

**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 INGENIERÍA  
AMBIENTAL**

**TEMA:**

**VARIACIÓN DE CONDICIONES EDÁFICAS EN EL  
PROCESO DE RESTAURACIÓN CON ENMIENDAS DE  
BIOCARBÓN**

**AUTORES:**

**QUIGUIRI CHUGÑAY MARÍA ROSA**

**ROBALINO ZAMBRANO DINA ALEJANDRA**

**DIRECTOR DEL PROYECTO:**

**Msc. PEDRO DAMIÁN RÍOS GUAYASAMÍN**

**PASTAZA – ECUADOR**

**2019**

## AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por brindarme esta etapa de mi vida llena de experiencias

A mis padres, hermanos y demás familiares por confiar en mí y estar conmigo en las buenas y en las malas.

A Dina Robalino por ser una gran amiga y una excelente compañera del proyecto de investigación, a Yury Rodriguez y Joffre Chela por permitirme compartir momentos únicos en esta etapa final junto a ustedes. Agradezco también a Yesica Chimbo, Thony Huera entre otras personas más que han estado junto a mi durante 5 años compartiendo el mis sueño.

De manera especial le agradezco a Msc. Pedro Ríos por ser nuestro guía, tenernos paciencia y brindarnos su tiempo en la realización del proyecto de investigación.

Al Ing. Víctor Gonzales encargado del laboratorio de estudios Ambientales del CIPCA, Ing. Daysi Changoluisa y Msc. Laura Mosquera encargadas del laboratorio de suelos de la UEA por su apoyo brindado a este proyecto. A todos los docentes que integran la Escuela de Ingeniería Ambiental que me impartieron sus conocimientos a lo largo de la carrera.

*María Rosa Quiguiri Chugñay*

Comienzo agradeciendo a Dios por cada día de mi vida y por la fortaleza para poder recorrer este largo camino.

Agradezco a mi familia, en especial a mis padres y hermanos quienes son mi apoyo incondicional y el pilar de mi vida.

Agradezco a mi tutor Msc. Pedro Ríos quien me ha guiado durante este proyecto sacando de mí lo mejor e inculcando nuevas enseñanzas y a la vez impidiendo desmoronarme y seguir en pie de lucha, a los ingenieros del laboratorio de suelo por impartirme sus conocimientos y ofrecerme su apoyo.

A mi universidad mil gracias por la oportunidad de ser parte de esta gran familia y un miembro más que orgullosamente puede llamarse ingeniera.

A todos ustedes de corazón les agradezco por festejar conmigo este logro, por su presencia y cariño.

*Dina Alejandra Robalino Zambrano*

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de grado a Dios por darme salud y fortaleza a lo largo de mi vida y formación profesional.

A mis padres Salvador Quiguiri y Mercedes Chugñay por haberme dado la vida, por ser ejemplo de trabajo, dedicación, enseñarme valores y por su apoyo incondicional, Juana Guambi que aunque ya no estés aquí con nosotros estoy segura que desde el cielo me envías muchas bendiciones.

A mis hermanos Abraham, David, José, Belén por ser un apoyo a lo largo de mi carrera y en especial a Gabriel por ser mi ejemplo a seguir y un pilar fundamental en mi formación.

A mi sobrino Matías Quiguiri por llegar a nuestras vidas a ser inspiración para seguir adelante.

A mi prima Aurora Quiguiri por ser más que una amiga, una hermana gracias por tus consejos y por la inspiración que eres para mí.

A toda mi familia y amigos que siempre me brindaron su apoyo y consejos en toda esta etapa.

*María Rosa Quiguiri Chugñay*

Dedico este trabajo a mis padres quienes me han demostrado su infinito amor y apoyo incondicional, a ellos quienes depositaron su confianza en mi persona y decidieron acompañarme en este largo recorrido, ellos son y siempre serán la inspiración de mi vida.

A mis hermanos por estar en mi vida poder contar siempre con su ayuda y presencia, sin permitir que me desmorone en el intento.

A mis amigos y colegas mi sentido de gratitud por ser mis compañeros de lucha, con quienes he compartido durante todos estos años de penas y alegrías, saliendo siempre airoso y llegando hasta estas instancias de mis estudios.

Por último y no menos importante, dedico este proyecto a esta prestigiosa universidad que me ha acogido y otorgado la oportunidad de realizarme como profesional.

