



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“INCIDENCIA DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS
INMOVILIZADOS EN BIOCHAR SOBRE LA GERMINACIÓN DE
LAS SEMILLAS DE ARVEJA (*Pisum sativum*)”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
ARQUITECTO**

AUTOR: DELIA DEL ROSARIO PINEDA ESPINOZA

DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA. PH.D.

CUENCA – ECUADOR

2020

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“INCIDENCIA DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS
INMOVILIZADOS EN BIOCHAR SOBRE LA GERMINACIÓN DE
LAS SEMILLAS DE ARVEJA (*Pisum sativum*)”.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTOR: DELIA DEL ROSARIO PINEDA ESPINOZA

DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA. PH.D.

CUENCA – ECUADOR

2020

*Yo me gradúe en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

DECLARACIÓN

Yo, Delia del Rosario Pineda Espinoza, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



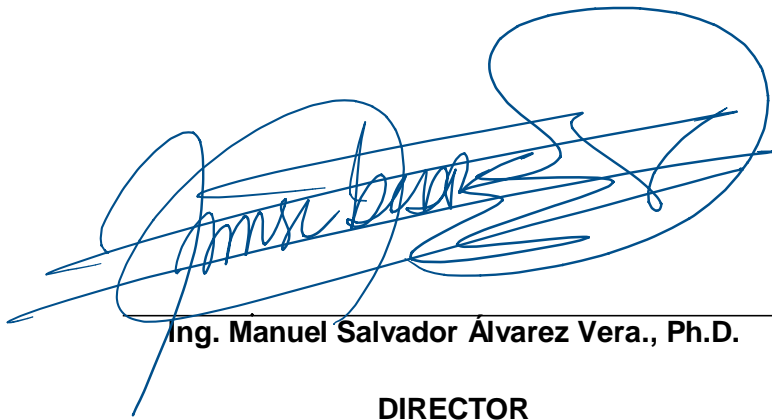
Autor

Delia del Rosario Pineda Espinoza

CC. 0107198277

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Delia del Rosario Pineda Espinoza, bajo mi supervisión.



Ing. Manuel Salvador Álvarez Vera., Ph.D.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Manuel Álvarez Vera, director del trabajo de investigación, quien con sus conocimientos y experiencia fue una pieza clave para la culminación de este trabajo investigativo.

Quiero agradecer a todas aquellas personas que estuvieron presente en la realización de esta meta en especial, A la Sra. Yamile Guarderas y a la Ing. Ana Zambrano Palacios por todas sus ayudas, sus palabras motivadoras, conocimientos, consejos y dedicación.

A la Sra. Jenny Guallpa quien fue, compañera y amiga quien me brindo su ayuda desinteresada y me dio su mano cuando lo necesite por esto y mucho mi agradecimiento.

Por último, quiero agradecer a Dios y a mi familia, en especial mis padres por su apoyo incondicional en cada paso de mi vida. A mi hijo Ángel Alfredo por el ser, el motor de mi vida quien me motiva a ser una mejor persona cada día. A mi hermana por brindarme su apoyo en mi etapa universitaria y en la realización de esta meta

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Hijo Ángel Alfredo quien es el motor de mi vida y mi gran amor, a mis padres quienes con sus consejos y ayuda me han guiado por el buen camino, apoyándome cada día y brindándome su amor. A mi hermana que con su experiencia ha sabido ayudarme y guiarme.

Y a todas las personas que han estado presente en este camino quiero dedicarles este trabajo que con sus ayudas, consejos, he logrado aprender cada día más. Gracias infinitas por su apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE ANEXOS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
CAPITULO II	3
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Biochar	3
2.1.1 Origen	3
2.1.2 Características	3
a. Químicas	4
• Intercambio catiónico	4
b. Físicas	4
• Conductividad eléctrica	4
2.2 Pirólisis	5
a. Lenta	5
b. Rápida	5

2.3	Implicaciones ambientales	5 -
a.	Biochar y sus impactos	6 -
b.	Efecto sobre las propiedades del suelo	6 -
2.4	Faique	7 -
2.4.1	Composición	7 -
2.5	Microorganismos benéficos	7 -
2.5.1	Funciones	8 -
a.	Fijación de nitrógeno	8 -
b.	Reguladores en el crecimiento de las plantas	8 -
2.5.2	Microorganismos benéficos como biofertilizante	9 -
2.6	La arveja	9 -
2.6.1	Origen	9 -
2.6.2	Características de las plantas y fenología	9 -
2.6.3	Taxonómica	10 -
CAPITULO III		11 -
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	11 -
3.1	Zona de estudio.	11 -
3.2	Recolección de materia prima	11 -
3.3	Fabricación de horno pirolítico.	12 -
a.	Producción de biochar	13 -
3.4	Caracterización del biochar	14 -
3.5	Microorganismos benéficos inmovilizados en biochar	15 -
3.6	Prueba de germinación de la semilla de arveja	15 -
3.6.1	Elaboración de la disolución	16 -
3.7	Registro de datos	17 -
3.8	Análisis estadístico	22 -
CAPÍTULO IV		23 -
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23 -

4.1	Caracterización del biochar -----	- 23 -
4.1.1	Conductividad eléctrica-----	- 23 -
4.1.2	Potencial de hidrógeno (pH) -----	- 23 -
4.1.3	Retención de agua -----	- 24 -
4.1.4	Relación de carbono nitrógeno (C/N), fósforo (P) -----	- 24 -
4.2	Análisis estadísticos y resultados de la germinación de semillas de arveja -----	- 24 -
	CAPÍTULO V -----	- 29 -
5.	CONCLUSIONES -----	- 29 -
	CAPÍTULO VI-----	- 30 -
6.	RECOMENDACIONES -----	- 30 -
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	- 31 -
	ANEXOS-----	- 36 -

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Zona de Estudio _____ - 11 -
- Figura 2:** Muestra de poda forestal del faique _____ - 12 -
- Figura 3:** Cámara externa del horno pirolítico _____ - 12 -
- Figura 4:** Tambor cilíndrico interno _____ - 13 -
- Figura 5:** Cilindro externo acondicionado con leña para la combustión. _____ - 13 -
- Figura 6:** Inicio del proceso de Pirolisis _____ - 14 -
- Figura 7:** Biochar obtenido _____ - 14 -
- Figura 8:** Relación sólida y fase líquida _____ - 16 -
- Figura 9:** Semillas de arvejas con agua desmineralizada tercer día _____ - 19 -
- Figura 10:** Semillas de arveja con gua desmineralizada y biochar al tercer día. _____ - 19 -
- Figura 11:** Semillas de arvejas con agua desmineralizada y MOBs al tercer día. _____ - 19 -
- Figuran 12:** Semillas de arvejas con agua desmineralizada y MOBs inmovilizados en biochar al tercer dia _____ - 20 -
- Figura 13:** Semillas de arvejas con agua desmineralizada, con 5 cm de longitud. _____ - 20 -

Figura 14: Semillas de arvejas con biochar y agua desmineralizada, con 5 cm de longitud. – 21 -	
Figura 15: Semillas de arvejas con agua desmineralizada y MOBs, con 5 cm de longitud. _ - 21 -	
Figura 16: Semillas de arvejas con agua desmineralizada y MOBs inmovilizados en biochar, con 5 cm de longitud. _____ - 22 -	
Figura 17: Porcentaje de germinación a los 24 horas _____ - 26 -	
Figura 18: Porcentaje de brotes a las 96 horas _____ - 27 -	
Figura 19: Crecimiento de las plantas sobre los 5 centímetros _____ - 27 -	
Figura 20: Crecimiento de las plantas sobre los 10 centímetros. _____ - 28 -	
Figura 21: Biomasa inicial recogida de la zona urbana de la ciudad de Loja _____ - 36 -	
Figura 22: Muestra de poda forestal del faique. _____ - 36 -	
Figura 23: Horno pirolítico utilizado para la obtención del biochar. _____ - 36 -	
Figura 24: Cilindro externo acondicionado con leña _____ - 37 -	
Figura 25: Proceso de realización del biochar. _____ - 37 -	
Figura 26: Biochar obtenido. _____ - 37 -	
Figura 27: Relación sólida y fase líquida _____ - 38 -	
Figura 28: Las semillas de arvejas con agua des ionizada al tercer día _____ - 38 -	
Figura 29: Microorganismos y agua desmineralizada _____ - 39 -	
Figura 30: Agua desmineralizada y biochar. _____ - 39 -	
Figura 31: Microorganismos inmovilizadores en biochar y agua desmineralizada. _____ - 39 -	
Figura 32: Germinación de semillas en agua desmineralizada _____ - 40 -	
Figura 33: Semillas de arvejas con biochar y agua desmineralizada, con 10 cm de longitud. - 40 -	
Figura 34: Semillas de arvejas con agua desmineralizada y MOBs inmovilizados en biochar, con 2 cm de longitud. _____ - 41 -	
Figura 35: Medición de las plantas _____ - 41 -	
Figura 36: Germinación de semillas en agua desmineralizada, con 5 cm de longitud ____ - 42 -	
Figura 37: Medición de plantas _____ - 42 -	
Figura 38: Examen de Laboratorio _____ - 43 -	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la arveja (<i>Pisum sativum</i>). _____	- 10 -
Tabla 2: Análisis de los componentes del biochar _____	- 15 -
Tabla 3: Datos del periodo de germinación de las semillas _____	- 17 -
Tabla 4: Registro de datos _____	- 18 -
Tabla 5: Resultados estadísticos mediante el programa Unititled _____	- 25 -

