



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**TEMA**

Diferencias de parámetros físico-químicos de suelo en el proceso de restauración por enmiendas de biochar

**AUTORES**

Valeria Alejandrina Villalta Valle  
Erika Janneth Ortega Rivera

**DIRECTOR DE PROYECTO**

MSc. Pedro Damián Ríos Guayasamín

**PUYO - ECUADOR**  
**Febrero 2018**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Las suscritas, **Valeria Alejandrina Villalta Valle** con CI. 210069321-3 & **Erika Janneth Ortega Rivera** con CI. 160064586-3 declaran que los criterios emitidos en el trabajo de investigación: “Diferencias de parámetros físico-químicos de suelo en el proceso de restauración por enmiendas de biochar” como también los contenidos, análisis estadísticos y de laboratorio, resultados y conclusiones son de exclusiva responsabilidad de nuestra parte como autoras de este trabajo de grado. Cedemos nuestros derechos para que la institución pueda hacer uso en lo que estime conveniente, siempre y cuando sea para fines de investigación o de consulta.

---

**Valeria Villalta Valle**

---

**Erika Ortega Rivera**

# **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

En mi calidad de tutor del informe de investigación sobre el tema “Diferencias de parámetros físico-químicos de suelo en el proceso de restauración por enmiendas de biochar” certifico que las egresadas Valeria Alejandrina Villalta Valle & Erika Janneth Ortega Rivera, estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental han realizado el Proyecto de Investigación y Desarrollo previo a la obtención del título.

---

Pedro Damián Ríos Guayasamín. MSc

**DIRECTOR DEL PROYECTO**



# **CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado “DIFERENCIAS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE SUELO EN EL PROCESO DE RESTAURACIÓN POR ENMIENDAS DE BIOCHAR”, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

---

Dr. Carlos Bravo, Ph. D.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

---

Dra. María Adela Valdés, Ph. D.

MIEMBRO DE TRIBUNAL

---

MSc. Marco Heredia

MIEMBRO DE TRIBUNAL

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme vida, salud y fortaleza, porque me dio fuerzas aun cuando yo creía que ya no podía avanzar, a mi madre Rosa por ser quien ha estado conmigo en todo momento apoyándome, impulsándome y motivándome a seguir, pero sobre todo por su amor incondicional.

A mis hermanos(a) Narciza, José, Xavier y Andrés por apoyarme en todos los proyectos emprendidos, ya que con ustedes he compartido los caminos más felices y han estado conmigo aun en los momentos más difíciles de mi carrera, a mi sobrina(o) Génesis y David por sus detalles y amor que me han brindado en todos estos años.

Le agradezco a mis abuelos Clara y Luis, a mi tío Marcelo por darme fuerzas y apoyarme en mis estudios.

A mi novio por estar a mi lado, apoyarme y creer en mí.

Le agradezco a mi tutor el ing. Pedro Ríos por ser paciente y saber dirigirme en esta investigación, muchas gracias por su voluntad y su tiempo.

Le agradezco a mi compañera de proyecto Valeria Villalta por estar conmigo en todos los años de estudio universitario y en cada fase del proyecto y estar ahí para apoyarme en todo lo que fue necesario para la realización de esta investigación, fueron muchas experiencias que por siempre recordaré.

Finalmente me gustaría agradecer a mis profesores compañeros amigos y amigas por su amistad y conocimientos compartidos a lo largo de mi carrera.

**Erika Ortega**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme vida, salud y fortaleza, porque me dio fuerzas aun cuando yo creía que ya no podía avanzar, a mis padres Manuel & Isabel por ser mi roca fuerte y que han estado conmigo en todo momento apoyándome y motivándome a seguir, pero sobre todo por su amor incondicional sin ustedes nada de esto sería posible.

A mis hermanos Verónica, Medardo, Carlos, José, Piedad, Marco, y Luis por apoyarme en todos los proyectos emprendidos, ya que con ustedes he compartido los caminos más felices y han estado conmigo aun en los momentos más difíciles de mi carrera, a mi sobrina Anahí por sus detalles y cariño que me brindo todos estos años.

A la Señora Francisca Barrera por ser como una segunda madre para mi durante estos cinco años de estudios, fue la persona indicada para darme esa fuerza y coraje, sus consejos y apoyo fue muy importante y valioso para mí ya que cuando estaba enferma y sola ella me extendió su mano y me ayudó a seguir.

Le agradezco a mi tutor el ing. Pedro Ríos por ser paciente y saber dirigirme en esta investigación, muchas gracias por su voluntad y su tiempo.

Le agradezco a mi compañera de proyecto Erika Ortega por estar conmigo en cada fase del proyecto y estar ahí para apoyarme en todo lo que fue necesario para la realización de esta investigación, fueron muchas experiencias que por siempre recordaré.

Finalmente me gustaría agradecer a mis profesores compañeros amigos y amigas por su amistad y conocimientos compartidos a lo largo de mi carrera.

**Valeria Villalta Valle**

## **DEDICATORIA**

Mi proyecto se lo dedico primeramente a Dios y a mi madre Rosa por apoyarme en todo momento y amarme tal cual soy, por creer en mí.

A mis hermanos(a) por estar siempre a mi lado, por apoyarme siempre y por darme las fuerzas para no desistir.

**Erika Ortega**

Mi proyecto se lo dedico primeramente a Dios y a mis padres Manuel & Isabel por ser los protagonistas de mi historia, por apoyarme y amarme tal cual soy, por creer en mí.

A mis hermanos por estar a mi lado y me han dado fuerzas para seguir adelante.

A mi novio que es mi inspiración y mi sostén, que con su amor me inspira a ser mejor cada día.

A la persona que será lo más importante en toda mi vida, que fue mi motivación para terminar mi proyecto y que desde ahora le dedicaré todos mis triunfos.

**Valeria Villalta Valle**



## RESUMEN

El cambio del uso del suelo y su degradación son responsables de alrededor del 20% de las emisiones mundiales de carbono, existen técnicas para contrarrestar la degradación del suelo ayudando a recuperar la fertilidad y secuestrar carbono como la aplicación de biochar que proviene de la pirólisis de biomasa residual. El presente estudio fue realizado en el Centro Investigación y Conservación Amazónica (CIPCA), con el objetivo de evaluar el proceso de restauración del suelo por enmiendas de biochar, mediante el análisis de parámetros físico-químicos. Para el análisis de los parámetros se siguió las siguientes metodologías: para materia orgánica la técnica de calcinación, para densidad aparente se calculó en base a la relación entre el peso seco del suelo por el volumen del cilindro, la medición del pH se realizó con un pHmetro calibrado y para conductividad eléctrica se realizó por pasta saturada. La aplicación de biochar aumento ligeramente la densidad aparente en el mes de noviembre con una diferencia de  $0,03 \text{ g/cm}^3$ , el pH aumentó con un promedio de 4,30 en el segundo muestreo, la materia orgánica fue mayor en noviembre con 37,35%, la conductividad eléctrica fue más baja en el segundo muestreo, el biochar ocasiono cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo siendo estos cambios positivos y siendo un suelo apto para la producción silvícola.

**Palabras clave:** Biochar, enmienda orgánica, parámetros físico-químicos, restauración del suelo.

## **ABSTRACT**

The change in land use and its degradation are responsible for around 20% of global carbon emissions, there are techniques to counteract soil degradation by helping to recover fertility and sequester carbon as the application of biochar that comes from the pyrolysis of residual biomass. The present study was carried out in the Amazonian Research and Conservation Center (CIPCA), with the objective of evaluating the soil restoration process by biochar amendments, through the analysis of physico-chemical parameters. For the analysis of the parameters, the following methodologies were used: for organic matter the calcination technique, for bulk density was calculated based on the relationship between the dry weight of the soil by the volume of the cylinder, the pH measurement was carried out with a Calibrated pHmeter and for electrical conductivity was performed by saturated paste. The application of biochar slightly increased the apparent density in the month of November with a difference of 0.03 g / cm<sup>3</sup>, the pH increased with an average of 4.30 in the second sampling, organic matter was higher in November with 37, 35%, the electrical conductivity was lower in the second sampling, the biochar caused changes in the physical and chemical properties of the soil, these changes being positive and being a suitable soil for silvicultural production.

**Keywords:** Biochar, organic amendment, physical-chemical parameters, soil restoration.

# ÍNDICE

<b>1. CAPÍTULO I.....</b>	<b>15</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4 OBJETIVOS .....	18
1.4.1 OBJETIVOS GENERAL.....	18
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>2 CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>19</b>
2.1 DEFINICIÓN Y ORIGEN DEL BIOCHAR.....	20
2.2 FUENTES DE PRODUCCIÓN DE BIOCHAR.....	20
2.3 PRODUCCIÓN DE BIOCHAR.....	21
2.4 CARACTERÍSTICAS DEL BIOCHAR.....	22
2.5 BIOCHAR Y CAMBIO CLIMÁTICO.....	22
2.6 BIOCHAR COMO ENMIENDA DE SUELOS.....	24
2.7 RESTAURACIÓN DE SUELOS CON BIOCHAR .....	24
2.8 SUELOS DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA.....	25
2.8.1 DEGRADACIÓN DEL SUELO EN LA AMAZONÍA.....	26
<b>3 CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>27</b>
3.1 LOCALIZACIÓN.....	28
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	28
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.4 MATERIALES Y EQUIPOS.....	29
3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.5.1 TOMA DE MUESTRAS.....	29
3.6 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	30
3.6.1 METODOLOGÍA PARA MATERIA ORGÁNICA.....	30
3.6.2 METODOLOGÍA DE DENSIDAD APARENTE.....	31
3.6.3 METODOLOGÍA DE pH.....	31
3.6.4 METODOLOGÍA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	32
3.6.5 TRATAMIENTO DE DATOS.....	32
<b>4 CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>33</b>
4.1 DENSIDAD APARENTE .....	34
4.2 Ph.....	37
4.3 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....	40
4.4 MATERIA ORGÁNICA.....	43

<b>5</b>	<b>CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>49</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>56</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1** Ejemplos de recursos de biomasa para la producción de biochar

**Tabla 2.** Prueba de T-student para densidad aparente con muestras independientes en el lugar, con las variables: fecha, parcela y enmienda

**Tabla 3.** Prueba de T-student para pH con muestras independientes en el lugar, con las variables: fecha, parcela y enmienda

**Tabla 4.** Prueba de T-student para conductividad eléctrica con muestras independientes en el lugar, con las variables: fecha, parcela y enmienda

**Tabla 5.** Prueba de T-student para materia orgánica con muestras independientes en el lugar, con las variables: fecha, parcela y enmienda

# ÍNDICE DE GRÁFICOS

**Gráfico 1:** Productos de la pirólisis

**Gráfico 2.** Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera

**Gráfico 3.** Principales efectos del biochar sobre el suelo

**Gráfico 4.** Ubicación del área de estudio, CIPCA.

**Gráfico 8.** Diagrama de caja y bigote de la variación de densidad aparente en las unidades muestrales de los meses de julio y noviembre.

**Gráfico 9.** Medias de pH para variables independientes: fechas, parcela y unidad muestral.37

**Gráfico 10.** Diagrama de caja y bigote de la variación de pH en las unidades muestrales de los meses de julio y noviembre.

**Gráfico 11.** Medias de conductividad eléctrica para variables independientes: fechas, parcela y unidad muestral.

**Gráfico 12.** Diagrama de caja y bigote de la variación de materia orgánica en las unidades muestrales de los meses de julio y noviembre.

**Gráfico 13.** Medias de materia orgánica para variables independientes: fechas, parcela y unidad muestral.

**Gráfico 14.** Diagrama de caja y bigote de la variación de materia orgánica en las unidades muestrales de los meses de julio y noviembre.

# **CAPÍTULO I**

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Los suelos son fundamentales para la vida en la Tierra, porque cumplen funciones como seguridad alimentaria, regulan los ciclos hidrológicos y la calidad ambiental. Pero las presiones humanas sobre el recurso suelo está llegando a límites críticos, por ello las consecuencias son de similar trascendencia que las de calentamiento global y pérdida de biodiversidad estando íntimamente relacionados (Sentís, 2006).

Según la FAO & GTIS en el 2016, una de las principales amenazas de la degradación del suelo es la pérdida de carbono orgánico almacenado en el suelo debido principalmente a dos factores: la conversión del carbono del suelo en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o metano (CH<sub>4</sub>), siendo ambos gases de efecto invernadero, y la pérdida de carbono del suelo por la erosión este último a la vez es ocasionado principalmente por la deforestación.