*Dina Alejandra Robalino Zambrano*

## **RESUMEN**

La degradación de los suelos es uno de los principales problemas que afronta la Amazonia Ecuatoriana debido a la deforestación, expansiones de plantaciones agrícolas uso excesivo de químicos, expansión poblacional, el objetivo de esta investigación es evaluar la variación de las condiciones edáficas en el proceso de restauración con biocarbón en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA) en pacerlas permanentes en un periodo de un año (2017 al 2018), para ello se analizaron parámetros físico – químicos, donde se obtuvieron datos promedios que incrementaron con relación a densidad aparente de 0,35 g/cm<sup>3</sup> a 0,41 g/cm<sup>3</sup>, materia orgánica de 19,61% a 23,30 %, carbón orgánico de 11,37% a 13,51%, acidez intercambiable de 1,86 Cmol/kg a 2,22 Cmol/kg, aluminio intercambiable de 0,73 Cmol/kg a 0,88 Cmol/kg, potasio de 0,14 Cmol/kg a 0,16 Cmol/kg, calcio de 0,82 Cmol/kg a 1,66 Cmol/kg, magnesio 0,26 Cmol/kg a 0,41 Cmol/kg, mientras que el pH (4,30 a 4,45 ) y conductividad eléctrica (de 0,33 dS/m a 0,36 dS/m) obtuvieron un incremento no significativo, en cambio el fósforo disminuyo de un 6,14 ppm a 2,32ppm. La aplicación biocarbón ha obtenido un gran aporte en algunos parámetros químicos, mientras que en los parámetros físicos como densidad aparente y químicos (acidez intercambiable, aluminio intercambiable y fosforo) han tenido variaciones por las condiciones climáticas, degradación, compactación del suelo entre otras.

## **Palabras claves**

Biocarbón, parámetro físico, parámetro químico, restauración, condiciones edáficas

## **ABSTRACT**

Soil degradation is one of the main problems facing the Ecuadorian Amazon due to deforestation, expansions of agricultural plantations, excessive use of chemicals, population expansion, the objective of this research is to evaluate the variation of soil conditions in the process of biocarbon restoration at the Center for Research, Postgraduate and Conservation of the Amazon (CIPCA) in permanent pacerlas in a period of one year (2017 to 2018), for which physical-chemical parameters were analyzed, where average data were obtained that increased in relation to apparent density from 0.35 g / cm<sup>3</sup> to 0.41 g / cm<sup>3</sup>, organic matter from 19.61% to 23.30%, organic carbon from 11.37% to 13.51%, exchangeable acidity of 1.86 Cmol / kg at 2,22 Cmol / kg, exchangeable aluminum from 0,73 Cmol / kg to 0,88 Cmol / kg, potassium from 0,14 Cmol / kg to 0,16 Cmol / kg, calcium of 0,82 Cmol / kg at 1,66 Cmol / kg, magnesium 0,26 Cmol / kg at 0,41 Cmol / kg, while the pH (4,30 to 4.45) and electrical conductivity (from 0.33 dS / m to 0.36 dS / m) obtained a increase not significant, while, phosphorus decreased from 6.14 ppm to 2.32ppm. The application biocarbón has obtained a great contribution in some chemical parameters, whereas in the physical parameters like apparent densidad and chemical (interchangeable acidity, interchangeable aluminum and phosphorus) have had variations by the climatic conditions, degradation, compactación of the floor among others.

## **Keywords:**

Biochar, fiscal parameter, chemical parameter, restoration, edaphic condition

# TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>1.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	3
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	3
<b>1.3.1.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	4
<b>1.4.- OBJETIVOS</b> .....	5
<b>1.4.1.- OBJETIVO GENERAL</b> .....	5
<b>1.4.2.-OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	5
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	6
<b>2.1. ANTECEDENTES</b> .....	6
<b>2.2. CONCEPTOS BÁSICOS</b> .....	7
a) <b>CARBÓN ORGÁNICO (BIOCARBÓN)</b> .....	7
b) <b>PRODUCCIÓN DE BIOCARBÓN</b> .....	7
c) <b>SUELO</b> .....	7
d) <b>DENSIDAD APARENTE</b> .....	7
e) <b>CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA</b> .....	8
f) <b>MATERIA ORGÁNICA</b> .....	8
g) <b>pH</b> .....	8
h) <b>ACIDEZ INTERCAMBIABLE</b> .....	8
i) <b>ALUMINIO INTERCAMBIABLE</b> .....	8
j) <b>POTASIO</b> .....	9
k) <b>CALCIO</b> .....	9
l) <b>MAGNESIO</b> .....	9
m) <b>FÓSFORO</b> .....	9
<b>2.3. DEGRADACIÓN DEL SUELO EN LA AMAZONÍA</b> .....	9