LISTA DE ANEXOS

Figura 21: Biomasa inicial recogida de la zona urbana de la ciudad de Loja _____	- 36 -
Figura 22: Muestra de poda forestal del faique. _____	- 36 -
Figura 23: Horno pirolítico utilizado para la obtención del biochar. _____	- 36 -
Figura 24: Cilindro externo acondicionado con leña _____	- 37 -
Figura 25: Proceso de realización del biochar. _____	- 37 -
Figura 26: Biochar obtenido. _____	- 37 -
Figura 27: Relación sólida y fase líquida _____	- 38 -
Figura 28: Las semillas de arvejas con agua desionizada al tercer día _____	- 38 -
Figura 29: Microorganismos y agua desmineralizada _____	- 39 -
Figura 30: Agua desmineralizada y biochar. _____	- 39 -
Figura 31: Microorganismos inmovilizadores en biochar y agua desmineralizada. _____	- 39 -
Figura 32: Germinación de semillas en agua desmineralizada _____	- 40 -
Figura 33: Semillas de arvejas con biochar y agua desmineralizada, con 10 cm de longitud. - 40 -	
Figura 34: Semillas de arvejas con agua desmineralizada y MOB's inmovilizados en biochar, con 2 cm de longitud. _____	- 41 -
Figura 35: Medición de las plantas _____	- 41 -
Figura 36: Germinación de semillas en agua desmineralizada, con 5 cm de longitud _____	- 42 -
Figura 37: Medición de plantas _____	- 42 -
Figura 38: Examen de Laboratorio _____	- 43 -

RESUMEN

El presente trabajo investigativo se realizó con la finalidad de conocer la incidencia que tienen los microorganismos benéficos inmovilizados en biochar, además de poder darle un uso nuevo a la materia vegetal convirtiéndola en carbón para con lo cual se podrá fertilizar los suelos utilizándolos para fines agrícolas, y potenciando la germinación de semillas. En este caso se utilizó semillas de arveja, teniendo cuatro tipos diferentes de tratamientos, el primero y no tan eficaz fue el de agua ionizada con el cual no se obtuvieron resultados positivos ya que las semillas no germinaron en su totalidad y su altura máxima alcanzada fue de 3,2 cm, el segundo tratamiento el cual fue a base de biochar resultó medianamente efectivo ya que las semillas si germinaron y lograron alcanzar tamaños de 15,2 cm, el tercer tratamiento el cual fue de microorganismos tuvo una baja eficacia logrando germinar varias semillas y el tamaño alcanzado fue de 13,5 cm mientras que el tratamiento a base de microorganismos y biochar obtuvieron un resultado superior a las demás ya que no solo germinaron las semillas sino que también lograron alcanzar un tamaño promedio de 16,2 cm. Se logró definir que el mejor tratamiento fue el de microorganismos y biochar para el aporte en germinación de semillas, lo cual será idóneo para el enriquecimiento de suelos.

PALABRAS CLAVE: BIOCHAR, BIOMASA, PIRÓLISIS, GERMINACION, MICROORGANISMOS

ABSTRACT

This research aims to find out the incidence of beneficial microorganisms which have been immobilized by biochar, besides being able to reuse vegetable matter turning it into coal focusing on agricultural purposes to fertilize the soil and maximizing seed germination. Thus, it was used green peas, bearing in mind four different kinds of land treatment, the first one used ionized water showed negative results since the seeds were not completely sprouted and their maximum height reached was 3,2 cm.; the second land treatment used biochar and it was moderately effective, because the seeds sprouted achieved a size of 15,2 cm. Finally, the third treatment used microorganism but it had poor results, it germinates several seeds reaching 13, 5 cm tall. While the land treatment based on microorganisms and biochar got better results than the others, the seeds not only germinated but also achieved an average size of 16, 2 cm. Therefore, the research concluded that the best land treatment to grow seeds was the one that used microorganisms and biochar because it is well suited to enrich soils.

KEYWORDS: BIOCHAR, BIOMASS, PYROLYSIS, GERMINATION, MICROORGANISMS.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El biochar desde el punto de vista ambiental, tiene la capacidad de retener los contaminantes disminuyendo su movilidad y disponibilidad, lo cual genera un acondicionamiento óptimo en el entorno de los microorganismos benéficos al limitar el potencial de dichas sustancias contaminantes sobre algunos grupos de organismos (Parra, 2016), la estructura porosa del biochar proporciona un hábitad adecuado para diversos microorganismos, además el alto contenido de carbonos aromáticos, ya que los microorganismos utilizan dichos carbonos como aceptores y receptores de electrones durante su metabolismo, el biochar, confiere propiedades eléctricas que dan lugar a reacciones de oxidación y reducción (Villacís et al., 2016).

En el presente trabajo de investigación, se determinó los efectos del biochar y los microorganismos, en la germinación de las semillas de arveja, empleando alternativas, que son amigables con el medio ambiente, se utilizó podas de faique de las zonas urbanas de la ciudad de Loja, siendo las mismas la materia prima para la elaboración de biocarbón (biochar), se elaboró un horno pirolítico con un nivel de oxígeno anaerobio.

La interacción entre planta y microorganismos es de suma importancia en la estructura de los ecosistemas ya que dicha asociación es fundamental para el crecimiento de cualquier especie vegetal (Beltrán, Bernal, Pita, & Rocha, 2017).

Desde una visión general la utilización de microorganismos benéficos inmovilizados en biochar también forma parte de la investigación siendo un tratamiento a utilizar en la germinación de las semillas de arvejas.

El uso de los microorganismos favorece a la adsorción de nitrógeno atmosférico, descomposición de residuos orgánicos, desintoxicación de plaguicidas, la supresión de enfermedades en las plantas, aporte de nutrientes y producción de compuestos bioactivos como vitaminas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas (Alfonso et al., 2007).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar el efecto que tienen los microorganismos benéficos inmovilizados en biochar sobre la germinación de las semillas de arveja (*Pisum sativum*).

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar las características físicas y químicas del biochar mediante examen de laboratorio.
- Evaluar el efecto de los microorganismos benéficos inmovilizados en biochar sobre la germinación de las semillas de arveja.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Biochar

El biochar es una sustancia heterogénea con una concentración rica en compuestos aromáticos y materia mineral, producto de la descomposición térmica de materia orgánica con un limitado suministro de oxígeno (pirólisis lenta), manteniendo temperaturas menores a 700 °C (Rebolledo et al., 2016). Ayuda a mejorar la fertilidad del suelo incrementando de esta manera la capacidad de retención de agua, nutriente y microorganismos, ayuda a mitigar el cambio climático a través de la captura de carbono (Preston, 2013).

2.1.1 Origen

El carbón vegetal ha desempeñado un papel crucial en las revoluciones industriales y electrónicas, en las diferentes culturas amerindias antes de la llegada de los europeos, como la “terra preta” en Brasil la utilización de las cenizas producto de la cocción de los alimentos en los fogones de leña, para posteriormente aplicar esos residuos a las chacras, logrando sanear los cultivos de las diferentes plagas y enfermedades (Rebolledo et al., 2016). Existe otra teoría donde mencionan acerca del origen antropológico de estas tierras negras, que incluyen quemadas de los sitios, incendios intencionales con el fin de destruir bosques para ser usados en tierras de cultivos y eliminar malezas (Nieto Martín, 2015). La intensificación del biochar hace unos pocos años como una de las estrategias viables de tratamiento de biomasa en sistemas agroforestales, tiene la ventaja de recircular los nutrientes en el mismo sitio y mejorar las condiciones físico químicas y biológicas del suelo (Iglesias, 2018).

2.1.2 Características

La producción y proceso, junto con el uso previsto generalmente forma la base para su clasificación y conversión de nomenclatura, la intención de mejorar las propiedades del suelo distingue el biochar del carbón vegetal que es utilizado como combustible para el calor, y como filtros en la industria, tanto el tipo de materia prima como las condiciones de pirólisis afectan las características fisicoquímicas del biochar, el área superficial y la porosidad del mismo bajo diferentes temperaturas de pirólisis tiene potencialmente efectos significativos sobre la capacidad de retención de agua y adsorción de nutrientes, facilitando en la dinámica del suelo ya que ayuda en las reacciones benéficas, sin ser consumido en los procesos de degradación biológica como sucede con otros fertilizantes (Rothschuh, 2013), cabe mencionar los compuestos principales del biochar son :

Carbono orgánico recalcitrantes y el contenido de macro y micronutriente (Velázquez Machuca et al., 2019).

a. Químicas

De acuerdo a (Escalante *et al.*, 2016) la composición química del biocarbón es parecida al carbón para combustible y lo único que los distingue es el objetivo al cual se va utilizar, sin embargo cabe mencionar, el biocarbón presenta relaciones más altas de oxígeno y carbón, la presencia de nutrientes como potasio, calcio, magnesio, fósforo, azufre, cationes básicos, metales pesados y compuestos orgánicos también dependerá de la biomasa a utilizar.

- **Intercambio catiónico**

El biocarbón producido a bajas temperaturas tiene una alta capacidad de intercambio catiónico, mientras que las producidas a altas temperaturas tienen una capacidad de intercambio limitado, debido a esta capacidad de intercambio de aniones apreciables para las plantas estas pueden absorber nutrientes y fosfatos, de un elevado intercambio catiónico dependerá la presencia de grupos funcionales oxidados (grupos carboxil), la presencia de estos grupos en la superficie indican la degradación microbiana y la elevada tasa de oxígeno presente (Nieto, 2015).

b. Físicas

La estructura física microscópica del biochar es la clave de su éxito en la reducción de la contaminación por metales pesados (Suppadit, Kitikoon, Phubphol, & Neumnoi, 2012), ya que puede mejorar la estructura del suelo y la retención de agua, mejorar la disponibilidad y retención de nutrientes, mejorar la acidez y reducir la toxicidad de metales pesados en las raíces de las plantas (Kugler, Larjo, & Harel, 2010).