El cambio del uso del suelo y su degradación son responsables de alrededor del 20% de las emisiones mundiales de carbono, a su vez el 25% del área terrestre del planeta está altamente degradada o presenta altos índices de degradación por lo que se estima que durante los últimos 40 años se ha perdido alrededor de un tercio del suelo cultivable mundial y continúa perdiéndose una media de más de 10 millones de hectáreas por año (FAO, 2011).

La degradación del suelo contribuye al incremento de los gases de efecto invernadero, actualmente la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera (principalmente CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y óxidos de nitrógeno) sigue aumentando, debido principalmente al uso de combustibles fósiles, lo que acelera el calentamiento global y está alterando el clima a escala global (Prieto, 2016).

La agricultura y actividades asociadas generan al año entre el 10 y el 12 % de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub>, junto con la mayoría de las emisiones de óxidos de nitrógeno procedentes de la actividad microbiana del suelo (nitrificación y desnitrificación) y del uso excesivo de fertilizantes nitrogenados (Davidson, *et al.* 2009; Smith *et al.* 2014). Es por tanto necesario aportar mejoras para promover una agricultura sostenible a largo plazo. La implementación de técnicas agronómicas más sostenibles es fundamental para evitar y reducir fenómenos de contaminación y emisiones gaseosas, mitigar el cambio climático y mejorar la calidad del suelo y el rendimiento de los cultivos.



Restaurar el suelo de ecosistemas degradados tiene el potencial de almacenar más de 3.000 millones de toneladas de carbono al año, lo que equivale a almacenar más del 30% de las emisiones de combustibles fósiles anuales de CO<sub>2</sub> (Schwartz, 2014).

Existen técnicas para contrarrestar la degradación del suelo ayudando a recuperar la fertilidad y secuestrar carbono como la aplicación de biochar que proviene de la pirólisis de biomasa residual que genera cambios positivos en el suelo, favoreciendo sus propiedades físicas y químicas y el crecimiento de los cultivos. También contribuye a disminuir el impacto del cambio climático, ya que el carbono puede permanecer por largo tiempo en el suelo sin regresar a la atmósfera, el biochar puede jugar un papel importante en la agricultura, ya que tiene el potencial de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, actuando como sumidero de carbono (Ippolito, *et al.*, 2011).

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Los suelos que se encuentran dentro del Centro Investigación y Conservación Amazónica (CIPCA) poseen problemas de deforestación, pérdida de biomasa y hojarasca, por lo que dificulta las buenas prácticas forestales y ponen en peligro el desarrollo de especies forestales con potencial industrial, por lo que amerita tomar medidas de restauración para mejorar la calidad del suelo.

## **1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.**

La aplicación de biochar permitirá mantener y mejorar las condiciones físicas y químicas lo que facilitará la restauración en estas condiciones.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVOS GENERAL**

Evaluar el proceso de restauración del suelo por enmiendas de biochar mediante el análisis de parámetros físico-químicos.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la variación de pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, materia orgánica en suelos con enmiendas de biochar a cuatro meses de su implementación.
- Interpretar el avance del proceso de recuperación de suelos a cuatro meses, basados en parámetros físico-químicos de suelo.

## **CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2.1 DEFINICIÓN Y ORIGEN DEL BIOCHAR.**

El biochar es un producto rico en carbono obtenido de la descomposición térmica de distintos tipos de biomasa bajo un aporte de oxígeno limitado y bajas temperaturas. Esta definición también podría resultar útil para el carbón vegetal ya que también es rico en carbono y es utilizado para producir energía, la diferencia entre el carbón y el biochar es el destino para el que fueron creados por lo que se emplea el término biochar cuando la materia orgánica es empleada para mejorar las propiedades del suelo (Cueto, 2016).

El interés que en los últimos años ha generado el biochar surge a partir del estudio de los denominados suelos “ terra preta do indio ” (suelos de tierra oscura y de origen antropogénico) siendo el resultado de la modificación química y mineral del suelo original, como consecuencia de las actividades de las culturas indígenas que habitaban la región antes de la llegada de los europeos, en estos suelos el horizonte superior con residuos de carbón forma estratos de unos 50 cm de grosor, pudiendo alcanzar los 2 m de profundidad en algunos casos (Gardi *et al.*, 2014).

El interesante redescubrimiento del conocimiento de los indígenas, ha dado ideas fundamentales e información básica importante sobre el funcionamiento de los suelos desde una visión general, y sobre los efectos del biochar en particular ( Oses , 2012).

## **2.2 FUENTES DE PRODUCCIÓN DE BIOCHAR.**

Actualmente la biomasa es una fuente renovable importante en especial para los países en vías de desarrollo, el uso de la biomasa es de gran interés ya que estos países tienen una economía basada en gran medida en la agricultura y la silvicultura, para países agrícolas y en vías de desarrollo el aprovechamiento de los residuos de cosechas puede resultar muy beneficioso (Sukiran *et al.*, 2011).

El biochar se puede producir por tratamiento térmico (pirólisis) de diferentes materias orgánicas de biomasa virgen que derivan tanto de plantas y árboles como de residuos agrícolas o forestales y también de los recursos de biomasa no vírgenes que incluyen biomateriales que han sido sometidos a un procesamiento físico o químico. Estos incluyen desechos de madera o alimentos, así como lodos de depuración. La **tabla 1** lista una variedad de ejemplos de recursos de biomasa de acuerdo a estas dos categorías (Ibarrola, Evar, & Reay, 2013).-

**Tabla 1** Ejemplos de recursos de biomasa para la producción de biochar

Recursos de biomasa virgen	Recursos de biomasa no virgen
Residuos de la agricultura (cáscara de arroz, residuos de maíz, residuos de café, etc.)	Lodos de depuración/depuradora de las plantas de tratamiento de aguas residuales
Residuos forestales	Abono
Estiércol	Lodos de la producción de papel
Astillas o pelets de madera	Desechos de madera de la industria de la Construcción
Paja	Desechos alimenticios, Bagazo de la producción de azúcar

FUENTE: (Ibarrola, Evar, & Reay, 2013)

### 2.3 PRODUCCIÓN DE BIOCHAR.

La producción de biochar se lleva a cabo por el proceso de pirólisis principalmente y en menor grado en el proceso de gasificación. La pirólisis es la descomposición termo-química de una sustancia orgánica por calentamiento en ausencia de oxígeno consiste en transformar los materiales orgánicos en tres componentes diferentes: syngas/gas, bioaceite/bio-oil y char/biochar, respectivamente **Gráfico 1** en diferentes proporciones, dependiendo tanto de la materia prima como de las condiciones de pirólisis utilizadas (Rosas, 2015).



**Gráfico 1:** Productos de la pirólisis

FUENTE: (Rosas, 2015)

El biochar se puede obtener a un rango de temperaturas muy amplio (350-600°C) a 600°C tienen mayor porosidad (consecuencia de la volatilización de los compuestos orgánicos, dejando en su lugar aire) y la adsorción de moléculas es mayor frente al obtenido a 400°C.

Las mezclas de suelo con biochar producido por pirólisis lenta son menos mineralizables en comparación a la materia orgánica de las mezclas de suelo y biochar de pirólisis rápida

Los biochars de baja temperatura (250-400 °C) mantienen en su composición más grupos CH, C = O, -OH fenólico y aromático que pueden servir como sitios de intercambio iónico. Esto se debe a que temperaturas demasiado altas pueden destruir estos grupos Sin embargo, se ha podido comprobar que biochar obtenido a 600°C es capaz de reducir más las emisiones de CO<sub>2</sub> desde el suelo en comparación con los obtenidos a 400°C por su grado de aromatización y porosidad (Milian , 2015).

## **2.4 CARACTERÍSTICAS DEL BIOCHAR.**

El biochar es un subproducto único debido a dos características: alta capacidad para retener nutrientes y su alta estabilidad, aportando beneficios medioambientales como la mejora de la calidad del suelo, la mitigación del cambio climático y la reducción de la contaminación ambiental (Curiel, 2016).

Los biochars poseen un contenido elevado de C recalcitrante lo que le confiere su elevado potencial de secuestro de C también cabe destacar la presencia de nutrientes asociados a su fracción mineral (K, Ca, Mg, P, S, etc.). La mayoría de los biochars son alcalinos (pH > 7) en general, los biochars son materiales porosos, poco densos, y caracterizados por una elevada área superficial específica esta propiedad determina la reactividad y la capacidad del biochar para retener iones en su superficie (Olmo, 2016).

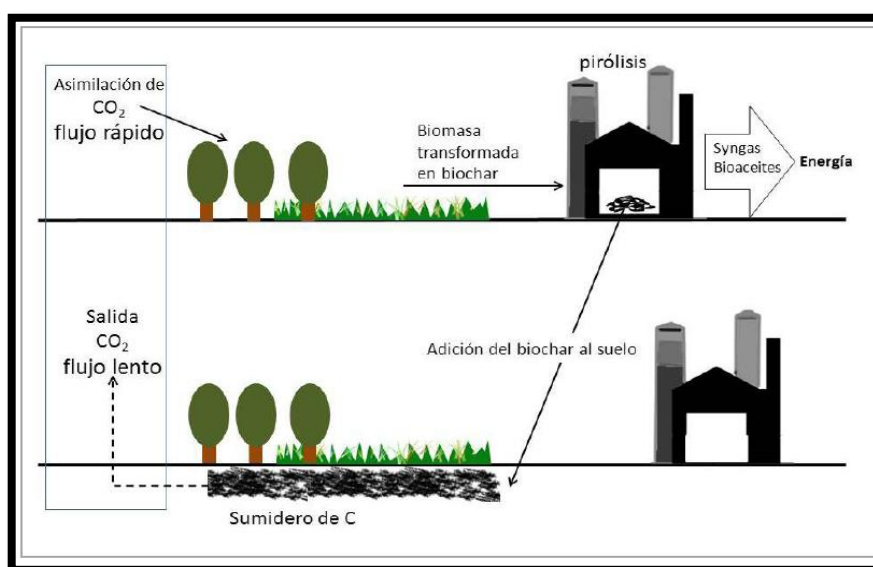
## **2.5 BIOCHAR Y CAMBIO CLIMÁTICO.**

La aceptación de una situación de cambio climático alarmante a nivel mundial recae directamente sobre el hombre (Mendez, 2017). La agricultura es la actividad que contribuye a la formación de gases de efecto invernadero (GEI) siendo esta la que más aporta al cambio climático (Sohi *et al.*, 2009), por ello hoy en día se ha de apostar por medidas y soluciones que no comprometan el futuro de las generaciones venideras, siguiendo el concepto de desarrollo sostenible.

En este ámbito se abre paso al uso del biochar como un material que brinda beneficios a los suelos (Mendez, 2017). Cuando se aplica biocarbón al suelo, dado que el carbono está en forma recalcitrante, tarda mucho tiempo en degradarse por lo que se puede considerar como un factor inhibidor del cambio climático (Granatstein *et al.*, 2009).

Según Rondon *et al.*, (2005) el biochar se puede emplear como una herramienta para el almacenamiento de carbono en suelos a largo plazo, para incrementar la fertilidad de estos, además de constituir un elemento importante para la mitigación del cambio climático. La producción sostenible de biochar que posteriormente se aplica a los suelos supone una contribución en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, de forma que según recoge (Mendez, 2017)

Mediante el análisis del ciclo de vida del biocarbón se ha podido demostrar que puede reducir las emisiones de GEI (**Gráfico 2.**), en diversas magnitudes, lo que depende del tipo de materia prima y de los sistemas de pirólisis empleados para producirlo (Escalante, *et al.*, 2016).



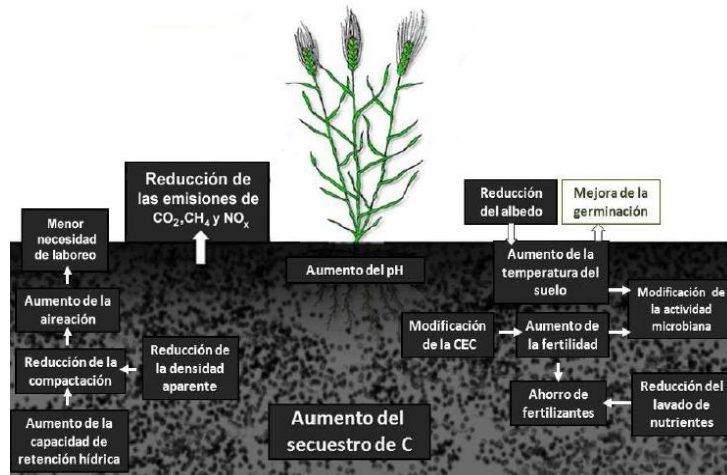
**Gráfico 2.** Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera

FUENTE: (Escalante *et al.*, 2016).

Como señala Verheijen *et al.*, (2010) el biochar ha de ser considerado como una estrategia que ha de complementarse con otras herramientas de mitigación del cambio climático y no ser considerada, como una única alternativa para afrontar el difícil objetivo de reducir las emisiones de los GEI.

