pregrado. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López. Manabí, Ecuador 34 p. Disponible en <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1543/1/TTA27D.pdf>

- Muñoz, M. 2021. Efecto de biochar y fertilizantes sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, desarrollo radical y componentes de rendimiento en arroz. Tesis /ing/agr. Calceta, Manabí, Ecuador, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. 10 p.
- Paladino, I; Sokolowski, J; Irigoien, H; Rodríguez, M; Barrios, J; De Grazia, S, Debelis, J. Wolski, A. Bujan, R. 2018. Soil properties evaluation in horticultural farms of Florencio Varela, Buenos Aires, Argentina (en línea). Consultado el 10 de jun. 2024. Disponible en <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/3554>
- Pariona, P. Matos, W. Huilca, E. 2020. Biochar como tecnología de emisión negativa frente al cambio climático (en línea). Revista. South Sustainability, 1(2):125-148. Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/download/732/739/2381&ved=2ahUKEwjltm9j9SGAxWLRjABHTbsAYoQFnoECA8QAw&usq=AOvVaw2P7IEIMluHdFxpeSnqMKmq>
- Penton, G. 2021. Manual para la elaboración de biochar y microorganismos eficientes (en línea). Revista. Researchgate. 4(7): 125-144. Consultado el 10 de jun. 2024. Disponible [en https://www.researchgate.net/publication/356835765\\_Manual\\_para\\_la\\_elaboracion\\_de\\_biochar\\_y\\_microorganismos\\_eficientes\\_IHPLUSRBF](https://www.researchgate.net/publication/356835765_Manual_para_la_elaboracion_de_biochar_y_microorganismos_eficientes_IHPLUSRBF)
- PNHFA (Programa Nacional de horticultura, floricultura y aromáticas). 2018. Manejo de los suelos hortiflorícolas (en línea). Revista. Edición digital ISSN 2591-5622. Disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_-\\_boletin\\_suelos\\_ndeg\\_10.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_boletin_suelos_ndeg_10.pdf) (26/02/2020)
- Pourhashem, G; Yu Hung, S; Kenneth, M; Masiello, C. (2018). Policy support for biochar: Review and recommendations (en línea). Revista. Global Change Biology Bionergy 1(11): 364-380. Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12582>

- Ramírez, J. 2021. Influencia del biochar en suelos agrícolas degradados. Tesis /ing/ agr. La Mar –Ayacucho, Perú. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental. 20 p.
- Reyes, D. (2018). Análisis económico de la producción de cebolla colorada *Allium cepa* L., en el centro de prácticas Manglaralto, provincia de Santa Elena. La Libertad. UPSE, Matriz. Facultad de Ciencias Agrarias. 67p.
- Santamaria, A. Fernández, E. Campos. P, López. R, De la Rosa. J. 2021. Efectos de la enmienda con biochar en la materia orgánica de un suelo contaminado con elementos traza (en línea). Revista. Condreges. 6(1):75-89. Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://digital.csic.es/bitstream/10261/248784/1/Efectos%20de%20la%20enmienda%20con%20biochar%20en%20la%20materia%20%28P%C3%B3ster%29%20481-484%20%282021%29.pdf>
- The Food. 15 de febrero del 2024. Biochar como aliado de la agricultura regenerativa (en línea, blog). Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible <https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/biochar-como-aliado-de-la-agricultura-regenerativa/>
- Sanz, I. 12 de febrero de 2023. Biochar Guidelines for Agriculture Applications (en línea). Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en <https://blog.eagronom.com/es/gestionando-la-salud-del-suelo-con-la-labranza-de-conservaci%C3%B3n>
- USDA – NASS (Department of Agriculture - National Agricultural Statistics Service). 2022. Farms and Land in Farms Summary (en línea). Consultado el 10 de jun de 2024. Disponible en [https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays\\_Reports/reports/fnlo0222.pdf](https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/fnlo0222.pdf)
- YARA. 12 de octubre del 2020. Principios agronómicos en tomate (en línea, blog). Consultado el 16 de jul. 2024. Disponible en <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/tomate/principios-agronomicos-en-tomate/>

## 4.2. Anexos



**Anexo.** Efecto del biochar en el sistema radicular.

**Fuente:** CYC (S.F)



**Anexo.** Suelo pobre en nutrientes (izquierda), suelo con biochar (derecha).

**Fuente:** Agroecología (2020).