El pH es una para parte a considerar ya que el biochar es alcalino, es decir un $\text{pH} > 7$, por lo que su aplicación en el suelo dependerá el efecto sobre el mismo (Velázquez Machuca et al., 2019). El biochar son materiales porosos los mismo que serán encargados de la retención de agua, también son poco densos y tiene una elevada área superficial por lo que determina su reactividad para retener iones en su superficie (Aker, 2014).

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica en el biochar muestra las sales disueltas de la materia prima llegando a determinar los diferentes tipos de fertilizantes y sales neutras que pueden estar en las mismas (Asai et al., 2009). Se debe tener en cuenta el contenido de sal ya que si el nivel es alto puede mostrar efectos negativos al momento de ser utilizados en las plantas, (Lefebvre, Cabanillas, Román-Dañobeytia, Silman, & Fernandez, 2018).

2.2 Pirólisis

El término pirólisis se deriva su significado del término “pyro” derivado del griego que significa fuego mientras que “lisis” significa rotura o fraccionamiento, se determina la pirólisis como la descomposición termoquímica de la materia orgánica (biomasa) en ausencia de oxígeno, transformándose en tres fases: una fase líquida, gaseosa y un producto sólido carbonizado denominado biochar (Martínez & Bohórquez, 2017), en el proceso de pirólisis los principales factores a influir son: composición y estructura de la materia prima, tecnología utilizada, tiempo de residencia, velocidad de calentamiento, temperatura del proceso y velocidad de enfriamiento (Urien, 2013), los procesos de pirólisis se clasifican teniendo en cuenta la tasa de calentamiento que se utilice: Pirólisis lenta y rápida (Suárez, 2015).

a. Lenta

La caracterización de la pirólisis lenta convencional está definida por los lapsos de calentamiento de la biomasa pausados, temperaturas bajas y extensos lapsos de tiempo de residencia de los sólidos, de acuerdo al sistema, los lapsos de calentamientos son cerca de 0,1 a 2 °C por segundo y prevalecen las temperaturas alrededor de los 500 °C (Rebolledo et al., 2016). El tiempo de residencia del gas puede ser mayor de 5 s, mientras que para la biomasa puede ser de minutos, para la producción de biochar las bajas temperaturas y extensos lapsos de tiempo favorecen a su composición (Parra, 2016).

b. Rápida

Su calentamiento es mayor a 200 °C y las temperaturas que prevalecen son mayores a 550 °C (Rebolledo et al., 2016), con tiempos de residencia cortos y velocidad de calentamiento elevada (Urien, 2013), junto con un enfriamiento rápido provoca que la condensación de la fracción líquida produzca bio-aceite (Angst & Sohi, 2013).

2.3 Implicaciones ambientales

Desde el punto de vista ambiental el balance de emisiones de CO₂ a la atmósfera es cero, ya que todo el CO₂ liberado durante el proceso de conversión de la biomasa es utilizado por las plantas a través de la fotosíntesis. Por estas razones, la conversión energética de la biomasa se ha convertido en una ruta prometedora para la obtención de combustibles gaseosos y líquidos, carbones y productos químicos de interés (Urien, 2013), además el uso de la biomasa utilizada en el proceso energético es considerada una fuente de energía limpia debido al bajo contenido en nitrógeno, azufre y cenizas lo que provoca unas emisiones insignificantes de dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) (Salinas, 2018).

a. Biochar y sus impactos

Uno de los principales beneficios del biochar al suelo son la incorporación de nutrientes y fijación de carbono, estimulación de crecimiento microbiano, aumento de pH intercambio catiónico y como uno de los principales efectos en suelos áridos la fijación de humedad y filtración de agua (Peña, 2019). En suelos ácidos que fueron incorporados biochar estos tienden a incrementar su pH (Lefebvre et al., 2018).

Mediante los sistemas de producción del biochar se presenta una prominente absorción de carbono atmosférico (Aker, 2014), bajo un número de condiciones y por el lapso de un tiempo este puede presentar un contenido mayor de carbono retenido en su estructura (Kugler et al., 2010). De forma recalcitrante es retenido el carbón de la materia prima ya sea del 20 al 50 por ciento (DeLuca, MacKenzie, & Gundale, 2012). Con esta particularidad en la retención cabe mencionar que la retención de carbono no solo puede permanecer por un periodo pequeño de tiempo si no a largo plazo (Rosado, Paneque, & Reina, 2016).

b. Efecto sobre las propiedades del suelo

Como mejora orgánica el biochar tiende a alterar propiedades físicas del suelo, como la estructura y la porosidad teniendo un impacto directo en el crecimiento de las plantas ayudando en la profundidad de las raíces y en los recursos de agua y aire en la zona de las raíces (Lorrayny Lima et al., 2013).

La materia orgánica utilizada en el biochar tiene influencia en las propiedades del suelo, funciones biológicas y el desarrollo del cultivo (Kugler et al., 2010). Un ejemplo claro es el biochar elaborado a partir de la materia orgánica de residuos ganaderos, elevan la fertilidad del suelo y mejora la estructura (Camargo & Ávila, 2014a).

El biochar tiene la condición de captar contaminantes reduciendo así su transporte y biodisponibilidad, generando un entorno para los microorganismos beneficiosos del suelo, limitando, la toxicidad de dichos contaminantes (Suppadit et al., 2012). El estancamiento de los metales una vez aplicado el biochar en el suelo está relacionado a la capacidad de intercambio catiónico, la capacidad de absorción y el aumento del pH, produciendo una pérdida de cationes, aumentando la carga negativa y la absorción de iones metálicos en la superficie del biochar (Nieto, 2015).

La parte porosa del biochar proporciona un hábitat adecuada para microorganismos, con un alto contenido de carbono aromático presente (Angst & Sohi, 2013), genera propiedades eléctricas dando lugar a reacciones de oxidación y reducción de importancia bioquímica en el suelo, ya que los microorganismos usan este carbón aromáticos como aceptores y receptores de electrones durante su metabolismo (Nieto, 2015). Con respecto a esto, la capacidad de absorción de moléculas orgánicas e

inorgánicas podría ser un factor clave para suplir algunas de las necesidades energéticas y nutricionales de los microorganismos, asegurando condiciones adecuadas para la biota del suelo, lo que se traduce en el mantenimiento de las funciones de los ecosistemas (Velázquez Machuca et al., 2019).

Efectos adversos sobre las colonias microbianas mediante la medición de la actividad enzimática en los suelos tras ser enmendados con diferentes biochar lo cual está fuertemente relacionado con la temperatura de la producción del biochar con el tipo de enzima (Asai et al., 2009). Sin embargo, autores expresan la necesidad de evaluar los mecanismos asociados a la estabilización de las enzimas tras el uso del biochar como enmienda orgánica, mediante estudios a largo plazo y en campo (Rodríguez, Lemos, Trujillo, Amaya, & Ramos, 2019).

2.4 Faique

Es una especie de las *Acacia macracantha* perteneciente a la familia de las *Fabáceas* y a su vez a la clase de las plantas *Magnoliopsida*, nativa del continente Americano (Augusto, López, & Ramos, 2013). Es un árbol espinoso que alcanza una altura promedio de 5 m de altura formado un follaje que puede llegar a medir un diámetro de 12 m, de una coloración gris oscuro, hojas con espinas largas y anchas en su base, flores amarillas y frutos en forma de pequeñas vainas, se encuentran en barrancos, terrenos de siembra, laderas, cerros, dentro y fuera de la población, los principales usos son: Fabricación de parquet, carbón debido a reducida cantidad de humedad y leña (Camino, Espín, Samaniego, & Carpio, 2008).

2.4.1 Composición

La biomasa proveniente de la madera de faique, mediante la reacción fotosintética vegetal convierte la energía lumínica en química (Romero, 2018), manteniendo los componentes principales de materia orgánica lignocelulosa de los cuales se derivan: celulosa, hemicelulosa y lignito (Fiestas, 2016). Debido a los elementos ya mencionados, el biochar obtenido es considerado como un catalizador, ya que este facilita las reacciones benéficas para las plantas sin ser consumido en los procesos de degradación biológica (Preston, 2013).

2.5 Microorganismos benéficos

Los microbiólogos del suelo y ambiente tienden a diferenciar los microorganismos benéficos (MOBs), de acuerdo a sus funciones y al efecto que provocan en la sanidad de las plantas (Pousette et al., 2014), entre los microorganismos benéficos están aquellos que fijan nitrógeno atmosférico, mejoran la productividad y crecimiento, desintoxicación de plaguicidas, eliminación de enfermedades en las plantas,

descomposición de desechos y residuos orgánicos, incrementación en el reciclaje de nutrientes que producen componentes bioactivos como vitaminas, hongos y encimas que estimulan el crecimiento de las plantas (Alfonso, Leyva, & Hernández, 2005), están constituidos por la mezcla de varios MOB: levaduras, actinomicetos, bacterias ácido lácticas y fotosintéticas que son mutuamente compatibles entre sí y coexisten en un cultivo (Villacís et al., 2016). La materia orgánica es utilizada por los microorganismos como nutrientes para su desarrollo, produciendo su descomposición (mineralización), hasta moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas (Oliver, 2013), durante el proceso de humificación se crean nuevas macromoléculas, a partir de moléculas sencillas, formadas en la descomposición, el proceso es conjunto, produciendo fundamentalmente calor, CO₂, agua y sustancias húmicas (Jaizme & Rodríguez, 2008).