2.4 BIOCARBÓN COMO ENMIENDA DE SUELOS .....	11
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>12</b>
3.1. LOCALIZACIÓN.....	12
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	13
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	13
3.3.1. TRABAJO DE CAMPO .....	13
3.3.2. TRABAJO EN LABORATORIO.....	14
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	17
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>18</b>
4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE PARÁMETRO FÍSICO.....	18
4.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS .....	21
5.1. CONCLUSIONES .....	46
5.2.- RECOMENDACIONES .....	47
<b>CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO VII: ANEXOS .....</b>	<b>59</b>

# ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del proyecto Sistema Silvícola Industriales como un aporte multifuncional a la Economía Verde en la Producción Amazónica (SSIEV) Parcelas experimentales.....	12
<b>Figura 2.</b> Parcela alta con diferentes tratamientos con y sin enmiendas de biocarbón .....	14
<b>Figura 3.</b> Parcela baja con diferentes tratamientos con y sin enmiendas de biocarbón.....	14
<b>Figura 4.</b> Promedio de densidad aparente en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control). .....	18
<b>Figura 5.</b> Representación de cajas y bigotes de densidad aparente en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control) en la PA (parcela alta) y PB (parcela baja). .....	19
<b>Figura 6.</b> Promedio de materia orgánica en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control). .....	21
<b>Figura 7.</b> Representación de cajas y bigotes de materia orgánica en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control) en la PA (parcela alta) y PB (parcela baja). .....	22
<b>Figura 8.</b> Promedio de carbón orgánico en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control). .....	24
<b>Figura 9.</b> Representación de cajas y bigotes de carbón orgánico en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control). .....	25
<b>Figura 10.</b> Promedio de conductividad eléctrica en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control). .....	26
<b>Figura 11.</b> Representación de cajas y bigotes de conductividad eléctrica en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control). .....	27
<b>Figura 12.</b> Promedio de pH en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control). .....	29
<b>Figura 13.</b> Representación de cajas y bigotes de pH en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control). .....	30



<b>Figura 14.</b> Promedio de acidez intercambiable en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control). .....	32
<b>Figura 15.</b> Representación de cajas y bigotes de la acidez intercambiable en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control). .....	33
<b>Figura 16.</b> Promedio de aluminio intercambiable en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control). .....	34
<b>Figura 17.</b> Representación de cajas y bigotes de aluminio intercambiable en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control) en la PA (parcela alta) y PB (parcela baja). .....	35
<b>Figura 18.</b> Promedio de potasio en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control). .....	36
<b>Figura 19.</b> Representación de cajas y bigotes del potasio en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control). .....	37
<b>Figura 20.</b> Promedio de calcio en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control). .....	39
<b>Figura 21.</b> Representación de cajas y bigotes del calcio en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón industrializado), C (control). .....	40
<b>Figura 22.</b> Promedio de magnesio en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control). .....	42
<b>Figura 23.</b> Representación de cajas y bigotes del magnesio en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control). .....	43
<b>Figura 24.</b> Promedio de fósforo en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control). .....	44
<b>Figura 25.</b> Representación de cajas y bigotes del fósforo en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control). .....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Variación de la densidad aparente en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.</i> .....	18
<b>Tabla 2.</b> <i>Prueba de ARTool- anova para densidad aparentes con variables independientes BIB2C, Fecha e interacción entre BIB2C y Fecha.</i> .....	20
<b>Tabla 3.</b> <i>Variación de materia orgánica en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.</i> .....	21
<b>Tabla 4.</b> <i>Prueba de Artool - anova para materia orgánica con variables independientes: BIB2C, fecha e interacción entre BIB2C y Fecha.</i> .....	23
<b>Tabla 5.</b> <i>Variación de carbón orgánico en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018</i> .....	24
<b>Tabla 6.</b> <i>Prueba de ARTool - anova para carbón orgánico con variables independientes: BIB2C, Fecha e interacción entre BIB2C y Fecha.</i> .....	25
<b>Tabla 7.</b> <i>Variación de conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.</i> .....	26
<b>Tabla 8.</b> <i>Prueba de ARTool - anova para conductividad eléctrica con variables independientes BIB2C, Fecha e interacción entre BIB2C y Fecha</i> .....	28
<b>Tabla 9.</b> <i>Variación del pH en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.</i> .....	29
<b>Tabla 10.</b> <i>Prueba de ARTool - anova para pH con variables independientes: BIB2C, Fecha e interacción entre BIB2C y Fecha</i> .....	31
<b>Tabla 11.</b> <i>Variación de la acidez intercambiable en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.</i> .....	32
<b>Tabla 12.</b> <i>Prueba de ARTool - anova para acidez intercambiable con variables independientes: BIB2C, Fecha e interacción entre BIB2C y Fecha</i> .....	33
<b>Tabla 13.</b> <i>Variación de aluminio intercambiable en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.</i> .....	34
<b>Tabla 14.</b> <i>Prueba de ARTool - anova para aluminio intercambiable con variables independientes: BIB2C, Fecha e interacción entre BIB2C y Fecha.</i> .....	35
<b>Tabla 15.</b> <i>Variación del potasio en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.</i> .....	36
<b>Tabla 16.</b> <i>Prueba de ARTool - anova para potasio con variables independientes: BIB2C, Fecha e interacción entre BIB2C y Fecha.</i> .....	38