## 2.6 BIOCHAR COMO ENMIENDA DE SUELOS.

Las propiedades del biochar lo convierten en un producto interesante como enmienda de suelos. El **Gráfico 3** muestra los principales efectos observados del biochar sobre las propiedades del suelo. Estos cambios incluyen la reducción de su densidad aparente, el aumento de su capacidad de retención de agua, aumento de la porosidad y la mejora de su estructura (Prieto, 2016).



*Gráfico 3. Principales efectos del biochar sobre el suelo.*

FUENTE: (Prieto, 2016).

El biochar le atribuye al suelo un color oscuro que beneficia la absorción de las radiaciones solares y reducir el albedo, aumentando su temperatura. Este aumento podría reducir la humedad, pero este efecto parece estar compensado por la alta capacidad de retención de agua del biochar (Genesio *et al.* 2012).

## 2.7 RESTAURACIÓN DE SUELOS CON BIOCHAR

La mejora del suelo es necesaria hoy en día en muchos lugares de la tierra se ha empezado a gestionar la creación, por así decirlo de suelos sostenibles incluyendo técnicas de mantenimiento. El biochar es un producto que posibilita las prácticas sostenibles en los agroecosistemas, ya que incrementa la fertilidad del suelo y la eficiencia del uso de nutrientes (Stocking, 2003).

El biochar también disminuye el impacto ambiental en los recursos hídricos del suelo (Robertson & Swinton 2005). El biochar favorece también la productividad del suelo, es decir que, al mejorar las características fisicoquímicas y microbiológicas de éste, aumenta



su fertilidad (Fowles, 2007). Según Kuzyakov *et al* (2009) al biochar está relacionado con la disponibilidad de carbono en el suelo, el aumento del pH y la retención de agua. Por otro lado, en un estudio realizado en Chimborazo-Ecuador, el biochar permite aumentar pH, densidad aparente, materia orgánica, P, N, K, Humedad y carbón orgánico (Fiallos *et al.*, 2015).

En otro estudio realizado en España sobre recuperación de un suelo de mina de cobre con enmiendas orgánicas: compost - biochar versus tecnosol - biochar, los resultados mostraron que la adición de ambas enmiendas aumentó el pH y las concentraciones de C y N en el suelo (Rodríguez-Vila, *et al.*, 2015).

Según Amonette *et al* (2007) estimaron la reducción de las emisiones de C que se lograrían con la producción y la adición al suelo de biochar. Según este estudio, a nivel terrestre son fijadas por la fotosíntesis 60 gigatoneladas (Gt= 10<sup>9</sup> t) de C atmosférico cada año, un 10 % de la biomasa (6 Gt de C) se usase para producir biochar se secuestrarían 3 Gt de C año<sup>-1</sup> en el suelo y evitaría la emisión 1.8 Gt de C año<sup>-1</sup> de origen fósil.

Algunas revisiones bibliográficas han demostrado que el biochar puede mejorar las características del suelo donde se adiciona; aumento de la porosidad del suelo que puede mejorar su capacidad de infiltración y su permeabilidad (Abel *et al.*, 2013), contribuyendo positivamente al desarrollo de la raíz y a la respiración microbiana y favoreciendo el intercambio gaseoso y las condiciones de oxigenación (Glaser *et al.*, 2002).

Gilses realizó un estudio en el año 2014 y obtuvo resultados significativos al aplicar biochar y cenizas en el suelo ácido, la adición de biochar provocó diferencias significativas en la velocidad de mineralización de potasio (k), obteniéndose valores significativamente altos este hecho posiblemente sea debido a que la adición tanto de las cenizas como del biochar al suelo ácido origina un incremento de pH que pasa de 4,8 a más de 5,0 lo cual mejora las condiciones en las que se van a encontrar los microorganismos del suelo y por lo tanto se incrementa su actividad.

## **2.8 SUELOS DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA.**

La Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), comprende el 2 % de la cuenca del río Amazonas, con una extensión territorial de 116.441 Km<sup>2</sup>. Representa en superficie la región natural más grande del Ecuador con aproximadamente el 45 % del territorio Nacional (Bravo *et al.* 2015).

Los bosques amazónicos vienen siendo transformados por presiones asociadas a formas de uso del suelo que degradan los ecosistemas terrestres y acuáticos (RAISG, 2012).

El suelo de mayor predominancia es el Inceptisol (43%) son suelos minerales con un incipiente desarrollo de horizontes pedogenéticos (presentan uno o más horizontes de alteración o concentración) (Calvache, 2014).

### **2.8.1 DEGRADACIÓN DEL SUELO EN LA AMAZONÍA.**

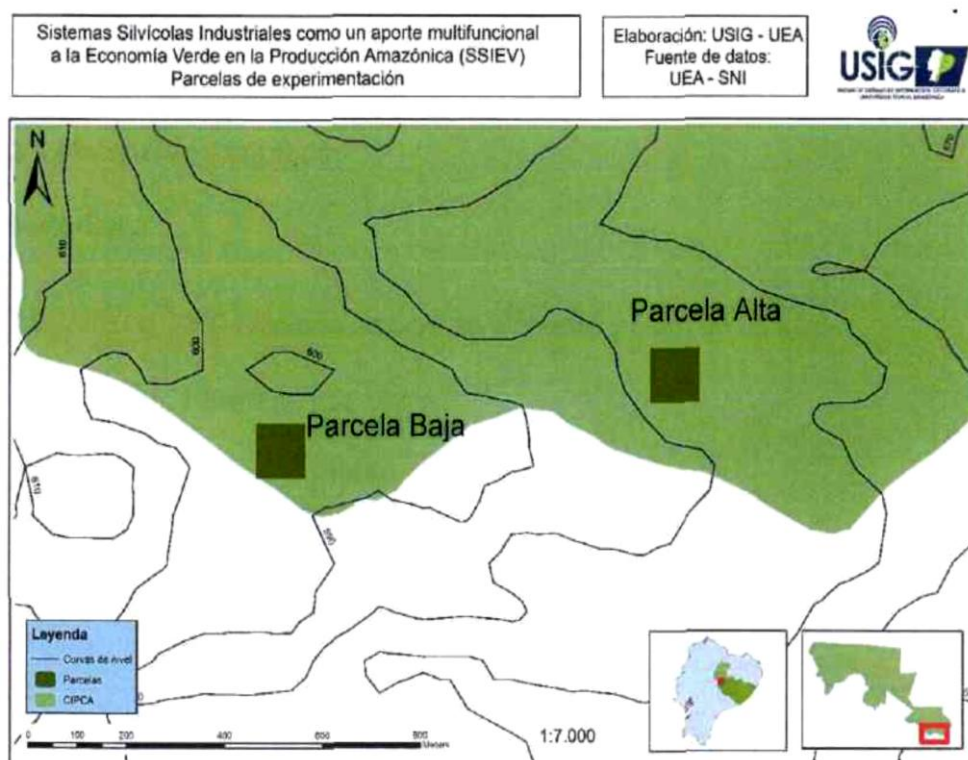
Los problemas ambientales con relación a la degradación del suelo básicamente se reducen en dos procesos: procesos erosivos, y pérdida de calidad del suelo por acción contaminante (Puentestar, 2015). Según Manrique (2005) la degradación del suelo puede deberse a tres causas: sobreutilización, subutilización o cambio de uso, y comprende la alteración de las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo.

El suelo ha sido considerado un recurso estratégico, sin embargo, enfrenta grandes presiones en su rol para proveer alimento, muestra tendencias al deterioro, sin embargo, al ser declarado estratégico se puede esperar el amortiguamiento de los impactos generados por las actividades humanas, o al menos se espera que se incremente el número de suelos remediados (Puentestar, 2015).

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.**

### 3.1 LOCALIZACIÓN.

El presente estudio fue realizado en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación de la biodiversidad Amazónica (CIPCA) el mismo que se encuentra ubicado, en la Provincia de Napo, Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Parroquia Carlos Julio Arosemena Tola, en el kilómetro 44 de la vía Puyo – Tena; su altitud es de 580 a 1120 m.s.n.m (CIPCA , 2012). La parcela alta está ubicada a unos 150 m en línea recta del río Piatúa y la Parcela baja a unos 10 m del río Piatúa, el tipo de suelo es franco arenoso-arcilloso (Silva, 2015).



*Grafico 4. Ubicación del área de estudio, CIPCA.*

Fuente: Silva, 2015

### 3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El proyecto se orientó hacia tres tipos de investigación:

- ✓ Exploratoria: se basó en la revisión de literatura y se tomó como referencia, análisis de los mismos parámetros que se estudió.
- ✓ Descriptiva: en este tipo de investigación se describió los parámetros físicos del suelo de las parcelas altas y bajas del CIPCA.
- ✓ Experimental: se analizaron los parámetros físicos y químicos del suelo en el laboratorio.

### **3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.**

El presente proyecto se basó en dos métodos de investigación los cuales son:

- Método analítico
- Método comparativo

### **3.4 MATERIALES Y EQUIPOS.**

#### **MATERIALES DE CAMPO**

Se utilizaron los siguientes materiales de campo:

- 4 palas
- 6 machetes
- 2 Libreta de campo
- 3 Marcadores permanentes
- 8 cajitas de funda ziploc
- 
- 1 Cámara fotográfica
- 3 cilindros de 5 cm de diámetro y 5cm de altura
- 2 lonas
- 2 lápices

#### **MATERIALES DE LABORATORIO**

- Agua destilada
- Vasos de precipitación de 250 ml
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Pipeta graduada
- 25 Crisoles
- Frascos con tapa de rosca
- 2 kitsatos
- Desecador
- 2 varillas de agitación
- 2 espátulas
- 4 embudos de porcelana

#### **EQUIPOS DE LABORATORIO**

- Mufla
- Estufa
- Bomba de vacío
- Phmetro
- Balanza analítica
- Conductímetro

### 3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 3.5.1 TOMA DE MUESTRAS.

Se realizaron dos muestreos sistemáticos compuestos, con una diferencia de tiempo de cuatro meses entre muestreos en 2 parcelas (alta y baja), las mismas que tienen suelo con tratamiento de enmiendas de biochar manufacturado e industrializado y sin tratamiento (Gráfico 5 y 6).

- ✓ Se tomaron 144 muestras compuestas para los dos muestreos (julio y noviembre) a una profundidad de 5 cm (Anexo 1 y 2).
- ✓ con un cilindro se tomaron 144 muestras en las dos parcelas para la densidad aparente en el centro de cada punto de muestreo para los dos muestreos, y se guardó la muestra en fundas ziploc.