2.5.1 Funciones

Los microorganismos benéficos influyen en el crecimiento de las plantas como en la adsorción de nutrientes principales y fijación de nitrógeno, favoreciendo al crecimiento de ramas y raíces (Alfonso et al., 2005), la descomposición de residuos orgánicos, la desintoxicación con plaguicidas, la supresión de enfermedades en las plantas, el aporte de nutrientes al suelo y la producción de compuestos bioactivos como vitaminas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas (Martínez, 2002). Algunos por procesos de descomposición, otros por solubilización, como es el caso del fosfato inorgánico transformándolo a ortofosfato, que es una forma asimilable para las plantas, este tipo de adaptabilidad específica por parte de los microorganismos hace que estas poblaciones se denominen grupos funcionales (Terry, Leyva, & Díaz, 2005).

a. Fijación de nitrógeno

Las bacterias fijadoras de nitrógeno favorecen la estabilidad de las plantas, aumentan su productividad e incrementan la capacidad de retención de agua y nutrientes, Los microorganismos fijadores libres de nitrógeno contribuyen al mantenimiento de la diversidad a través de su influencia en la disponibilidad de diferentes fuentes de nitrógeno tanto orgánico como inorgánico en los suelos, influyendo en la fertilidad de los suelos estructura y por ende su capacidad para liberar nutrientes (Beltrán et al., 2017).

b. Reguladores en el crecimiento de las plantas

La relación que mantiene planta y microorganismos es esencial para el óptimo crecimiento de las especies vegetales (Rothschuh, 2013). La importancia de las interacciones planta microorganismos en la estructura de los ecosistemas es de gran importancia ya que dicha asociación es esencial para el crecimiento de cualquier especie vegetal (Alfonso et al., 2005). La integración de los microorganismos en los sistemas

agroecológicos, contribuyendo a optimizar la calidad y salud del suelo, limitando el aporte de nutrientes e incrementando los rendimientos.

2.5.2 Microorganismos benéficos como biofertilizante

Los biofertilizantes son insumos realizados con microorganismos benéficos contribuyendo a disminuir los costos de producción agrícola, ya que la fijación biológica logra cubrir hasta el 50% del nitrógeno necesario para las plantas, además estos microorganismos ayudan a mantener el equilibrio biológico, ya que no producen afectaciones al suelo, a la salud y al ambiente en general (Velázquez et al., 2019). Mejoran la disponibilidad de nutrientes a los cultivos, manteniendo la conservación del suelo desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad ecológica, manteniendo la capacidad de transformar el nitrógeno atmosférico a amonio y suministrarlo a los cultivos mediante varios procesos (Rivera, 2009).

2.6 La arveja

La arveja (*Pisum sativum*) es la leguminosa con mayor demanda después del frejol en las zonas andinas contribuyendo a la seguridad alimentaria y económica de pequeños agricultores (Camargo & Ávila, 2014).

2.6.1 Origen

Su empleo como planta cultivada en la alimentación humana y animal se remonta a 600 años antes de Cristo, se han encontrado restos carbonizados de semillas en asentamientos neolíticos (Loli & Alegre, 2009). La arveja es originaria de Asia Central, Cercano Oriente y Mediterráneo (Roca, 2015).

2.6.2 Características de las plantas y fenología

La raíz presenta una estructura fibrosa, encontrándose tres tipos de raíces: la raíz principal o pivotante que puede alcanzar de 50 a 100 cm de profundidad, a partir de ésta raíz se desarrolla la secundaria que incluso puede llegar hasta la profundidad alcanzada por la raíz pivotante, de ésta se origina una cobertura densa de raíces terciarias (Camargo & Ávila, 2014a). El tallo principal es hueco y muy delgado en la base, éste va engrosándose progresivamente hacia la parte alta, dependiendo de la precocidad del cultivo puede emitir desde 6 hasta más de 20 nudos vegetativos por planta (Alfredo & Araque, 2013), las hojas están compuestas por folíolos pareadas y en su extremo consta con zarcillos, que se aferran a guías a medida que la planta va desarrollando (Pacheco, Vergara, & Ligarreto, 2010), la formación del primer nudo reproductivo del tallo está desarrollado genéticamente, a partir de este se inicia la floración que prosigue secuencialmente hacia la parte superior de la planta, los racimos auxiliares se agrupan formando flores generalmente de color blancas (Ricardo, Pacheco, & Porras, 2009).

2.6.3 Taxonómica

En la tabla 1 se muestra la taxonomía de la arveja presentando los principales niveles de agrupación:

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la arveja (*Pisum sativum*).

Reino	vegetal
División	esspermatofita
Clase	angiospermae
Subclase	Dicotyledoneae
Orden	rosales
Familia	leguminosas
Subfamilia	papilionoides
Tribu	viceas
Género	pisum
Especie	Sativum L
Variedad	
Botánica	alderman
Nombres	arveja, guisantes,
Vulgares	chícharo

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Zona de estudio.

Se obtuvo la materia prima de podas de las áreas verdes de la Ciudad de Loja, la especie utilizada fue el faique (*Acacia macracantha*), la producción del biochar se realizó en la parroquia de Urdaneta, la obtención de microorganismos benéficos de café (*Coffea arabica*) de la región costa, ya listos para la inoculación fue proporcionada por (Blandín, 2018), la germinación de las semillas de arvejas se realizó en el Campus de Posgrados en la Estancia Luis Cordero de la Universidad Católica de Cuenca, sector Uncovía, del Cantón Cuenca (figura 1).



Figura 1: Zona de Estudio

3.2 Recolección de materia prima

Las muestras fueron recolectadas de las áreas verdes urbanas de la ciudad de Loja, generadas de las podas forestales de faique (*Acacia macracantha*), mismas que pesaron 3 kg estas fueron escogidas al azar mediante la recolección manual, la toma de muestras se llevó a cabo en el mes de julio del 2019.

Las muestras fueron previamente secadas a temperatura ambiente, bajo una estructura en un entorno abierto para protegerles de las lluvias, ya que al darse este caso se requeriría mayor cantidad de energía para eliminar el contenido de humedad (Urien, 2013).

Se utilizaron los siguientes materiales: 3 kg de podas de faique como se puede observar en la figura 2, recipientes plásticos, tijeras de poda, adhesivos de colores, guantes de látex, esfero, libreta y cámara fotográfica.



Figura 2: Muestra de poda forestal del faique

3.3 Fabricación de horno pirolítico.

La fabricación se basó en el horno más común como es el de dos tambores cilíndricos, para la producción de biochar en pequeñas cantidades, esto en base a lo requerido en la investigación, el tambor cilíndrico grande de la figura 3, representa la cámara de combustión externa del horno, con dimensiones de 32 cm de altura, 27 cm de diámetro con un volumen de 0,160 m³.



Figura 3: Cámara externa del horno pirolítico

Los componentes y dimensiones del tambor cilíndrico vertical observado en la figura 4, representa la cámara interna del horno, con dimensiones de 13 cm de altura, 10 cm de diámetro y 0,020 m³ de volumen alcanzando una capacidad de 0,3 kg.



Figura 4: Tambor cilíndrico interno

a. Producción de biochar

El método aplicado para la obtención del biochar fue mediante pirólisis lenta, a partir de las podas del faique, donde la biomasa se carbonizó en el horno pirolítico a temperaturas menores a 500 °C controlando el tiempo combustión.

Se tomaron en cuenta las entradas y salida de aire en los tambores ya que el proceso de pirólisis se lleva a cabo en condiciones limitadas de oxígeno.

Los espacios entre los tambores fueron llenados con materiales inflamables tales como la leña, como se puede observar en la figura 5, para su combustión una vez realizado este proceso se encendió fuego a los materiales, después que el material comenzó arder se tapa cuidadosamente el tambor externo.



Figura 5: Cilindro externo acondicionado con leña para la combustión.

El proceso, duró aproximadamente entre 6 y 7 horas como se puede observar en la figura 6, se dejó enfriar durante un tiempo moderado de 3 a 4 horas a temperatura ambiente como se visualiza en la figura 7.



Figura 6: Inicio del proceso de Pirolisis



Figura 7: Biochar obtenido

3.4 Caracterización del biochar

Tabla 3. Se determinaron los siguientes componentes del biochar, con sus respectivos valores obtenidos, en el laboratorio BIONIKA de la ciudad de Quito

Tabla 2: Análisis de los componentes del biochar

ITEM	UNIDADES	VALORES
pH	-	8.2
Alcalinidad	ppm (CaOCO ₃)	186
Conductividad Eléctrica	mS cm ⁻¹	2.77
Densidad Aparente	g ml ⁻¹	0.331
Materia Orgánica	%	85.5
Carbono Orgánico Total	%	70.3
Oxígeno	%	9.5
Nitrógeno Total	%	2.2
C/N	-	31.81
P	ppm	77.3
k	ppm	955.7

3.5 Microorganismos benéficos inmovilizados en biochar

Parte de la investigación se enfocó en la aplicación de microorganismos benéficos en el biochar ya obtenido con la finalidad de mejorar la germinación de las semillas de arveja.

(Blandín, 2018) en su trabajo de investigación "*Caracterización de microorganismos benéficos de la filósfera de café (Coffea arabica), banano (Musa paradisiaca) y limón (Citrus limon) procedentes de tres regiones naturales del Ecuador*", con la muestra vegetal de café (Coffea arabica), la cantidad a utilizar fue de 50 g y con la metodología de (Alvarez et al., 2018) los microorganismos se obtuvieron de la siguiente manera: 50 cc, 10 g de hígado de res equivalente a un 10 %, más 20 cc de maleza y un 5% de sal de mesa, esa mezcla se homogenizó en temperatura ambiente en un lapso de 10 días, como resultado los microorganismos benéficos extraídos a partir de la filósfera del café de la región costa, observando en la tabla 3 las unidades formadores en los consorcios bacterianos, mismos a ser utilizados en la presente investigación.