<b>Tabla 17.</b> <i>Variación del calcio en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.</i> .....	39
<b>Tabla 18.</b> <i>Prueba de ARTool - anova para calcio con variables independientes: BIB2C, Fecha e interacción entre BIB2C y Fecha.</i> .....	41
<b>Tabla 19.</b> <i>Variación del magnesio en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.</i> .....	42
<b>Tabla 20.</b> <i>Prueba de ARTool - anova para magnesio con variables independientes: BIB2C, Fecha e interacción entre BIB2C y Fecha.</i> .....	43
<b>Tabla 21.</b> <i>Variación del fósforo en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.</i> .....	44
<b>Tabla 22.</b> <i>Prueba de ARTool - anova para fósforo con variables independientes: BIB2C, Fecha e interacción entre BIB2C y Fecha.</i> .....	45

# CAPÍTULO I

## 1.1. INTRODUCCIÓN

El suelo se constituye como un cuerpo natural que presenta cambios en diferentes niveles y direcciones, su concepto ha evolucionado desde la observación y descripción a clasificaciones en base a análisis cuantitativos y estadísticos (Larreal *et al*, 2009). Además, es considerado un sistema dinámico, relacionándose con otros elementos a los cuales brinda soporte, por esa razón se define como un medio biogeoquímico debido a su capacidad de interacción: nutriente- suelo- planta (Araya, 2017).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018) señala que los suelos sufren una continua presión por el desarrollo de la agricultura, silvicultura, deforestación, pastoreo y una creciente urbanización con usos y prácticas de gestión no sostenible que ocasionan degradación a diversas escalas. La degradación de suelos sucede en países de desarrollo e industrializados, al igual que la reducción de la fertilidad tiene mayor presencia en todas las regiones de clima cálido y húmedo, debido que en estas regiones presentan altas precipitaciones y temperaturas provocando que los suelos posean poca capacidad de retención de nutrientes (Martínez, 2015) La rehabilitación de las propiedades del suelo es prioridad para mejorar la capacidad productiva, además de producir impactos positivos en la recuperación de las funciones ecológicas del ecosistema (Ortiz *et al*, 2018).

En los últimos años se ha mostrado un gran interés en el uso del biocarbón y sus compuestos que producen efectos en su comportamiento como enmienda orgánica para los suelos y como sumidero de carbono, este interés surge de los diversos estudios realizados en las denominadas “Terra Petra de Indio” (Cueto, 2016). El biocarbón ha servido como modelo de sostenibilidad en ecosistemas terrestres, además ofrece alternativas a las políticas ambientales sobre cambio climático, manejo de residuos y la contaminación (Ladd *et al*, 2017). El carbón vegetal es un mejorador de suelo, ayuda a combatir los efectos del cambio climático, reduce las emisiones de óxidos nitrosos (Fiallos, 2015). La adición de enmiendas de biocarbón aumenta el contenido de materia orgánica debido a los procesos de descomposición (Hueso, 2018).