RIO PIATÚA

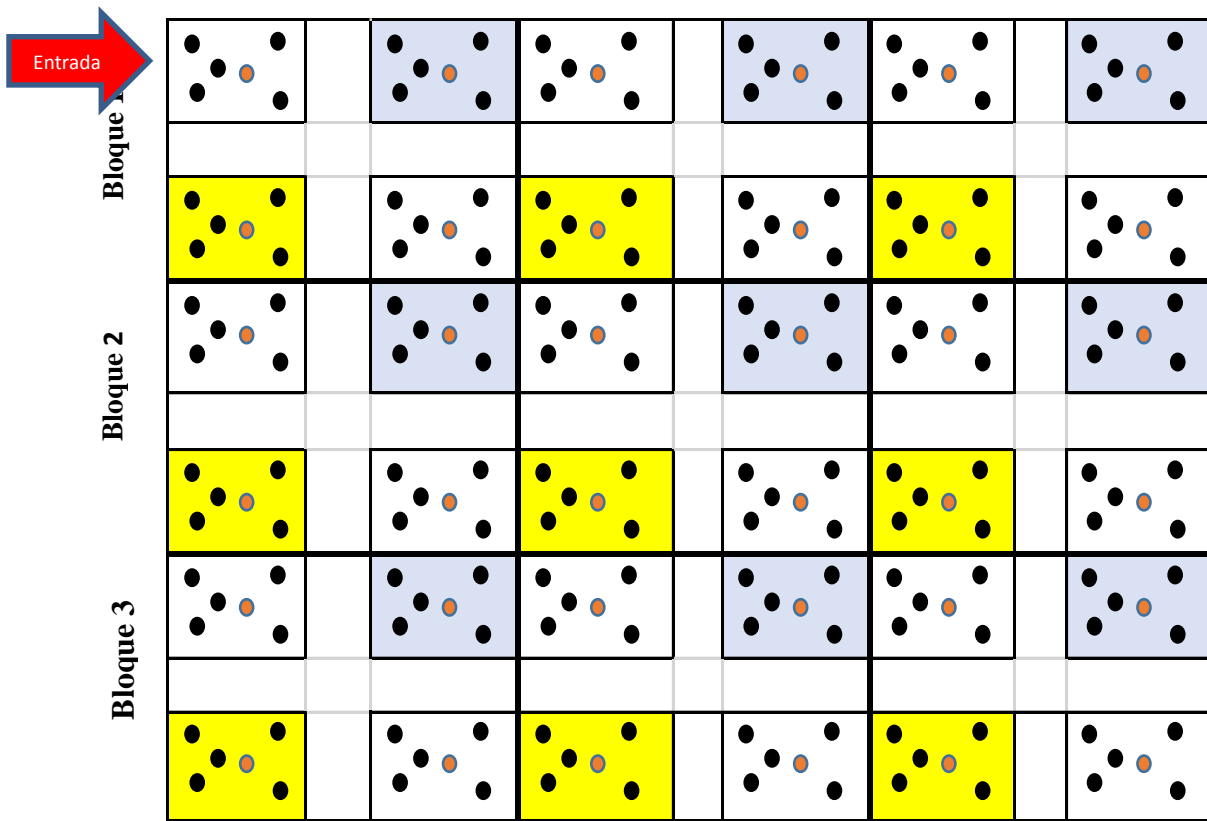
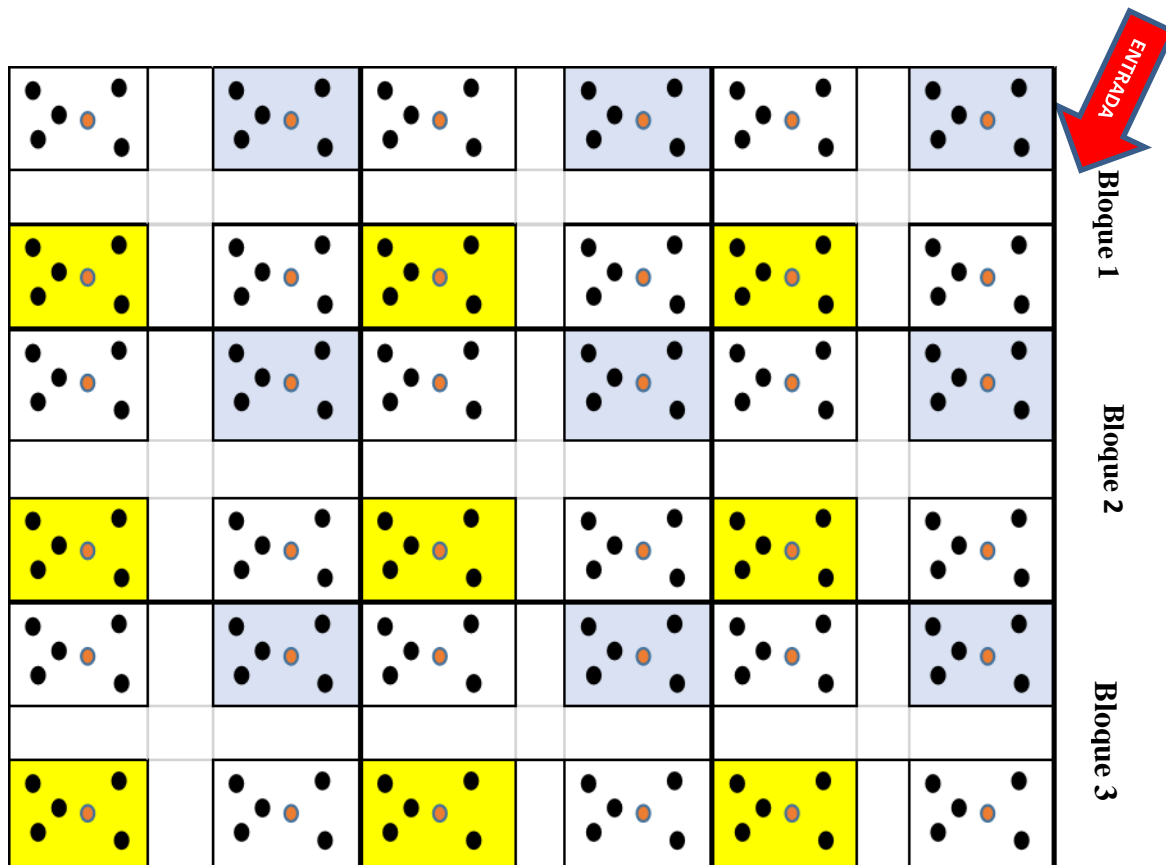


Gráfico 5. Parcela Baja de experimentación establecida dentro del CIPCA

Suelo sin tratamiento ; Suelo con enmienda de biochar manufacturado ;  
 Suelo con enmienda de biochar industrializado ; Puntos de muestreo ● ●



*Gráfico 6. Parcela Alta de experimentación establecida dentro del CIPCA*

Suelo sin tratamiento ; Suelo con enmienda de biochar manufacturado   
 Suelo con enmienda de biochar industrializado ; Puntos de muestreo ● ●

## PREPARACION DE MUESTRAS

- ✓ Recepción de las muestras en el laboratorio de Ecología Tropical natural y aplicada (LETNA) (**Anexo 3**).
- ✓ Secado del suelo (**Anexo 4 y 5**).
- ✓ Molido y tamizado en el laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica, para su posterior análisis en el mismo (**Anexo 6, 7 y 8**).
- ✓ Codificación de muestras para el análisis físico-químicos (**Anexo 9 y 10**).

### 3.6 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

#### 3.6.1 METODOLOGÍA PARA MATERIA ORGÁNICA.

Es el producto de la descomposición química de las excreciones de animales y microorganismos, de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte, para su cuantificación se utilizó la metodología propuesta por Schulte & Hopkins (1996):

- Se pesaron 5 g de muestra en crisoles de 15 mL.
- posteriormente se pre-calcinó la muestra en un calentador hasta obtener un color negro, este proceso se realizó para minimizar emanaciones de gases tóxicos en la mufla (**Anexo 18**).
- Luego se colocó las muestras durante 2 h en una mufla a 600 °C (**Anexo 19**).
- posteriormente se transfirieron a un desecador y luego de enfriarse se registró el peso nuevamente (**Anexo 20**).

El cálculo de MO se realizó por diferencia de peso en las distintas temperaturas:

$$\% \text{ MO} = ((\text{peso seco antes de mufla} - \text{peso después de mufla}) * 100) / \text{peso seco antes de mufla}$$

### 3.6.2 METODOLOGÍA DE DENSIDAD APARENTE.

Se define como la relación entre el peso seco del suelo por el volumen (peso seco del suelo /volumen). Su unidad es g/cm<sup>3</sup> (Blake & Hartge, 1986). (**Anexo 11 y 12**).

- Se colocó toda la muestra que llevaba el cilindro las fundas ziploc.
- se lo llevó a la estufa a 105 °C por 24 horas (**Anexo 11**).
- seguidamente se colocó en el desecador para ser pesada posteriormente (**Anexo 12**).

El cálculo se lo realizó mediante la siguiente fórmula:

$$D_n (\text{g/cm}^3) = \text{Masa del suelo seca} / V$$

D<sub>n</sub>= densidad aparente

V= volumen

$$V = (\pi * R^2) * h$$

π= 3,1416

r= radio del cilindro

h= longitud de la altura del cilindro

### 3.6.3 METODOLOGÍA DE pH

El pH es lo que hace posible medir la alcalinidad o la acidez, para la medición se utilizó la metodología de Calderón & Pavlova (1999), con el siguiente procedimiento:



- Se colocaron en los frascos con tapón de rosca 10g de la muestra
- Se añadieron 25 mL de agua destilada
- Posteriormente se colocaron en un agitador a 200 rpm por 10 minutos (**Anexo 13**)
- Luego se dejó reposar durante 30 minutos.
- Se calibró el medidor de pH con las soluciones reguladores pH 4.00 y 7.00 o 7.00 y 10.00 según el suelo, enjuagando con agua destilada los electrodos antes de iniciar las lecturas de las muestras.
- Se agitó manualmente la suspensión y se introdujo el electrodo.
- Se registró el pH al momento en que la lectura se estabilizó (**Anexo 14**).

### **3.6.4 METODOLOGÍA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.**

Permite establecer una estimación cuantitativa de la cantidad de sales que contiene el suelo, para su lectura se realizó el siguiente procedimiento propuesto por Calderón, & Pavlova, (1999):

- Se pesaron 60 g de suelo en vasos de precipitación de 250 ml
- Se preparó la pasta saturada y se dejó reposar por 4 horas (**Anexo 15**)
- a continuación, se extrajo el extracto en tubos de ensayo por medio de un equipo de filtración a presión (**Anexo 16**).
- Luego se procedió a la lectura de la Conductividad Eléctrica por medio de un conductímetro (**Anexo 17**).

El resultado se expresó en ms/cm y posteriormente se realizó la transformación a dS/m.

### **3.6.5 TRATAMIENTO DE DATOS**

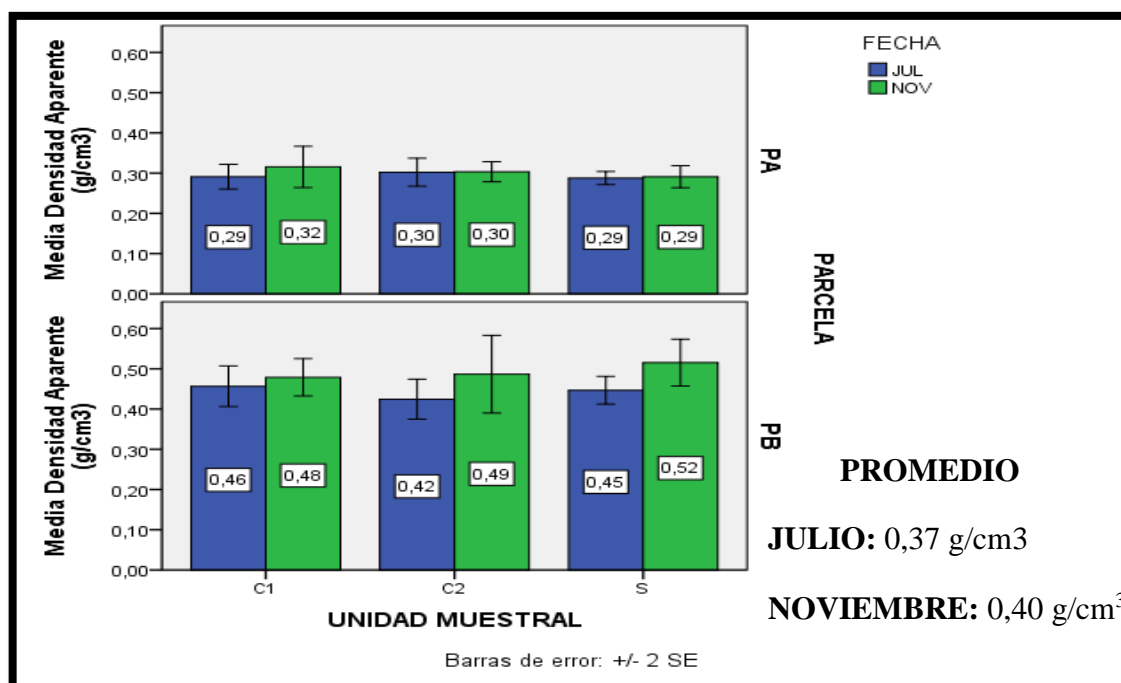
Para la tabulación de los datos y resultados se utilizó hojas de cálculos de Microsoft Excel 2010. Se usó la prueba Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos. Prueba T-student para tratar las muestras independientes para comparar las medias, error estándar y significancia de las parcelas, enmiendas y fecha de muestreo. Todas estas pruebas se llevaron a cabo con el programa SPSS 22.

## **CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se presentan los resultados de densidad aparente, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica analizados en el suelo. Simultáneamente se discuten los resultados comparándolos con la bibliografía disponible.

#### 4.1 DENSIDAD APARENTE

El siguiente gráfico muestra los valores de densidad aparente del suelo obtenidos en los dos muestreos.



**Grafico 7.** Medias de densidad aparente para variables independientes: fechas, parcela y unidad muestral. C1 suelo con biochar manufacturado, C2 suelo con biochar industrializado y S suelo sin biochar.