Tabla 3: Unidades formadoras en los consorcios presentes en la filósfera vegetal de (*Cooffe arabica*)

Microorganismos	R1M1	R2M	R3M3
	log UFC m ⁻¹		
<i>Actinomyces</i> sp.	0.1920122	n.d.	0.6584211
<i>Arthrobacter</i> sp.	0.2517845	n.d.	0.3214241
<i>Bacillus subtilis</i>	1.2547283	0.326547	0.5421534
<i>Bacillus aminoliquefaciens</i>	0.6548815	0.254210	1.1451758
<i>Devaromyces</i> sp.	0.5862142	1.157458	0.6215482
<i>Enterobacter</i> sp.	1.5562448	0.895874	0.5214575
<i>Hanseniaspora</i> sp.	1.0215484	0.562148	1.1584791
<i>Kloekera</i>	3.2211544	n.d.	0.6521474
<i>Kluyveromyces</i> sp.	1.2081205	1.178420	0.8945751
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	2.2315454	1.147548	0.5321424
<i>Lactobacillus plantarum</i>	1.6582145	0.919568	0.7514515
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	1.3325148	n.d.	n.d.
<i>Paenibacillus</i> sp.	1.2016579	n.d.	n.d.
<i>Pseudomonas</i> sp.	0.9658405	0.654741	0.45751321
<i>Pichia</i>	1.0325458	1.1248455	0.31475137
<i>Saccharomyces cerevisae</i>	2.2851342	2.2548184	0.65214831
<i>Saccharomyces</i> sp	2.0244577	1.185647	1.14218473

3.6 Prueba de germinación de la semilla de arveja

Para las pruebas de germinación de las semillas de arvejas se realizaron 4 tratamientos, el primero con agua desmineralizada, el segundo biochar, el segundo con microorganismos benéficos y el tercer una combinación de microorganismos benéficos y biochar. Detallando a continuación

- En el primer tratamiento de la germinación de las semillas de arvejas, se realizó solo con agua desmineralizada (testigo), se obtuvo 4 repeticiones en bandejas pequeñas con papel absorbente en el fondo, evitando así la deshidratación de las semillas,
- En el segundo tratamiento de la germinación de las semillas de arvejas, se realizó con agua desmineralizada más biochar, se elaboraron 4 repeticiones en

bandejas pequeñas y papel absorbente en el fondo, estas bandejas facilitaron la observación del proceso de germinación.

- En el tercer tratamiento de la germinación se realizó con agua desmineralizada más microorganismos benéficos, de igual forma se realizaron 4 repeticiones en bandeja pequeñas con papel absorbente en el fondo.
- El cuarto y último tratamiento se realizó con agua desmineralizada más una combinación de biochar y microorganismos benéficos.

La etapa inicial se basó en el crecimiento de las semillas de arveja en los 4 tratamientos en disolución de 1,10 con biochar

3.6.1 Elaboración de la disolución

Para la elaboración de esta disolución se procedió a moler el biochar en un molino casero, como resultado se obtuvo una textura fina, de acuerdo al estudio (Gilces, 2014) menciona: volumen sobre volumen, en la siguiente relación: disolución en extracto acuoso 1:10. Se realizó la disolución de agua desmineralizada con biochar (figura 8) con los tratamientos diferentes basándose en la misma relación.

Volumen/volumen; relación: en concentración acuosa 1:10 (Iglesias, 2018).

1 ml fase sólida de biochar

10 ml fase líquida de agua desmineralizada



Figura 8: Relación sólida y fase líquida

3.7 Registro de datos

Se aplicaron las semillas de arvejas una vez establecidas las dosis de biochar para las disoluciones, se colocó 12 semillas en cada bandeja con una distancia de 2 a 3 cm de distancia, posteriormente se procedió al registro de datos según los periodos de tiempo establecidos en la tabla 3, obteniendo el porcentaje de semillas germinadas de cada tratamiento con sus respectivas repeticiones, tratamiento A (testigo), tratamiento B (agua desmineralizada y biochar), tratamiento C (agua desmineralizada y MOB), tratamiento D (inmovilización de MOB en biochar y agua desmineralizada) y N el número de registro establecido, como se puede observar en la tabla 4.

Tabla 3: Datos del periodo de germinación de las semillas

Valoración	Fecha de evaluación	Datos registrados
1	3 de octubre	Día de la siembra
2	4 de octubre	Numero de semillas germinadas a las 24 h
3	5 de octubre	Numero de semillas germinadas a las 48 h
4	6 de octubre	Inicio de brotes en las semillas a las 96 h
5	8 de octubre	Longitud de los brotes a los 2 cm
6	11 de octubre	Longitud de los brotes a los 5 cm
7	14 de octubre	Longitud de los brotes a los 10 cm
8	17 de octubre	Longitud de los brotes a los 15 cm
9	20 de octubre	Longitud de los brotes a los 20 cm

Tabla 4: Registro de datos

Tratamientos	N 1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9
A1	0 %	3 %	10 %	17 %	21 %	23 %	23 %	25 %	25 %
A2	0 %	3 %	9 %	13 %	18 %	22 %	25 %	29 %	30 %
A3	0 %	1 %	6 %	14 %	17 %	17%	18 %	18 %	20 %
A4	0 %	2 %	9 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	23 %
B1	38 %	39 %	43 %	61 %	62 %	65 %	71 %	72 %	75 %
B2	42 %	47 %	50 %	54 %	59 %	68 %	70 %	72 %	78 %
B3	40 %	43 %	50 %	50 %	58 %	67 %	71 %	75 %	76 %
B4	45 %	50 %	57 %	60 %	62 %	65 %	78 %	80 %	81 %
C1	32 %	40 %	45 %	48 %	51 %	54 %	60 %	62 %	65 %
C2	30 %	35 %	38 %	40 %	42 %	47 %	57 %	57 %	60 %
C3	30 %	35 %	37 %	41 %	43 %	59 %	59 %	61 %	62 %
C4	37 %	45 %	50 %	50 %	52 %	64 %	64 %	65 %	67 %
D1	70 %	75 %	78 %	84 %	84 %	86 %	87 %	87 %	90 %
D2	72 %	76 %	78 %	80 %	81 %	87 %	91 %	91 %	93 %
D3	75 %	77 %	79 %	80 %	80 %	87 %	92 %	94 %	95 %
D4	70 %	75 %	79 %	84 %	86 %	88 %	90 %	90 %	90 %

En la figura 9 se puede observar la germinación de las semillas al tercer día, con un porcentaje de germinación del 10 %, mientras que en la figura 10 el índice de germinación es del 65 %, manteniendo un valor similar en la figura 11 del 50 %, mientras que en la figura 12 se puede observar un mayor número de semillas germinadas conservando un porcentaje del 90 %.



Figura 9: Semillas de arvejas con agua desmineralizada tercer día



Figura 10: Semillas de arveja con gua desmineralizada y biochar al tercer día.



Figura 11: Semillas de arvejas con agua desmineralizada y MOBs al tercer día



Figuran 12: Semillas de arvejas con agua desmineralizada y MOBs inmovilizados en biochar al tercer día.

En todas las muestras se aplicó la misma cantidad de disolución establecida anteriormente (concentración acuosa 1:10), observando en las figuras 14 y 16 la conservación de humedad y óptimo crecimiento de las plantas, con un estándar de crecimiento de 5 cm de longitud, mientras que en la figura 15 la deshidratación de las plantas es evidente, ya que durante el crecimiento la demanda de agua de las mismas es mayor, también se puede evidenciar en la figura 13 un exceso de agua debido a la baja tasa de crecimiento de las plantas.



Figura 13: Semillas de arvejas con agua desmineralizada, con 5 cm de longitud



Figura 14: Semillas de arvejas con biochar y agua desmineralizada, con 5 cm de longitud.



Figura 15: Semillas de arvejas con agua desmineralizada y MOBs, con 5 cm de longitud



Figura 16: Semillas de arvejas con agua desmineralizada y MOBs inmovilizados en biochar, con 5 cm de longitud.

3.8 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó en el programa Unititled Past326b (Estadísticas Paleontológicas), funciona en sistemas operativos de Windows y es de libre disposición (Bernardi, 2017), también permite la entrada de datos del tipo de hoja de cálculo, con estadísticas invariante, ajuste de curvas, análisis de series temporales, representación gráfica de datos y análisis filogenético, convirtiéndose en un paquete educativo completo para asignaturas sobre métodos cuantitativos (Chaves, 2012).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización del biochar

Las características especiales que definen al biochar, se analizan revisando los siguientes aspectos.

4.1.1 Conductividad eléctrica

En el presente trabajo la conductividad eléctrica fue de (2.77 mS/cm), (Abenza, 2012) en su estudio “Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta” menciona que la conductividad eléctrica es un parámetro variable, ya que las concentración de sales solubles en el biochar son sensibles, a los procesos de mineralización de la materia orgánica y absorción de nutrientes, el aumento similar en el valor de salinidad inicial de todos los tratamientos se explicaría debido al aporte de fertilizante mineral. (Janneth & Rivera, 2018) “*Diferencias de parámetros físico químicos de suelo en el proceso de restauración por enmiendas de biochar*” manifiesta los niveles de conductividad eléctrica durante los procesos que duro su investigación fueron 0,33 dS/m y 0,183 dS/m.

4.1.2 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH obtenido de las podas de faique: obtuvo un valor de 8.2 tomando este valor dentro de los rangos altos de pH, que puede servir como compensador de acidez (Iglesias, 2018).

(Gilces, 2014) en su estudio “*Efectos de la aplicación de biochar y cenizas en las propiedades del suelo*” en el pH, se observó un efecto alcalinizante con valores superiores a los 7,9. (Pedroso & Pentón, 2019) mencionan que durante el proceso de pirólisis y descomposición de la biomasa se remueven lo grupos funcionales ácidos, causando a hidrolisis de sales de calcio, potasio y magnesio en presencia de agua, lo que conlleva a la acidez del biochar.