El biocarbón ha sido promovido como una enmienda orgánica para recuperar suelos degradados, elevar la productividad agronómica e incrementar el secuestro de CO<sub>2</sub> (Valarezo *et al*, 2016). El biocarbón ha demostrado tener efectos positivos en las propiedades físico-químico de los suelos contribuyendo a mejorar la producción de biomasa, rendimientos de cultivos teniendo efectos positivos como la disminución de la lixiviación de nitrógeno y el mejoramiento del intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes, favoreciendo el desarrollo de la planta y actividades microbianas que ayudan a disminuir la producción de N<sub>2</sub>O (Alonso *et al*, 2016; Rasul *et al*, 2016).

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El intensivo uso del suelo con distintas prácticas agrícolas no sostenibles realizadas por los antiguos propietarios del Centro de Investigación Posgrado y Conservación Amazónica ha provocado la degradación del mismo, alterando las propiedades de calidad del suelo, como: nutrientes y la fertilidad.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La Amazonía Ecuatoriana constituye más del 40 % de nuestro territorio, obteniendo una gran parte de biodiversidad y riqueza en recursos naturales donde se cumple el ciclo del carbono que es crucial para nuestro planeta (Bravo *et al*, 2017).

En los últimos años se ha ido presentando uno de los mayores problemas que es la degradación de los suelos; La Organización de las Naciones afirma que está dada por diversas causas como: la deforestación, plantíos agrícolas, la explotación petrolera y minera, provocando cambios significativos en la textura del suelo (ONU, 2008). La Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y Agricultura, añade que la reducción del rendimiento del suelo atañe a la alimentación provocando la pobreza de la población de quienes lo usan como sustento (FAO, 2016).

Bajo este enfoque, el suelo se ha presentado como un sistema vivo, activo y no renovable de importancia en la producción que está siendo degradado por el mal manejo de los seres humanos (Bravo *et al*, 2017).

Debido a esta problemática la mayoría de los nutrientes del suelo están siendo afectados, dichos elementos desempeñan una cadena de funciones significativos en las plantas aportando al desarrollo y fortalecimiento de su tallo, raíces y paredes celulares, formación y maduración de sus frutos (Simpson *et al*, 2015).

Además, estos cambios en el suelo por la agricultura, monocultivo, sobrepastoreo intensivo pueden acarrear daños ambientales como la erosión del suelo, la degradación y daños en la estructura de la materia orgánica esto sucede por una conversión en bosques tropicales en las tierras agrícolas que conduce a una fuerte reducción de la materia orgánica afectando las funciones como almacenador de carbón y suministro de fertilidad (Guillaume *et al*, 2016).

Uno de los métodos utilizados para la restauración de suelos es el biocarbón, que se produce generalmente con el propósito de almacenar a largo plazo el carbón en el suelo dando como beneficio potencial la fertilidad biológica físicas, químicas, provocando cambios efectivos en el suelo que favorecen sus propiedades y el crecimiento de los cultivos (Sing *et al*, 2014; Escalante *et al.*, 2016).

### **1.3.1.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo las enmiendas de biocarbón actúan en las condiciones edáficas en la restauración del suelo?

## **1.4.- OBJETIVOS**

### **1.4.1.- OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la variación de las condiciones edáficas en el proceso de restauración con biocarbón en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA).

### **1.4.2.-OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar parámetros físicos del suelo con y sin enmiendas de biocarbón en parcelas permanentes.

Determinar parámetros químicos del suelo con y sin enmiendas de biocarbón en parcelas permanentes.



## CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. ANTECEDENTES

La región amazónica ecuatoriana (RAE) u oriente corresponde a los territorios ubicados por debajo de los 1300 m.s.n.m. en las estribaciones orientales de los Andes, incluyendo todas las cordilleras y tierras bajas (Sáenz y Onofa, 2005). Según 16 inventarios y evaluación realizados en la jurisdicción regional del Amazonas se registran la predominancia de suelos Entisoles en orillares e islas, Entisoles asociados con Inceptisoles en terrazas bajas de inundación periódica, Inceptisoles en terrazas medias, Ultisoles e inceptisoles en terrazas altas, Inceptisoles asociados con Ultisoles en colinas bajas y medias (Rodríguez *et al*, 1991). La amazonia ecuatoriana tiene como principal tipo de suelo los oxisoles, estos se caracterizan por su alto contenido de hierro, presentan muy baja fertilidad, alto contenido de aluminio, se encuentran muy lixiviados por las altas precipitaciones, son arcillosos y ácidos (Granda, 2015).