Se puede observar que la adición de biochar tanto industrializado como manufacturado ha ocasionado un ligero aumento de la densidad aparente del suelo, la parcela baja del muestreo de noviembre fue la que obtuvo mayores resultados con la unidad muestral suelo sin enmienda con 0,52 g/cm<sup>3</sup> a diferencia de la parcela baja del muestreo de Julio que obtuvo los valores más bajos, respecto a la parcela alta de los dos muestreos, los valores son iguales excepto para suelo con biochar manufacturado que varió de 0,29 a 0,32 g/cm<sup>3</sup> (**Gráfico 7**). El aporte de materia orgánica genera una reducción en la densidad aparente del suelo por la modificación de su estructura y la distribución de los poros, respecto al biochar disminuye la densidad aparente por que la densidad del mismo es menor que la de los minerales presentes en el suelo (Abenza, 2012) sin embargo en el presente estudio se obtuvieron valores más altos al adicionar biochar, en las unidades muestrales de suelo con biochar

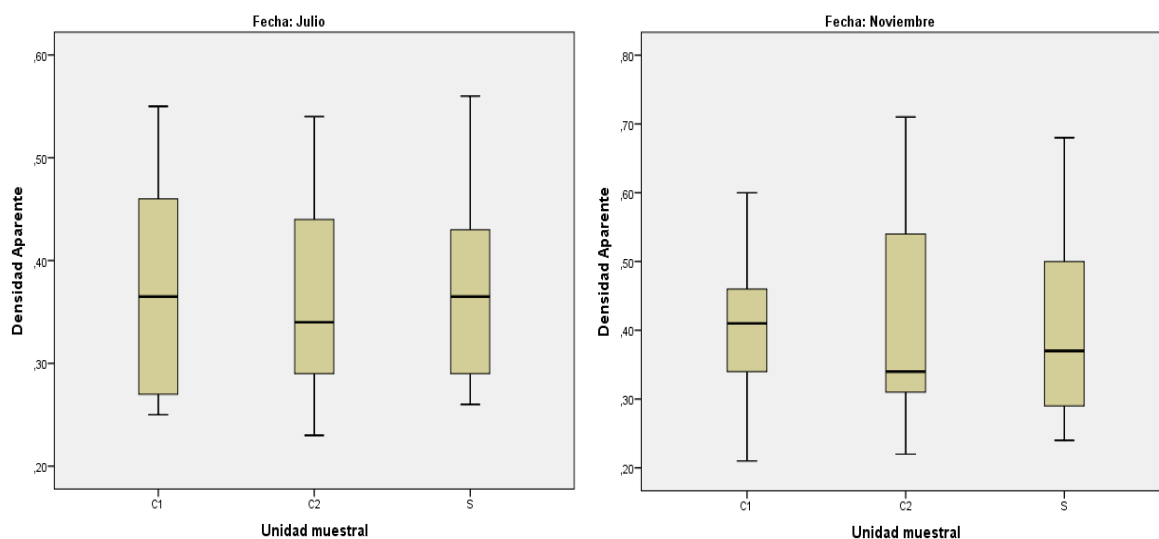
manufacturado se obtuvieron los valores más bajos con diferencias en la parcela alta y baja de 0,03 y 0,02 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, estudios realizados por (Fiallos *et al.*, 2015) sobre la restauración ecológica del suelo aplicando biochar en Chimborazo obtuvieron resultados de densidad aparente al inicio y final de la aplicación de 1,2 g/cm<sup>3</sup> siendo mayor al resultado obtenido en el presente estudio, de igual manera (Aker *et al.*, 2014) al aplicar en el suelo enmiendas de biochar de eucalipto, Neem y Tigüilote combinado con gallinaza obtuvieron densidades aparentes de 0.84 g/cm<sup>3</sup>, 0.82 g/cm<sup>3</sup> y 0.83 g/cm<sup>3</sup>, esto se debió a la combinación de biochar con otros sustratos de materia orgánica ya que si se combina el biochar se obtienen mejores resultados.

**Tabla 2.** Prueba de T-student para densidad aparente con muestras independientes en el lugar, con las variables: fecha, parcela y enmienda

		Medias	EE	Sig.
FECHA	JULIO	0,37	0,013	N.S.
	NOV	0,40	0,017	
PARCELA	PA	0,30	,006	**
	PB	0,47	,012	
ENMIENDA	C	0,38	,013	N.S.
	S	0,39	,019	

\*\* Significancia al 1%; \*Significancia al 5%; N.S. No significativo; PA parcela alta; PB parcela baja; C suelo con biochar; S suelo sin biochar.

En la **tabla 2** se observó que no existe diferencia significativa en enmiendas y fechas de muestreo, sin embargo, se pudo ver que en el mes de noviembre es mayor la densidad aparente, y en enmiendas S obtuvo los mayores resultados con una diferencia de 0,006 g/cm<sup>3</sup>, al comparar entre parcelas alta y baja de los dos muestreos hubo diferencias significativas al 1%.



**Gráfico 8.** Diagrama de caja y bigotes de densidad aparente para los muestreos de Julio y Noviembre en las unidades muestrales C1 suelo con biochar manufacturado, C2 suelo con biochar industrializado y S suelo sin biochar. La línea continua es la mediana, la caja representa el cuartil superior e inferior, los bigotes son los percentiles.

Para el muestreo de noviembre el más alto en densidad aparente se observó en el suelo sin enmienda de biochar en comparación con el suelo con biochar industrial que fue el que obtuvo el valor más bajo entre las tres unidades muestrales (**gráfico 8**).

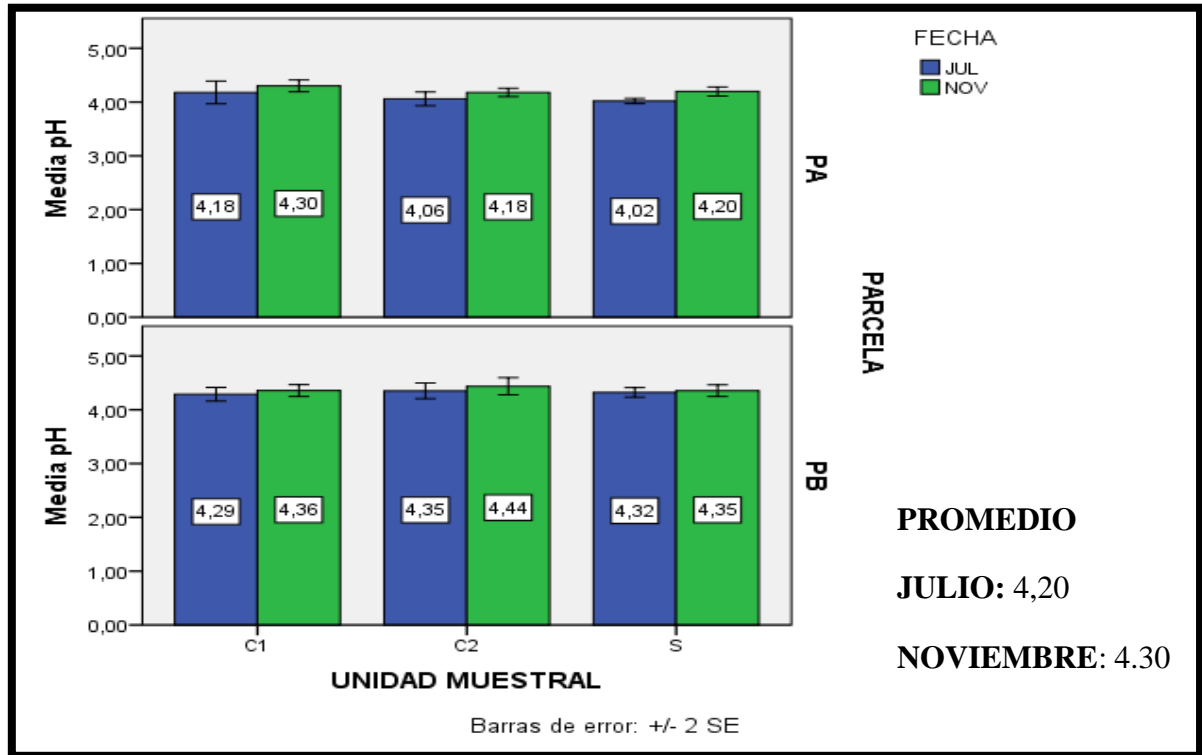
C1 tiene una media mejor distribuida entre la parte superior e inferior de la caja en el muestreo de julio, mientras que la misma unidad muestral del mes de noviembre la parte inferior de la caja está más dispersa, el bigote inferior de Julio es más corto que el de noviembre siendo los de noviembre más dispersos.

La parte superior de la caja del mes de noviembre con la unidad muestral C2 es mayor la parte inferior; ello quiere decir que la densidad aparente comprendida entre el 50 y 75% está más dispersa que el 25 y 50%, el bigote de la parte superior es más largo que el de la parte inferior por lo que quiere decir el 25% de la densidad aparente está comprendido entre 0,56 g/cm<sup>3</sup> y 0,72 g/cm<sup>3</sup>, el bigote de la parte superior es más concentrado. Mientras que en C2 del muestreo de Julio también está más disperso en la parte superior de la caja con una media de aproximadamente 0,35 g/cm<sup>3</sup>, con el 25% del bigote inferior más concentrado que el superior.

La parte inferior de la caja del mes de Julio con la unidad muestral C2 es mayor que la parte superior, ello quiere decir que la densidad aparente comprendida entre el 25 y 50% está más disperso que el 50 al 75% , el bigote inferior es más corto por lo que quiere decir que el 25% de la densidad aparente están más concentrados y van en valores de 0,25 g/cm<sup>3</sup> a 0,28 g/cm<sup>3</sup>, que en el 25% del bigote superior fue más disperso, para el mes de noviembre igualmente el bigote inferior estuvo más concentrado.

## 4.2 Ph

El siguiente gráfico muestra los valores de pH del suelo obtenidos en los dos muestreos (julio y noviembre).



**Grafico 9.** Medias de pH para variables independientes: fechas, parcela y unidad muestral. C1 suelo con biochar manufacturado, C2 suelo con biochar industrializado y S suelo sin biochar.

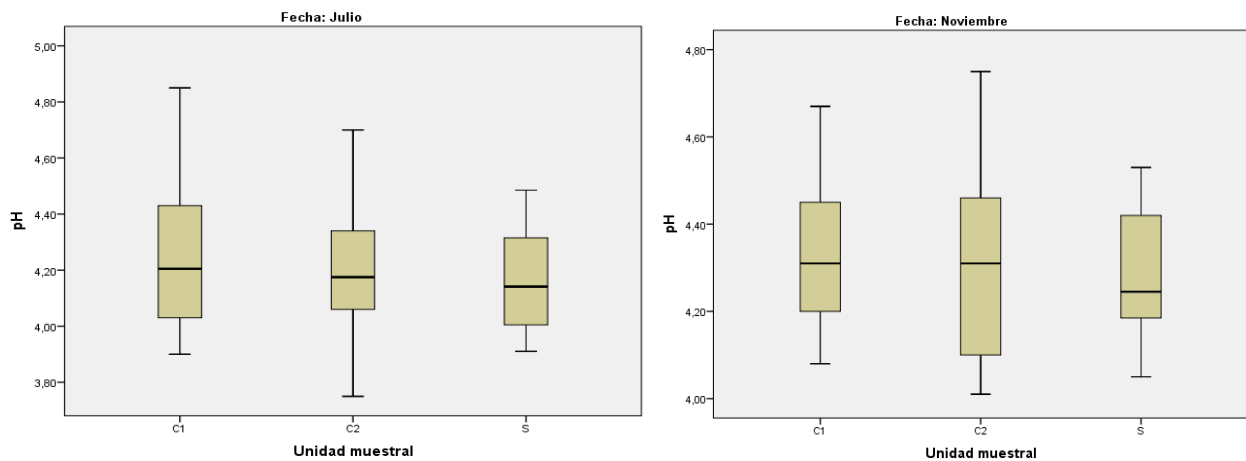
El suelo con biochar industrializado de la parcela baja del muestreo de noviembre ocasionó un mayor efecto en el suelo con un pH de 4,44 en comparación con la misma parcela del muestreo de Julio que obtuvo menores resultados, en general el pH aumentó en las dos parcelas (alta y baja) del muestreo de noviembre mientras que en el muestreo de Julio se obtuvieron los valores más bajos de pH con 4.02 en el suelo sin enmienda, de la parcela alta (**gráfico 9**). de esta forma, se puede observar que la adición del biochar provoca un aumento del pH especialmente en el segundo muestreo concordando con un estudio realizado por (Díaz, 2017) que obtuvo valores de 4,6 y 4,9 en suelos ácidos generándose valores diferentes antes y después de la adición de biochar, los suelos de la Amazonía son pobres en materia orgánica y pH ácido, el biochar se caracteriza por tener pH alcalino según estudios de caracterización de biocarbones han consignado reacciones donde el pH varía de ácido a alcalino, con una media de pH 8.1 (Escalante et al., 2016) el mismo que como enmienda de suelo acido para mejorar la productividad marcaría y generaría prácticas que eviten el uso insostenible del suelo.