(Nieto, 2015) en su estudio “*Fabricación, caracterización y utilización de biochar como sustituto de la turba en la preparación de sustratos de cultivo*” indica que la obtención de pH alcalinos depende de la pirolisis y materia prima a utilizar.

4.1.3 Retención de agua

Los tratamientos expuestas a temperaturas cambiantes y la evaporación contrarrestaban los niveles de crecimiento, mientras que los tratamientos con biochar hacían más lenta la deshidratación de las mismas, (Suárez, 2015) manifiesta que la

Humedad libre, hace referencia a la humedad que está presente en la parte externa del biochar, mientras que la humedad ligada es aquella que se encuentra asociada al contenido de agua, (Abenza, 2012) en su trabajo de investigación manifiesta que los tratamientos con biochar procedente de pirólisis lenta, reportan niveles mal altos en la capacidad de retención de agua.

4.1.4 Relación de carbono nitrógeno (C/N), fsforo (P)

El aumento en la disponibilidad de fósforo (P) asimilable en el biochar favorecen a las condiciones del pH ácido, mientras que en pH básicos y neutros el aumento de P no presenta condiciones desfavorables (Suárez, 2015), obteniendo en la presente investigación: fósforo 77,2 ppm y relación C/N 31.81 ,(Molinés, 2015) en su trabajo de investigación “Producción de biochar a partir de purines” manifiesta que le aumento de la relación N/C, así como de la concentración del fósforo, en el biochar indica enriquecimiento en nutrientes.

4.2 Análisis estadísticos y resultados de la germinación de semillas de arveja

Mediante el programa Unititled Past326b se realizó el análisis estadístico de los tratamientos, A (testigo), B (agua desmineralizada y biochar), C (agua desmineralizada y microorganismos), D (microorganismos inmovilizados en biochar).

A continuación es la tabla 5 se muestran los tratamientos A, B, C, D, en cuanto a números de plantas, tamaño mínimo y máximo de las mismas.

Tabla 5: Resultados estadísticos mediante el programa Unititled

	A	B	C	D
N	141	141	141	141
Min	0	0	0	0
Max	3,2	15,2	13,5	16,2
Mean	0,234	4,988	3,212	6,983
Std. Error	0,601	0,505	0,417	0,519
Variance	0,509	36,076	24,542	38,0313
Stand. Dev	0,714	6,006	4,954	6,166
Median	0	0,5	0,4	6,4
Coeff. Var	305,12	120,4	154,2	88,305

Descripción de los parámetros.

N: Es el número de plantas por repetición siendo en este caso 141

Min: Es el número de semillas que no germinaron

Max: Es el tamaño máximo alcanzado por tratamiento, teniendo en la muestra A (testigo) el valor de 3,2 cm, mientras que en la repetición B (biochar y agua desmineralizada), se muestra una altura considerable de 15,2 cm, C (microorganismos y agua desmineralizada) estos obtuvieron una altura de 13,5 cm, por último la repetición D (microorganismos inmovilizados en biochar) mantienen una altura de 16,2 cm, siendo esta la altura máxima de todas la repeticiones antes mencionadas.

Valor medio: En el tratamiento A (testigo) muestra un valor de 0,23 cm, en la repetición B (biochar) un valor de 4,98 cm mientras que en el tratamiento C que corresponde a los microorganismos tenemos un promedio de crecimiento de 3,21 cm, por lo tanto en la repetición D (microorganismos inmovilizados en biochar) un promedio de 6,98 cm tanto en crecimiento como en germinación siendo el mejor tratamiento la repetición D.

Varianza: Son medidas de dispersión de los datos, por lo tanto en el tratamiento D (microorganismos inmovilizados en biochar) existe un dispersión de los datos con un valor de 38,03 cm debido al mayor número de germinación y crecimiento, seguido por la repetición B (biochar) el cual al igual mantiene una pronunciada variación en los datos con un valor de 36,07 dejando así a la repetición C (microorganismos) con un valor menor de variación 24,54 por último la repetición A (testigo) el valor mínimo de 0,50 cm el cual indica la tasa de crecimiento menor.

Desviación estándar: Se puede decir que una desviación estándar baja, indica que los datos tienden agruparse cerca de la media, mientras si existe una desviación estándar alta los datos se extienden sobre un rango de valores mayor elevados como es el caso del tratamiento D, donde se tiene un valor de 6,16 cm indicando mayor número de germinación y tamaño, seguido por el tratamiento B la cual tiene un valor de 6 cm, seguido de la repetición C de microorganismo con un valor de 4,9 cm manteniendo el valor mínimo la repetición A con un valor de 0,71 cm.

Mediana: Por concepto la media, corresponde a la posición central del conjunto de datos, en el tratamiento D (microorganismo inmovilizados en biochar) el cual indica una media de 6,4 cm, siguiendo a ese valor se puede constatar que el tratamiento B (biochar y agua desmineralizada) mantiene un promedio de 0,5 cm seguido del tratamiento C (microorganismos y agua desmineralizada) el cual muestra un estándar de crecimiento de 0,4 cm, terminando así con el tratamiento A (testigo) el cual muestra el mínimo de crecimiento.

En la gráfica 17 se muestran los análisis de varianza a partir de una base de datos, para comparar las medianas entre si, los porcentajes de semillas germinadas en las 24 horas para cada tratamiento (A, B, C, D) pudiendo observar que el tratamiento D es el más

óptimo ya que el valor medio de semillas germinadas, tienden agruparse (desviación estándar), siguiendo el tratamiento B al igual con una cantidad prominente semillas germinadas, terminando con los tratamientos C y A.

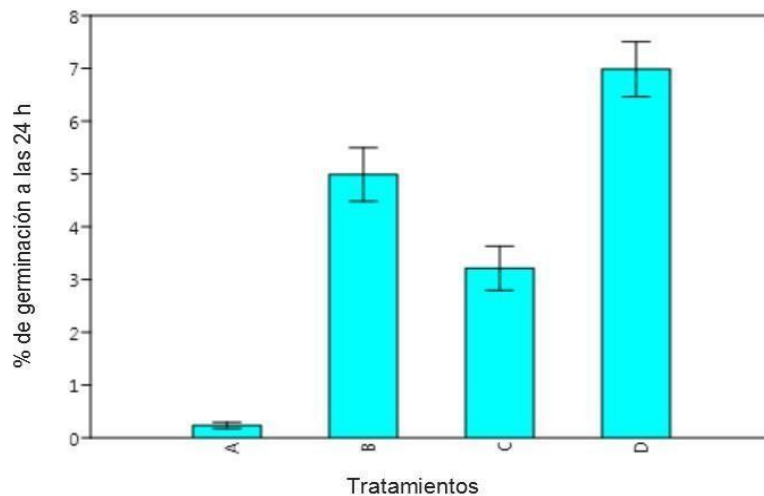


Figura 17: Porcentaje de germinación a los 24 horas

En la figura 18 se observa el inicio de brotes de las semillas a las 96 horas pudiendo observar que el mayor número de semillas con brotes es el tratamiento D, ya que presenta un 94 % de brotes en sus semillas mientras que los otros tratamientos la presencia de brotes aun es limitada dando como resultado la dispersión de datos.

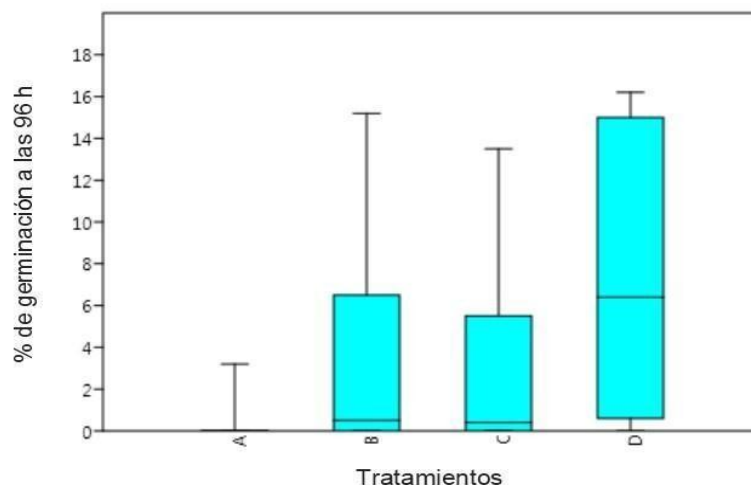


Figura 18: Porcentaje de brotes a las 96 horas

En el gráfico 19 se observa que el boxplot con mayor valor en su mediana es el del tratamiento D, seguido del tratamiento B y C y finalmente el tratamiento A cuyos valores son inferiores a todos los tratamientos utilizados. De igual forma los datos se distribuyen

con sesgo positivo en los tratamientos D y B que nos dice que hay mayor tendencia de acumulación de datos relativamente bajos respecto a su mediana en cada mes respectivamente. Con este gráfico podemos evidenciar que el tratamiento con mejor resultado fue el D.

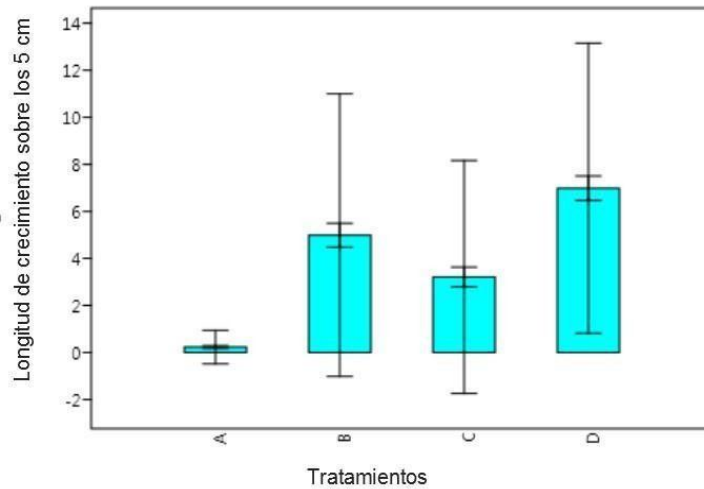


Figura 19: Crecimiento de las plantas sobre los 5 cm

El siguiente de la figura 20 indica el grado de incertidumbre estimado en los diferentes tratamientos utilizados. Los errores están expresados de intervalos de confianza al 95%, para generar las estimaciones de las medias con sus errores. Se puede apreciar que según los intervalos de confianza que el tratamiento D y B se solapan y esto indica que prácticamente estos promedios son muy similares, siguiéndole así el tratamiento C, mientras que, los intervalos de confianza del tratamiento A son muy lejanos a los otros tratamientos resaltando la diferencia entre sus promedios.