Los suelos amazónicos tienen baja aptitud agrícola y su uso intensivo conlleva a serios impactos, 53% del sobreuso se encuentra al norte y un 80% en sur de la Amazonia, esto se debe a la deforestación y sobreutilización de tierras (Ministerio del medio Ambiente [MAE], 2017). En áreas tropicales la conversión extensiva de bosques a pasturas y la intensificación agrícola son típicamente identificadas como los conductores más importantes de cambio en el uso del suelo, con consecuente pérdida de su fertilidad, calidad y biodiversidad (Bravo *et al*, 2017). La conversión del bosque interrumpe abruptamente el reciclaje natural de los elementos nutritivos, los cuales se lixivian por el efecto de la abundante lluvia, se acelera la mineralización de la reserva de MO y se instala el proceso de erosión y la degradación de la fertilidad del suelo (Valarezo, 2016).

Las enmiendas orgánicas se están considerando cada vez más por su capacidad de mejorar la calidad de los suelos (Luna *et al*, 2015). La fertilidad de la *terra preta* descubierta en los suelos de la región amazónica ha mantenido una alta fertilidad entre unos 2000 y 2500 años (García, 2014). La tecnología del carbón vegetal es una nueva tendencia con enfoques en mejorar la fertilidad del suelo, crecimiento de cultivos y control de contaminación (Novotny *et al*, 2015). El biocarbón ha sido promovido como una enmienda orgánica para recuperar suelos degradados, elevar la productividad agronómica e incrementar el secuestro de CO<sub>2</sub> (Valarezo *et al*, 2016).

## **2.2. CONCEPTOS BÁSICOS**

### **a) CARBÓN ORGÁNICO (BIOCARBÓN)**

La International Biochar Initiative en sus siglas IBI (2012) define al biocarbón como un material sólido obtenido de una conversión termoquímica de biomasa en un ambiente limitado de oxígeno. Es una sustancia rica en compuestos aromáticos y material mineral, producida mediante pirolisis de biomasa, por lo tanto, su uso contempla cualquier propósito que no implique una rápida mineralización de CO<sub>2</sub> y puede considerarse como una enmienda del suelo (Cely, 2016).

En general, el biocarbón tiene una alta porosidad, una gran área superficial específica y de adsorción, así como una alta capacidad de intercambio de cationes. La composición elemental del carbón vegetal comprende generalmente en la mayoría de los casos más de 60% de C, N, H y en menor cantidad elementos nutritivos como K, Ca, Na, Mg (Gul *et al.* 2015). El biocarbón ha demostrado tener un efecto positivo en las propiedades químicas y físicas de los suelos, además de contribuir a mejorar la producción de biomasa y rendimiento de los cultivos (Alonso, 2016).

### **b) PRODUCCIÓN DE BIOCARBÓN**

La producción de biocarbón se pueden dar de cuatro maneras: pirolisis lenta, pirolisis rápida, pirolisis ultra rápida y gasificación por lo que se realizan por métodos a cambios de temperaturas superiores de 400 °C, por lo cual se descompone la materia liberando gases y generando una fuente solida de energía renovable (Escalante, 2016).

### **c) SUELO**

Ha sido definido de varias formas según el estudio, generalmente se lo estudia como un cuerpo aislado donde se evalúan las propiedades (Zúñiga *et al.* 2018). Se especifica como un recurso natural finito y no renovable que presta varios servicios ecosistémicos o ambiental (Burbano, 2016).

### **d) DENSIDAD APARENTE**

Se define como el peso seco del suelo por la unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo su espacio poroso. Además, puede ser incluida dentro de los parámetros necesarios para evaluar la calidad del suelo, como un indicador de la estructura y resistencia mecánica (Rubio, 2010). Es la característica que tiene

una alta influencia en la productividad de los suelos, por su estrecha relación con otras propiedades (Salamanca y Sadeghian, 2005).