**Tabla 3.** Prueba de T-student para pH con muestras independientes en el lugar, con las variables: fecha, parcela y enmienda

		Medias	EE	Sig.
FECHA	JULIO	4,20	0,03	*
	NOV	4,30	0,03	
PARCELA	PA	4,16	0,03	**
	PB	4,35	0,03	
ENMIENDA	C	4,27	0,03	N.S.
	S	4,23	0,03	

\*\* Significancia al 1%; \*Significancia al 5%; N.S. No significativo; PA parcela alta; PB parcela baja; C suelo con biochar; S suelo sin biochar.

En la **tabla 3** se observó que existe diferencia significativa en parcelas y fechas de muestreo al 1% y 5% respectivamente, sin embargo, al comparar entre enmiendas de las parcelas alta y baja de los dos muestreos no existió diferencia significativa, tanto en parcelas como en fechas el mes de noviembre obtuvo valores más altos de medias, mientras que en enmiendas C tubo mayor media con 4,27.



**Gráfico 10.** Diagrama de caja y bigotes de densidad aparente para los muestreos de Julio y Noviembre en las unidades muestrales C1 suelo con biochar manufacturado, C2 suelo con biochar industrializado y S suelo sin biochar. La línea continua es la mediana, la caja representa el cuartil superior e inferior, los bigotes son los percentiles.

En el **gráfico 10** se observó que para el muestreo de noviembre el más alto en pH fue el suelo con enmienda de biochar manufacturado en comparación con el suelo sin enmienda de biochar que fue el que obtuvo el valor más bajo entre las tres unidades muestrales.

En el mes de noviembre las cajas son más grandes que el mes de Julio y las medias también son más altas para todas las unidades muestrales y los bigotes muestran un mayor crecimiento.

C1, S y C2 tienen una media con mayor tamaño en la parte superior de la caja, por lo que quiere decir que la densidad aparente es más dispersa que en la parte inferior, mientras que en el mes de noviembre solo en C1 y S es mayor, en C2 la parte inferior de la caja es más dispersa.

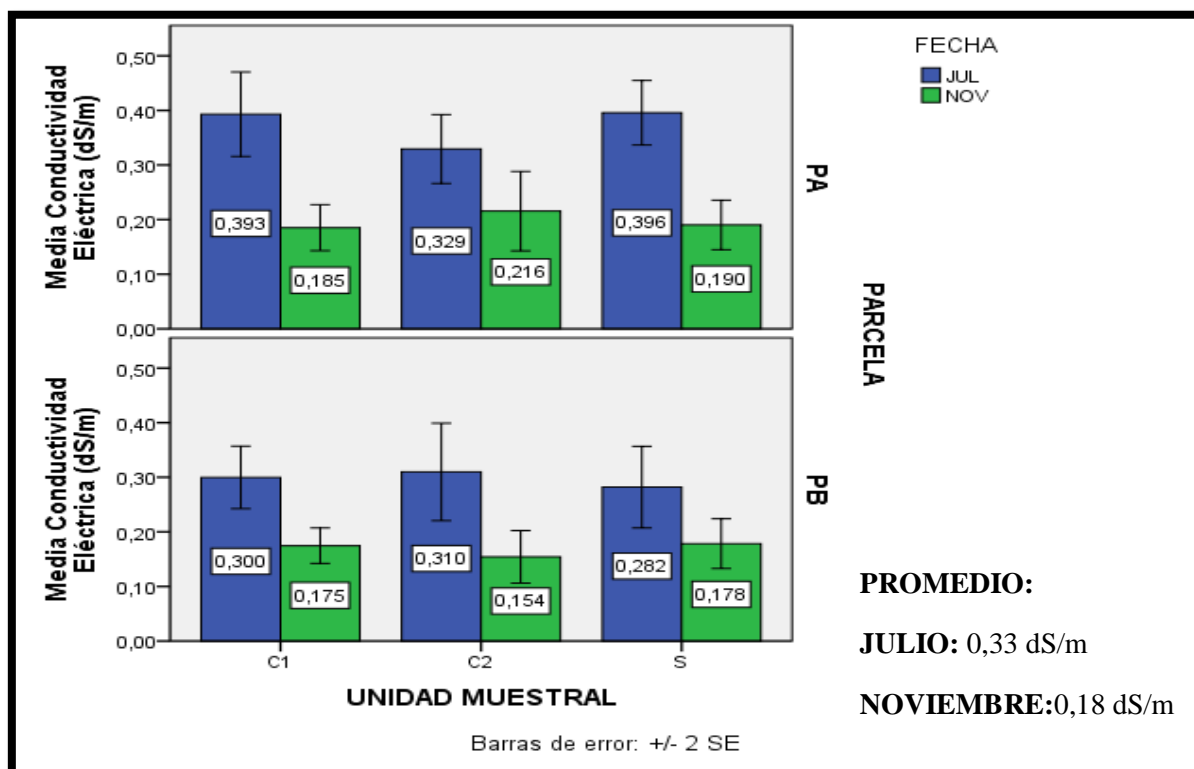
El bigote superior de C1 y S es más largo en el mes de Julio, siendo el bigote inferior con el otro 25% el más concentrado que va desde 3,66 a 4,0 y 3,65 a 3,69 respectivamente, en el mes de noviembre la parte superior de la caja de C2 es más grande lo que quiere decir que es más dispersa.

En general comparando entre el muestreo de julio y noviembre C2 tiende a ser más disperso en ambos casos, siendo el mes de noviembre el que tiene de crecer y ser mayor en todas las unidades muestrales por fecha.



### 4.3 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

El siguiente gráfico muestra los valores de conductividad eléctrica del suelo obtenidos en los dos muestreos.



*Gráfico 11. Medias de conductividad eléctrica para variables independientes: fechas, parcela y unidad muestral. C1 suelo con biochar manufacturado, C2 suelo con biochar industrializado y S suelo sin biochar.*

Al realizar el análisis de conductividad eléctrica de la parcela alta de los dos muestreos (Julio y noviembre), los valores más altos fueron para suelo sin emmienda de biochar con 0,396 dS/m para el muestreo de Julio y los más bajos para Noviembre con la unidad muestral biochar manufacturado (0,185 dS/m).

De la misma manera para la parcela baja de los dos muestreos también se obtuvieron valores más bajos en el muestreo de noviembre y más altos en el muestreo de Julio, en general la conductividad eléctrica bajó considerablemente en el segundo muestreo, con una diferencia de 0,15 dS/m (**gráfico 11**). Al comparar los datos con estudios realizados en suelo agrónomos con aplicación de biochar, de clase estructural franco arenoso de Córdoba se tuvo una conductividad eléctrica de 0,085 dS/m la cual se elevó a 0,14 dS/m con la aplicación de biochar debido a que aumento el contenido de agua al 9% (Prieto, 2016).

En otros estudios realizados en la ciudad de Valladolid, España, en la aplicación de biochar a tres tipos de suelos (ácido, básico y neutro) para medir sus efectos, en un suelo franco

arenoso se observan valores 0,175 y 0,219 dS/m, para suelo ácido, estos valores obtenidos se debieron a las propiedades naturales del suelo (Gilces, 2014).

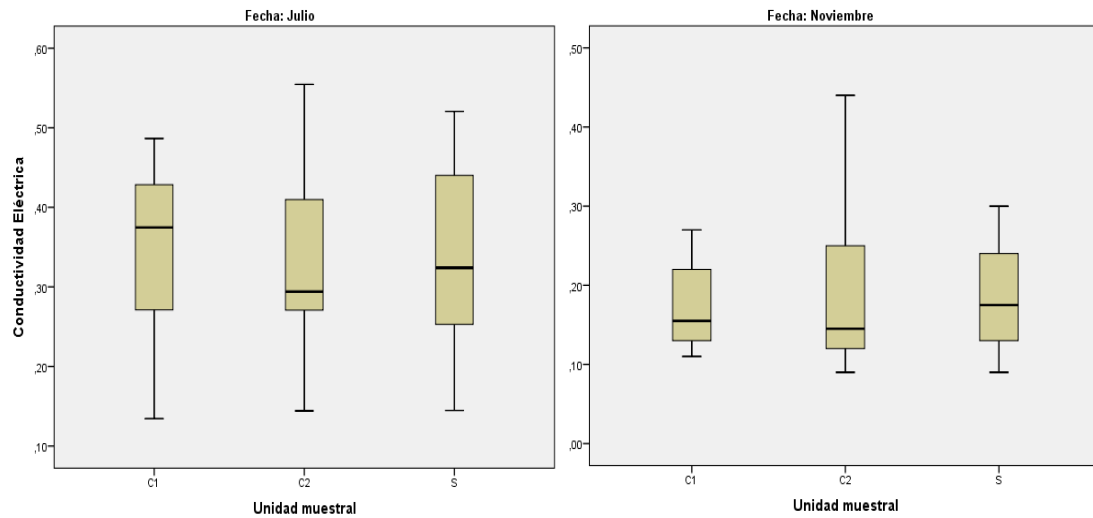
En otro estudio elaborado en Barcelona, en un suelo franco arenoso se observó como la conductividad eléctrica fue superior a 1 dS/m, esto se debe a alto contenido en sales minerales que tiene la materia prima que se utilizó para el biochar (lodos de planta de tratamiento de aguas residuales) (Abenza, 2012). Al observar los resultados en nuestro estudio tiene conductividad eléctrica inicial del mes de julio de 0,334 dS/m, al cabo de cuatro meses la conductividad disminuye a 0,18 dS/m, esto debido a las condiciones climáticas del lugar ya que para el mes de noviembre la precipitación fue más baja que para julio por lo que hay menos disolución de sales y más acumulación de minerales.

**Tabla 4.** Prueba de T-student para conductividad eléctrica con muestras independientes en el lugar, con las variables: fecha, parcela y enmienda

		Medias	EE	Sig.
FECHA	JULIO	0,33	0,02	**
	NOV	0,18	0,01	
PARCELA	PA	0,28	0,02	*
	PB	0,23	0,01	
ENMIENDA	C	0,26	0,01	N.S.
	S	0,25	0,01	

\*\* Significancia al 1%; \*Significancia al 5%; N.S. No significativo; PA parcela alta; PB parcela baja; C suelo con biochar; S suelo sin biochar.

En la **tabla 4** se observó que existe diferencia significativa al 1% en la variable fechas de muestreo ya que los valores de conductividad eléctrica variaron de julio a noviembre, para la variable de parcelas se observó una diferencia significativa al 5% esto debido a la precipitación del lugar, sin embargo, al comparar entre las enmiendas de los dos muestreos no existe diferencia significativa. Al comparar entre las tres variables se observa que los efectos del biochar no son significativos en las enmiendas a diferencia de las fechas y parcelas donde existen diferencias significativas al 1 y 5%.



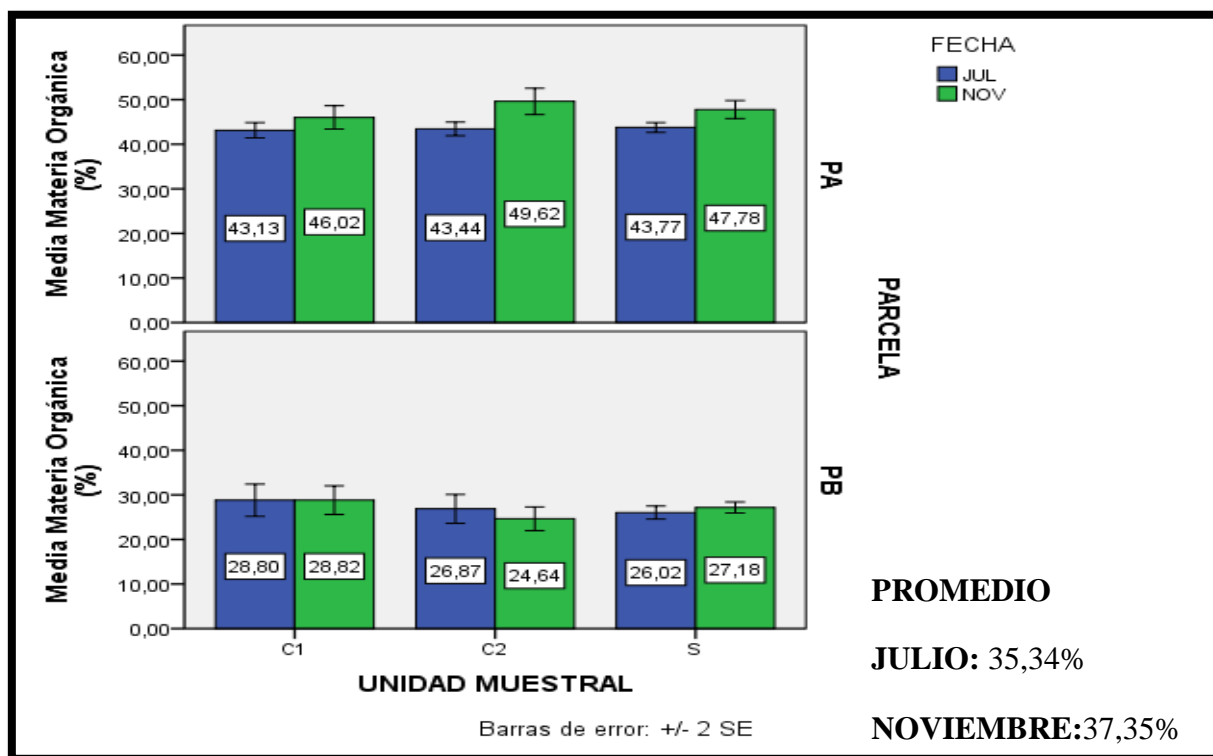
**Gráfico 12.** Diagrama de caja y bigotes de conductividad eléctrica aparente para los muestreos de Julio y Noviembre en las unidades muestrales C1 suelo con biochar manufacturado, C2 suelo con biochar industrializado y S suelo sin biochar. La línea continua es la mediana, la caja representa el cuartil superior e inferior, los bigotes son los percentiles.