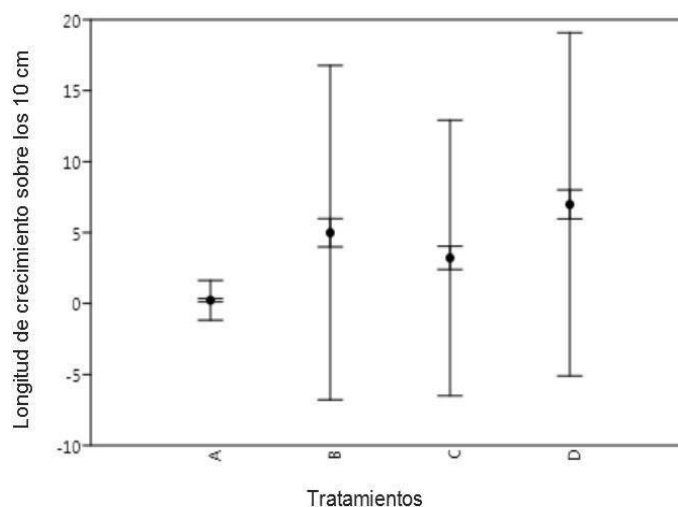


Figura 20: Crecimiento de las plantas sobre los 10 centímetros.1

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se establece las siguientes conclusiones

- La retención de humedad en las partículas de biochar beneficia a las plantas manteniendo una hidratación constante, resultado de gran utilidad en sistemas donde las plantas carecen de suelo y agua.
- La inmovilización de microorganismos benéficos en biochar acelera el crecimiento de brotes en las semillas de arveja lo que se verifica en el tratamiento D.
- Los microorganismos benéficos optimizan la germinación de las semillas, pero disminuye su potencialidad, mientras transcurre el crecimiento de las plantas, ya que disuelto en agua su fácil evaporación es eminente.
- La inmovilización de microorganismos benéficos en biochar resulta un tratamiento muy óptimo, ya que potencializa y minimiza los tiempos germinación y por ende su crecimiento.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

- Aumentar las dosificaciones de microorganismos benéficos en los tratamientos sin sustrato, para optimizar su crecimiento y mantener un nivel de humedad estándar.
- Evaluar los tiempos de crecimiento, floración y producción, en microorganismo benéficos inmovilizados en biochar.
- Inmovilizar microorganismos benéficos en biochar, procedente de biomasa agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abenza, D. P. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta, 1, 111. [https://doi.org/Ciencia y Agricultura,11\(5\),9-100](https://doi.org/Ciencia y Agricultura,11(5),9-100)
- Aker, C. (2014). Evaluación del uso de estufas ecológicas, análisis de la producción y uso del biocarbón como enmienda del suelo en los rendimientos de maíz (*Zea mays*) en tres municipios de León, Nicaragua, 71.
- Alfonso, E., Leyva, A., & Hernández, A. (2005). Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 7(2), 47–54.
- Alfredo, L., & Araque, A. (2013). Caracterización, física, química y nutricional de la arveja (*Pisum sativum*) cultivada en Ecuador, como un aporte y base de estudio para la creación de una norma técnica ecuatoriana (nte 2010) por parte del instituto ecuatoriano de normalización (inen), 185.
- Alvarez, M., Tucta, F., Quispe, E., & Meza, V. (2018). Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria spa.*), 9(1), 33–42. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.04>
- Angst, T. E., & Sohi, S. P. (2013). Establishing release dynamics for plant nutrients from biochar. *GCB Bioenergy*, 5(2), 221–226. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12023>
- Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1–2), 81–84. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.008>
- Augusto, C., López, A., & Ramos, C. (2013). Digestión ruminal de follaje de algarrobo (*Prosopis pallida*) y Faique (*Acacia sp*) según la edad de rebrote.
- Beltrán, M., Bernal, A., Pita, L., & Rocha, Z. (2017). Functional microorganisms in soil with and without revegetation in the municipality of Villa de Leyva-Boyaca. *Colombia Forestal*, 20(2), 158–170. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a05>
- Bernardi, A. (2017). “Relevancia de la información contable en el valor de las acciones de las entidades financieras que cotizan en el mercado de valores de Buenos Aires en el periodo 2012-2014.”

- Camargo, D. F., & Ávila, E. R. (2014a). Efectos del *Trichoderma* sp. Sobre el crecimiento y desarrollo de la arveja (*Pisum sativum* L.). *Ciencia Y Agricultura*, 11(1), 91. <https://doi.org/10.19053/01228420.3492>
- Camargo, D. F., & Ávila, E. R. (2014b). Efectos del *Trichoderma* sp. Sobre el crecimiento y desarrollo de la arveja (*Pisum sativum* L.). *Ciencia y Agricultura*, 11(1), 91–100.
- Camino, C., Espín, S., Samaniego, I., & Carpio, C. (2008). Evaluación de tres cepas introducidas de (*Rhizobium leguminosarum*) en cuatro variedades de arveja (*Pisum sativum*). Para la zona interandinaorganismos. *Iniap*, 12, 10. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Chaves, E. J. (2012). Estadística Adimensional: del dato al gráfico estimado por inducción. <https://doi.org/10.19053/01228420.3492>
- DeLuca, T. H., MacKenzie, M. D., & Gundale, M. J. (2012). Biochar effects on soil nutrient transformations. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, (January), 251–270. <https://doi.org/10.4324/9781849770552>
- Escalante, A, et al. (2016). Biobarbon (Biochar) I Naturaleza, fabricación y uso en el suelo. *Red de Revistas Científicas de América Latina, Volumen 34, Numero3*, 367–382.
- Fiestas, P. (2016). Diversidad de fanerógamas del bosque seco “Jambur”, distrito de Suyo – Ayabaca – Piura, (June), 1–63. <https://doi.org/9780080453705>
- Gilces, M. A. (2014). Efectos de la aplicacion de biochar y cenizas en las propiedades del suelo, 22 pp. <https://doi.org/10.19053/01228420.3492>
- Iglesias, S. F. (2018). Aplicación de Biochar a partir de biomasa residual de Eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano. *Universidad Nacional Agraria La Molina*.
- Jaizme, M., & Rodríguez, A. (2008). Integración de microorganismos benéficos (hongos micorrícicos y bacterias rizosféricas) en agrosistemas de las islas canarias, 33–39.
- Kugler, H., Larjo, A., & Harel, D. (2010). Biocharts : a visual formalism for complex Biological systems, (December 2009), 1015–1024.

- Largo, A. (2019). Estudio de compost a partir de excretas de aves, con aplicación de microorganismos benéficos.
- Lefebvre, D., Cabanillas, F., Román-Dañobeytia, F., Silman, M., & Fernandez, L. E. (2018). Producción y Utilización de Biocarbón, (1).
- Loli, O., & Alegre, J. (2009). Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*pisum sativum*) indicators of sustainability of the soil management in the pea (*pisum sativum*) production, 8(2).
- Lorrayny Lima, S., Marimon-Junior, B. H., Petter, F. A., Tamiozzo, S., Bossi Buck, G., & Marimon, B. S. (2013). Biochar como substituto de matéria orgânica na formação de substratos para mudas. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 35(3), 333–341. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.17542>
- Martínez, A., & Bohórquez, L. (2017). Evaluación de la eficiencia de biochar producido a partir de pirólisis lena de bagazo de caña, como medio filtrante para retención de fenoles en matriz acuosa. *Tesis*, 68.
- Oliver, J. (2013). Microorganismos benéficos y efectivos para una agricultura y medio ambiente sostenible. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pacheco, C., Vergara, M., & Ligarreto, G. (2010). Clasificación de 42 Líneas Mejoradas de Arveja (*Pisum sativum* L.) por Caracteres Morfológicos y Comportamiento Agronómico.
- Parra, P. A. C. (2016). Evaluación Del Uso De Residuos Orgánicos Para La Producción De Biochar Y Su Aplicación Como Enmienda Orgánica. *IOSR Journal of Economics and Finance*, 3(1), 56. <https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000238666>
- Pousette, A., Larsman, P., Hemlin, S., Kauth, M. R., Sullivan, G., Blevins, D., Logan, J. (2014). Efecto del biocarbón en cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) y Manejo biológico del Mal de Panamá (*Fusarium Oxysporum* f.sp cubense) con biocarbón y microorganismos benéficos Por. *Implementation Science*, 39(1), 1–15. <https://doi.org/10.4324/9781315853178>
- Preston, T. R. (2013). El papel del biocarbón en la sostenibilidad y competitividad de sistemas agropecuarios, 26, 304–312.
- Rebolledo, A. E., López, G. P., Moreno, C. H., Collado, J. L., Alves, J. C., Valtierra, E.,

- & Etchevers, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo, 367–382.
- Ricardo, J., Pacheco, G., & Porras, J. C. (2009). Fenología del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L . var . Santa Isabel) en la sabana de Bogotá en campo abierto y bajo cubierta plástica, 10, 5–15.
- Rivera, M. C. (2009). DETECCIÓN DE BACTERIAS BENÉFICAS EN SUELO CON BANANO (*Musa AAA Simmonds*) cultivar ‘Gran enano’ Y SU POTENCIAL PARA INTEGRAR UN *Detection of beneficial bacteria in soils with banana (Musa AAA Simmonds) cultivar ‘ Gran enano ’ and its potential to pre,* 25(3), 253–265.
- Rodriguez, A., Lemos, D., Trujillo, Y. T., Amaya, J. G., & Ramos, L. D. (2019). Effectiveness of biochar obtained from corncob for immobilization of lead in contaminated soil. *Journal of Health and Pollution*, 9(23), 13–21. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.23.190907>
- Romero, G. (2018). “Estado nutricional del pasto guinea (*Panicum maximun jacq*) asociado con faique (*Acacia macracantha*) en un sistema silvopastoril en jaén cajamarca”, 69.
- Rothschuh, D. A. (2013). Efecto del biochar y la inoculación con micorriza y trichoderma en el mejoramiento de la calidad del suelo y el crecimiento de pasto King grass (*Pennisetum purpureum*).
- Salinas, J. (2018). Use of marble sludge and biochar to improve soil water retention capacity, 8(1), 121–129. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2018.V8.N1.08>
- Suppadit, T., Kitikoon, V., Phubphol, A., & Neumnoi, P. (2012). Effect of Quail Litter Biochar on Productivity of Four New Physic Nut Varieties Planted in Cadmium-Contaminated Soil. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(1), 125–132. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392012000100020>
- Terry, E., Leyva, A., & Díaz, M. M. (2005). Uso combinado de microorganismos benéficos y productos bioactivos como alternativa para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*, mill).

- Urien, A. (2013). Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. *Tesis De Máster*, 83.
- Velázquez-maldonado, J., Juárez-lópez, P., Anzaldo-hernández, J., Alejo-santiago, G., Valdez-aguilar, L. A., Alia-tejacal, I.,... Guillén-sánchez, G. A. P. D. (2019). 2 3 4 1, *42*(2), 129–136.
- Velázquez Machuca, M. A., Equihua Soriano, J. R., Venegas González, J., Montañez Soto, J. L., Pimentel Equihua, J. L., & Muñoz Navia, M. (2019). Caracterización física y química de biochar de lodos residuales. *Revista Terra Latinoamericana*, *37*(3), 243. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.409>
- Villacís, L., Zapata, J., León, O., Vásquez, C., Mullo, J., Zapata, A., & Gutierrez, A. (2016). Compatibilidad y sobrevivencia de microorganismos benéficos de uso agrícola (*Beauveria bassiana*, *Bacillus thuringiensis* y *Paecilomyces lilacinus*) en compost. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, *4*(2), 93–99

ANEXOS



Figura 21: Biomasa inicial recogida de la zona urbana de la ciudad de Loja



Figura 22: Muestra de poda forestal del faique.



Figura 23: Horno pirolítico utilizado para la obtención del biochar.



Figura 24: Cilindro externo acondicionado con leña



Figura 25: Proceso de realización del biochar.



Figura 26: Biochar obtenido.



Figura 27: Relación sólida y fase líquida



Figura 28: Las semillas de arvejas con agua des ionizada al tercer día



Figura 29: Microorganismos y agua desmineralizada



Figura 30: Agua desmineralizada y biochar.



Figura 31: Microorganismos inmovilizadores en biochar y agua desmineralizada.



Figura 32: Germinación de semillas en agua desmineralizada



Figura 33: Semillas de arvejas con biochar y agua desmineralizada, con 10 cm de longitud.



Figura 34: Semillas de arvejas con agua desmineralizada y MOBs inmovilizados en biochar, con 2 cm de longitud.

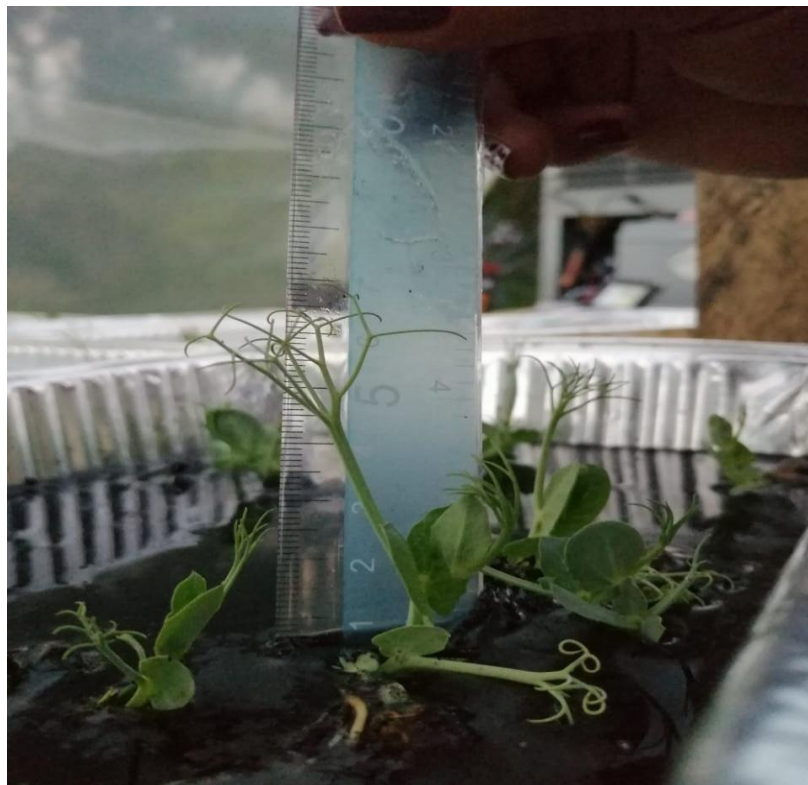


Figura 35: Medición de las plantas



Figura 36: Germinación de semillas en agua desmineralizada, con 5 cm de longitud

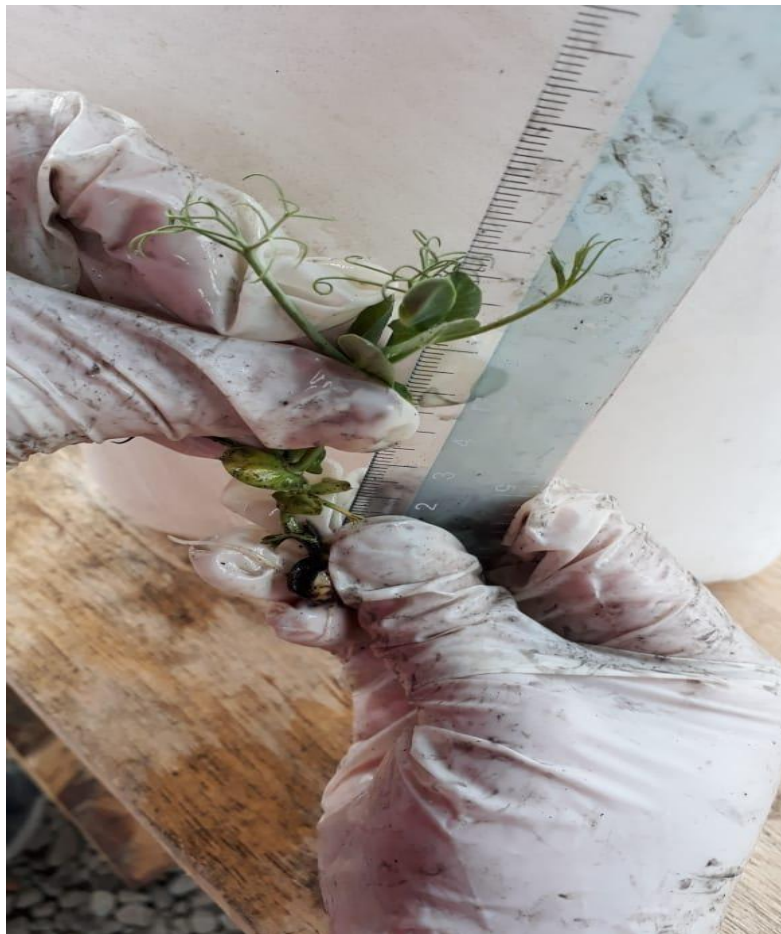


Figura 37: Medición de plantas



Resultados de Análisis de Laboratorio
No. PSL – 1098-ANALISIS DE COMPONENTES

Fecha toma de muestra: 20.01.2020	Fecha laboratorio: 24.01.2020
Solicitado por: Ingra. Dalia Pineda	Responsable: Ingra. Dalia Pineda
Localidad: Cuenca	Localización geográfica: Azuay
Sustrato: Biochar	Lote de Producción: no reportado
Orden de trabajo: PSL 1098	Factura No.: 4411

ANALISIS DE COMPONENTES

RESULTADOS

⌘ MATERIAL ANALIZADO

ITEM	UNIDAD	VALORES
pH	-	8.2
Alcalinidad	ppm (CaCO ₃)	186
Conductividad Eléctrica	mS cm ⁻¹	2.77
Densidad Aparente	g ml ⁻¹	0.331
Materia Orgánica	%	85.5
Carbono Orgánico Total	%	70.3
Oxígeno	%	9.5
Nitrógeno Total	%	2.2
C/N	-	31.81
P	ppm	77.3
K	ppm	955.7

Figura 38: Examen de Laboratorio

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Yo, Delia del Rosario Pineda Espinoza portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0107198277. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "**Incidencia de microorganismos benéficos inmovilizados en biochar sobre la germinación de las semillas de arveja (*pisum sativum*)**" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 09 de junio de 2020



F:
Delia del Rosario Pineda Espinoza
C.I.0107198277