La conductividad eléctrica fue más alta para el muestreo de Julio en el suelo sin biochar seguido por el suelo con biochar manufacturado, para el muestreo de noviembre el más alto en conductividad eléctrica se observó en el suelo con enmienda de biochar industrializado en comparación con el suelo con enmienda de biochar manufacturado que fue el que obtuvo el valor más bajo entre las tres unidades muestrales.

En el **gráfico 12** que la unidad muestral con un bigote más largo fue C2 para el mes de julio en la parte superior de la caja es mayor a la parte inferior, esto quiere decir que la conductividad eléctrica comprendida entre 50 y 75% fue más dispersa que el 25 y 50%, el bigote de la parte superior es más extenso que el inferior para la misma unidad muestral en julio y noviembre, esto quiere decir que la conductividad eléctrica para julio está comprendida entre 0,29 dS/m y 0,56 dS/m, a diferencia de C2 de noviembre que esta entre 0,37 dS/m y 0,46 dS/m. Para C1 para julio se observó que en la media parte superior de la caja es menor a la parte inferior, esto quiere decir que la conductividad eléctrica comprendida entre 50 y 75% fue más agrupada que el 25 y 50%, el bigote de la parte superior es más corto que el inferior, a diferencia de C1 para noviembre en donde la parte superior de la caja es mayor a la parte inferior, esto quiere decir que la conductividad eléctrica comprendida entre 50 y 75% fue más dispersa que el 25 y 50%, el bigote de la parte superior es más extenso que el inferior. En la unidad muestral S tanto para julio y noviembre que en la media la parte superior de la caja es mayor a la parte inferior, esto quiere decir que la conductividad eléctrica comprendida entre 50 y 75% fue más dispersa que el 25 y 50%, el bigote de la parte superior es más corto que el inferior para la misma unidad muestral en julio y para noviembre el bigote es más extenso en la parte superior.

#### 4.4 MATERIA ORGÁNICA

El siguiente gráfico muestra los valores de materia orgánica del suelo obtenidos en los dos muestreos.



**Gráfico 13.** Medias de materia orgánica para variables independientes: fechas, parcela y unidad muestral. C1 suelo con biochar manufacturado, C2 suelo con biochar industrializado y S suelo sin biochar.

El biochar industrializado ocasionó el mayor aumento en la materia orgánica con 49,62% a los 4 meses de su aplicación en la parcela alta, mientras que para la misma parcela en el mes de julio se obtuvieron menores valores de 43,13% respectivamente.

En lo que respecta a la parcela baja se obtuvieron valores más altos en el suelo con biochar manufacturado para el muestreo de noviembre, en el suelo con enmienda de biochar industrializado bajó para el mismo mes, pero en general la adición de biochar incrementó la materia orgánica del suelo tanto de la parcela alta como de la parcela baja del muestreo de noviembre. En el **gráfico 13** se puede observar que en el muestreo de julio se observó un promedio de 35,34% y para el muestreo de noviembre se observó un promedio de 37,35%. Al comparar los datos con un estudio realizado en Bogotá, con un suelo arenoso-franco arcilloso, de cultivo de uchuva, se observan valores 11,55% y 12,41% de materia orgánica esto debido al tipo de residuo utilizado para la fabricación de biochar, que fue de madera de pino y uchuva y al tiempo en el que se muestreo ya que fue al año de su aplicación (Nates, 2014).

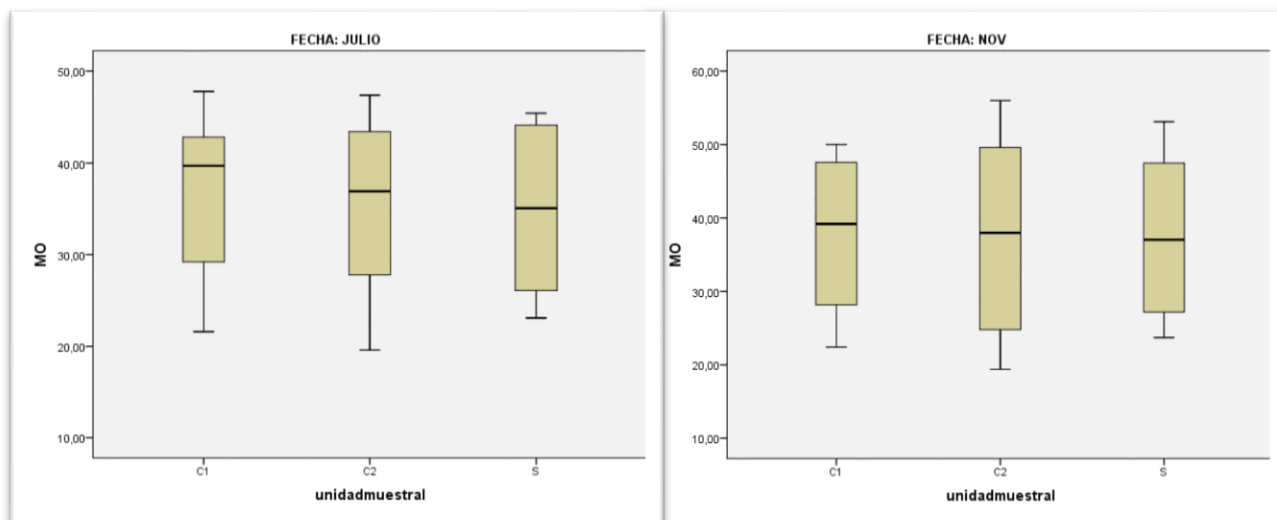
En otro estudio realizado en Honduras en un suelo franco de cultivo de pasto se observan cantidades de materia orgánica entre 2.5-2.6% esto se debe al tiempo de muestreo ya que analizaron en suelo a solo dos meses después de aplicar el biochar (Ali, 2013). Al ver los resultados de nuestro estudio tienen materia orgánica 35,34% para el primer muestreo en julio y 37,35% para el segundo muestreo a cuatro meses de su implementación, en noviembre.

**Tabla 5.** Prueba de T-student para muestras independientes en el lugar, con las variables: fecha, parcela y enmienda.

		Medias	EE	Sig.
FECHA	JULIO	35,32	1,20	N.S.
	NOV	37,34	1,54	
PARCELA	PA	45,61	0,53	**
	PB	27,06	0,57	
ENMIENDA	C	36,41	1,21	N.S.
	S	36,18	1,68	

\*\* Significancia al 1%; \*Significancia al 5%; N.S. No significativo; PA parcela alta; PB parcela baja; C suelo con biochar; S suelo sin biochar.

En la **tabla 5** se observó que no existe diferencia significativa en enmiendas y fechas de muestreo ya que los efectos del biochar no se observan para estas variables en poco tiempo, sin embargo, al comparar entre las parcelas alta y baja de los dos muestreos existe diferencia significativa al 1%. Al comparar entre las tres variables se observa que los efectos del biochar no son significativos en las fechas y las enmiendas a diferencia de las parcelas donde existe diferencia significativa.



**Gráfico 14.** Diagrama de caja y bigotes de Materia orgánica para los muestreos de Julio y Noviembre en las unidades muestrales C1 suelo con biochar manufacturado, C2 suelo con biochar industrializado y S suelo sin biochar. La línea continua es la mediana, la caja representa el cuartil superior e inferior, los bigotes son los percentiles.

En el **gráfico 14** se observó que la unidad muestral con un bigote más largo fue C1 para el mes de julio que para el mes de noviembre en la misma unidad muestral que en la media la parte superior de la caja es menor a la parte inferior, esto quiere decir que la materia orgánica comprendida entre 50 y 75% fue más agrupada que el 25 y 50%, el bigote de la parte superior es más corto que el inferior para la misma unidad muestral en julio y noviembre, esto quiere decir que la conductividad eléctrica para julio está comprendida entre 43 y 47%, a diferencia de C1 que esta entre 48 y 50%. Para C2 para julio se observó que en la media parte superior de la caja es menor a la parte inferior, esto quiere decir que la materia orgánica comprendida entre 50 y 75% fue más agrupada que el 25 y 50%, el bigote de la parte superior es más corto que el inferior con una materia orgánica comprendida entre 44 y 46%, a diferencia de C2 para noviembre en donde la parte superior de la caja es menor a la parte inferior, esto quiere decir que la materia orgánica comprendida entre 50 y 75% fue más agrupada que el 25 y 50%, el bigote fue más extenso en la parte superior que el inferior con una materia orgánica comprendida entre 49 y 56%. En la unidad muestral S para julio en la media la parte superior de la caja es igual a la parte inferior, esto quiere decir que la conductividad eléctrica comprendida entre 50 y 75% fue igual que el 25 y 50%, el bigote de la parte superior es más corto que el inferior, a diferencia de noviembre en donde la media la parte superior de la caja es mayor a la parte inferior, esto quiere decir que la conductividad eléctrica comprendida entre 50 y 75% fue más dispersa que el 25 y 50%, el bigote de la parte superior es más extenso que el inferior.

## **INTERPRETACIÓN DEL AVANCE DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL SUELO A CUATRO MESES, BASADOS EN PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS**

### **DENSIDAD APARENTE:**

La densidad aparente fue ligeramente mayor en el segundo muestreo principalmente en la parcela baja fue donde se detectaron más cambios, en la parte donde no se adicionó biochar varió de 0,45 a 0,52 g/cm<sup>3</sup>, según (Arskead, *et al.*, 1996).

La densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo. Esta condición puede ser alterada por cultivación; pisoteo de animales; maquinaria agrícola y clima por ejemplo por impacto de las gotas de lluvia, por lo que se deduce que la densidad aparente se vio alterada por las constantes lluvias que se presentaron en Julio y noviembre sin embargo estos valores no son preocupantes ya que la relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo, en suelos franco arcillosos y arenosos como es el caso del suelo estudiado, las densidades aparentes ideales (g/cm<sup>3</sup>) son menores a 1,40 (Luters & Salazar, 2000), por lo que el presente estudio está dentro de ese rango.

El biochar produce una disminución en la densidad aparente y por ende la compactación del suelo se reduce, aumentando su porosidad y proporcionando una mejor circulación de agua, también el efecto del biochar depende de la forma en la que fue elaborado y la materia orgánica utilizada.

según Oses en el año 2012 el biochar proveniente de prados y sotobosque es más sensible a impactos físicos (viento y lluvia) que el biochar de madera, las gotas de lluvia y el viento pueden reducir el tamaño de las partículas de biochar de algunos tipos de biochar, este tipo de fragmentación puede minimizarse con la incorporación de enmiendas dentro del suelo, aunque se requiere de mayor investigación en este campo, por lo que se debería experimentar con biochar adicionado dentro del suelo para evitar su erosión.

## **pH**

Hubo un ligero incremento en el pH del suelo principalmente en la parcela baja con la unidad muestral C2 , tanto para el muestreo de Julio como el de noviembre con 4,35 y 4,44 respectivamente, los valores más bajos fueron en el primer muestreo en la parcela alta, aunque no hubieron estadísticamente diferencias significativas se pudo observar la variación en la tabla de datos detallada anteriormente, por lo que se puede deducir que el biochar está ocasionando este aumento, el aumento de pH es muy bueno para las plantaciones silvícolas y agrícolas, ya que está íntimamente relacionada con la materia orgánica que también aumento ligeramente.

## **CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

La conductividad eléctrica en promedio para julio fue de 0,33 dS/m y para noviembre de 0,183 dS/m por lo que es un suelo no salino, ya que se define a un suelo no salino cuando es  $< 2$  dS/m, esto indica que se ha reducido la salinidad del suelo, esto para un buen desarrollo de la vegetación, aunque esto también puede llegar a desarrollar la falta de sus cationes principales lo que origina la salinidad: Ca, Na, Mg y K y de sus aniones principales: sulfatos, cloruros, carbonatos y biocarbonatos (Andrades & Martínez, 2014).

## **MATERIA ORGÁNICA**

La cantidad de materia orgánica depende del material vegetal, textura del suelo y pH, esto indica la relación que existe entre pH-materia orgánica, ya que como se observó en los resultados de pH este subió por lo que la materia orgánica también subió de 35,32% para julio a 37,34% en noviembre, lo cual nos indica que la materia orgánica es alta ya que según el INIAP (2011) es considerada alta cuando es  $>5\%$ .



## **CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 CONCLUSIONES

- La aplicación de biochar ha permitido observar un incremento de los parámetros: pH y materia orgánica desde el mes de julio a noviembre.
- La densidad aparente presentó valores bajos en especial en el segundo muestreo dando como resultado un suelo con buena compactación y facilidad de circulación de agua y aire permitiendo el crecimiento de las raíces de las plantas, por lo que las plantaciones forestales que se encuentran asentadas en estos suelos será muy productivo en el tiempo.
- La conductividad eléctrica presento valores bajos en el segundo muestreo debido a las precipitaciones, ya que fueron bajas para noviembre, por lo que hubo menos disolución de sales y más acumulación de minerales.
- El efecto de biochar fue más notorio en la parcela baja, que, en la parcela alta, por los valores obtenidos en cada uno de los parámetros.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis más exhaustivo de los parámetros físicos y químicos del suelo al año de la aplicación del biochar para obtener mejores resultados, y evaluar su efecto en el suelo de una mejor manera.
- Se recomienda realizar un estudio de interacción de la micro fauna del suelo, para ver si esta influye o no en el proceso de restauración del suelo con biochar ya que en el área donde no se adicionó biochar también se vieron cambios en los parámetros físicos y químicos del suelo similares a los lugares donde sí se adicionó biochar.
- Considerar otras profundidades de muestreo y otras variables de indicadores de cambio temprano, las variables biológicas.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M. & Wessolek, G. (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma* 202:183–191.
- Abenza, P. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. Barcelona. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Ali, M. (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*). Honduras. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- Amonette JE, Lehmann J, Joseph S (2007) Terrestrial carbon sequestration with biochar: A preliminary assessment of its global potential. En: AGU Fall Meeting Abstracts.
- Andrades, M. & Martínez, M. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen (3era ed.). España.
- Arshad, M.A., Lowery, B. & Grossman, B. (1996). Physical tests for monitoring soil quality. P. 123-142. In: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.) *Methods for assessing soil quality*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Aker, C., Soto, G., Imbach, A., Castillo, X., & Garro, F. (2014). Efecto de la aplicación de biocarbón, gallinaza y fertilizantes y otras características de suelo en el rendimiento de maíz (*Zea mays*), en tres texturas de suelo en León, Nicaragua. León, Nicaragua.
- Blake, GR & KH Hartge. (1986). Bulk Density. In: A Klute (ed). *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Pp. 363-375. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.
- Calderón, F. & Pavlova, M. (1999). Metodologías para Análisis Químico de Suelos. Recuperado el 28 de noviembre de 2017, de [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Suelos/MetodosQuimicosSuelos.htm#10](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Suelos/MetodosQuimicosSuelos.htm#10)
- Calvache, M. (2014). XIV Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo. El suelo y la matriz productiva agropecuaria. Esmeraldas.
- Bravo, C., Benítez, D., Vargas, J., Alemán, R., Torres, B. & Marín, H. (2015). Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo. *Universidad Estatal Amazónica* 4: 3-31.

- CIPCA. (2012). Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica. Recuperado el 28 de noviembre de 2017, de <https://www.uea.edu.ec/cipca/index.php/home/mision-vision/2013-09-24-08-38-45>
- Cueto, M. (2016). Potencial de producción de biochar en España a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de E.D.A.R, de residuos sólidos urbanos y de residuos ganaderos: estudio de la fijación del carbono, 30. Madrid, España.
- Curiel, M. (2016). Caracterización de residuos de vid transformados en biochar. Palencia, España.
- Davidson, E., Stickler C., Nepstad, D., Coe, D., McGRATH, H., Rodrigues, W., Walker, B. & Soares-Filho. (2009). The potential ecological costs and cobenefits of REDD: a critical review and case study from the Amazon region. *Global Change Biology* 15, 2803 – 2824. doi: 10.1111 / j.1365 – 2 486.2009.02109.x, ISSN: 1365-2486.
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E. & Etchevers, J. (2016.) Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana* 34: 367-382.
- FAO. (2011). The state of the world's land and water resources for food and agriculture. London.
- FAO & GTIS. (2016). Estado Mundial del recurso suelo. Roma, Italia.
- Fiallos, L., Flores, L., Duchi, N., Flores, C., Baño, D. & Estrada, L. (2015). Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de *Medicago sativa*. *Ciencia y agricultura*, (12), p. 13-20.
- Fowles, M. (2007). Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy. *Biomass and Bioenergy* (31):426-432.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds), (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp
- Genesio L, Miglietta F, Lugato E, Baronti S, Pieri M, Vaccari F. (2012) Surface albedo following biochar application in durum wheat. *Environ Res Lett* 7:14–25
- Gilces, M. (2014). Efectos de la aplicación de biochar y cenizas en las propiedades del suelo. Valladolid. Universidad de Valladolid.

- Glaser, B., Lehmann, J. & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—A review. *Biol Fertil Soils* 35:219–230.
- Granatstein, D., Kruger, C., Collins, H., Galinato, S., Garcia-Perez, M. & Yoder, J. (2009). Use of biochar from the pyrolysis of waste organic material as a soil amendment. Final report. Center for Sustaining Agriculture and Natural Resources. Washington State University. Wenatchee, WA, USA.
- Ibarrola, R., Evar, B., & Reay, D. (2013). Comercialización de biocarbón (biochar) en México. Definición del contexto para un programa de investigación multidisciplinario, 1,28. Edimburgo, Escocia.
- INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias). (2011). Archivos de los resultados del “Análisis de la situación actual de los suelos en el Ecuador: metodología para la elaboración de los mapas temáticos de pH, materia orgánica, fósforo y potasio en suelos”.
- Ippolito, J., Lentz, R., Novak, J., Spokas, K., Collins, H., & Streubel, J. (2011). Biochar Usage: Pros and cons. Western nutrient Management conference, 9, 93-98. Reno, Nevada, USA.
- Kuzayov, Y., Subbotina, I., Chen, H., Bogomolova, I., Xu, X. (2009). Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by <sup>14</sup>C labeling *Soil Biology and Biochemistry* (41): 201-215.
- Luters, A. & Salazar, J. C Guía; (2000) Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo Argentina Pag. 64 disponible en: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf).
- Manrique, G. (2005). Evaluación de Impactos Ambientales. Quito.
- Méndez, A. (2017). Cambio en las propiedades químicas de un biochar de sarmientos de vid por adición a pilas de compostaje. Cambio en las propiedades químicas de un biochar de sarmientos de vid por adición a pilas de compostaje. Universidad de Valladolid.
- Milian, L. (2015). Influencia de la materia orgánica del suelo en el secuestro de carbono. biochar, una estrategia potencial. 20. Madrid, España.
- Nates, E. (2014). Evaluación del efecto de biochar en el suelo y la calidad de los frutos en un cultivo de uchuva (*Physalis peruviana L.*). Bogotá D.C. Pontificia Universidad Javeriana.
- Olmo, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Córdoba, España: Universidad de Córdoba.

- Oses, A. (2012). Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas. Barcelona, España
- Puentestar, W. (2015). La problemática ambiental y el deterioro de los recursos naturales en el ecuador. Una perspectiva desde la geografía. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Red Amazónica de Información Socio ambiental Georreferenciada (RAISG). (2012). Amazonía Bajo Presión. Disponible en: <http://www.raisg.socioambiental.org>
- Robertson, G. P., Swinton, S. M. (2005). Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: A grand challenge for agriculture, *Frontiers in Ecology and the Environment*, (3): 38–46.
- Rodríguez-Vila, A., Asencio, V., Forján, R. & Covelo, E. (2015). Recuperación de un suelo de mina de cobre con enmiendas orgánicas: compost y biochar versus tecnosol y biochar.
- Rondon, M., Ramirez, J. A., & Lehmann, J. (2005). Greenhouse gas emissions decrease with charcoal additions to tropical soils. En: *Proceedings of the 3rd USDA Symposium on Greenhouse Gases and Carbon Sequestration*, Baltimore, USA (Vol. 208).
- Rosas, J. (2015). Producción de biochar a partir de viñas agotadas mediante pirólisis en reactor a escala piloto y en reactor móvil energéticamente sostenible. 231. Nuevo León, México.
- Schulte, EE & BG Hopkins. (1996). Estimation of organic matter by weight loss-on-ignition. In: FR Magdoff *et al* *Soli organic matter: Analysis and interpretation*. SSSA Spec. Publ. 46. SSSA, Madison, WI. P 21-31.
- Schwartz, J. (2014). Yale Environment 360, Yale School of Forestry &. Recuperado el 23 de Noviembre de 2017, de Yale Environment 360, Yale School of Forestry &: [http://e360.yale.edu/feature/soil\\_as\\_carbon\\_storehouse\\_new\\_weapon\\_in\\_climate\\_fight/2744/](http://e360.yale.edu/feature/soil_as_carbon_storehouse_new_weapon_in_climate_fight/2744/)
- Sentís, P. (2006). X Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo: Problemas de degradación de suelos en el mundo: Causas y consecuencias. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Silva, L. (2015). Determinación de parámetros físicos de dos tipos de suelo en parcelas silvícolas industriales del centro de investigación, posgrado y conservación (CIPCA).
- Smith, P., Bustamente, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. & Tubiello, F. (2014). *Agriculture, forestry and other land use*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., Bol, R., (2009). Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report 05/09.
- Stocking, M. A. (2003). Tropical soils and food security: The next 50 years", *Science*, (302): 356–1359.
- Sukiran, A. M., Kheang, S. L., Bakar, A. N., & May, Y. C. (2011). Production and Characterization of Bio-Char from the Pyrolysis of Empty Fruit Bunches. *American Journal of Applied Sciences*, 8 (10), 984-988.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., Van der Velde, M., & Diafas, I. (2010). Biochar application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 149pp.



## **ANEXOS**



**Anexo 1y 2:** Toma de muestras en las parcelas alta y baja



**Anexo 3:** Recepción de muestras en el laboratorio de ecología tropical natural y aplicada (LETNA)

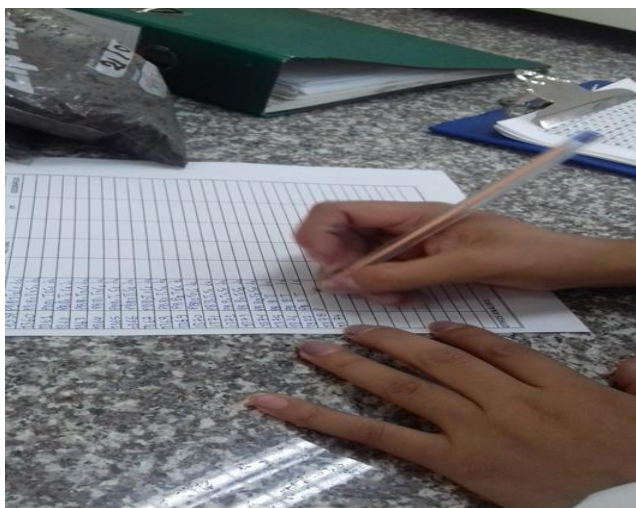


**Anexo 4 y 5:** Secado de muestras en el CIPCA



**Anexo 6, 7 y 8:** extracción de raíces, molido y tamizado de suelo





**Anexo 9 y 10:** Recepción y codificación de muestras en el laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica



**Anexo 11:** Secado en la estufa a 105 °C de las muestras para densidad aparente



**Anexo 12:** Pesado de las muestras extraídas de la estufa para Densidad aparente



**Anexo 13.** Preparación de muestras para medición de pH



**Anexo 14:** medición de pH con el pHmetro



**Anexo 15,16 y 17:** preparación de la pasta saturada, extracción de la pasta y medición de conductividad eléctrica.



**Anexo 18.** Pre-calcinación de muestras para materia Orgánica



**Anexo 19.** Calcinación de muestras en la mufla



**Anexo 20.** Dsecación y pesado de muestras