### **e) CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

La salinidad hace referencia a la cantidad de sales en una solución y es estimada indirectamente por la medición de la conductividad eléctrica, es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, será más alto el valor cuando más fácil se mueva la corriente a través del mismo, es decir que, a mayor CE, mayor es la concentración de las sales (Espinosa, 2018). La acumulación de sales origina la salinización afectando la productividad del suelo y la calidad ambiental del ecosistema (Gallard, 2017).

### **f) MATERIA ORGÁNICA**

Es la parte orgánica que cumple un papel esencial en el suelo, comprendida por sustancias orgánicas resultantes de la descomposición de materias orgánicas de origen vegetal (Julca *et al*, 2006). Ejerce efectos beneficiosos sobre la fertilidad del suelo, el crecimiento de las plantas y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Sanchez *et al*, 2005).

### **g) pH**

Es un término que indica la concentración de iones de hidrógeno en una solución. Es una medida de acidez (Piedrahíta, 2009). El pH influye en la disponibilidad de nutrientes, es causa que los elementos necesarios para las plantas no se encuentren en niveles adecuados causando deficiencia o toxicidad, además puede afectar la estructura del suelo (Ibarra *et al*, 2009).

### **h) ACIDEZ INTERCAMBIABLE**

La acidez está determinada por la actividad de los iones hidrógeno (Espinosa, 2018). La acidez en las capas superiores y del subsuelo afecta alrededor del 30% y 75% de la superficie global (FAO, 2016). Es uno de los principales retos para la agricultura en regiones tropicales, debido a que los fundamentos de la acidez son universales. (Sánchez, 2012).

### **i) ALUMINIO INTERCAMBIABLE**

Los suelos ácidos es el resultado de la mineralización de materiales parentales con un bajo contenido de cationes, disminución de pH debido a la lixiviación de los elementos y de prácticas agrícolas que incluyen fertilizantes amoniacales (Rivera *et al*, 2016). El aluminio

intercambiable tiene incidencia directa sobre la toxicidad en los suelos ácidos (Navarro, 2007).

## **j) POTASIO**

Es un macro elemento esencial para las plantas, también se le considera un elemento primario por su intervención en las funciones primarias de la planta (Larriva, 2013). Cumple un papel importante en la activación de enzimas, los cuales actúan en procesos metabólicos como fotosíntesis, tiene incidencia en el balance del agua y el crecimiento. Además, el potasio esta inmediatamente disponible y puede ser absorbido por las plantas de forma inmediata (Conti, 2002.).

## **k) CALCIO**

Es un nutriente esencial para las plantas e interviene en procesos de regulación estomática, formación la estructura de la pared de las células y alargamiento celular, además está presente en la corteza terrestre con 3,64% (Mengel y Kirkby, 2000). Sin embargo, la mayoría de suelos contiene suficiente Ca, la deficiencia puede darse en los suelos tropicales (FAO, 2002).

## **l) MAGNESIO**

Es un constituyente esencial de las moléculas de clorofila y su contenido medio presente en la corteza terrestre asciende a 2.07% (Mengel y Kirkby, 2000). La absorción por parte de la planta está influenciada negativamente por la relación K/Mg, Ca/Mg, NH<sub>4</sub>/Mg y un valor bajo de pH; además la deficiencia de Magnesio se considera en un factor importante que limita la producción de cultivos (Cakmak, 2010).

## **m) FÓSFORO**

Es un macronutriente que desempeña un importante papel metabólico en la respiración y fotosíntesis, en el almacenamiento y transferencia de energía. Es un determinante para el desarrollo de las raíces (Becerra, 2007). El contenido de este macronutriente es muy variable y depende principalmente de la naturaleza del material original, características climáticas, grado de meteorización y del manejo del suelo (Pellegrini, 2017).

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

La degradación de los suelos es considerada como uno de los problemas ambientales que amenaza la producción de alimentos (PNUMA, 2000). Se refiere a los procesos provocados

por la sociedad que reducen la capacidad actual y futura del suelo para sostener la vida humana, además los fenómenos de la degradación disminuyen la calidad del suelo, al igual que de la capacidad de funcionar, mantener o mejorar la calidad del aire, agua y sostener la salud humana (Cotler *et al.*, 2007). Factores abióticos como el viento y el agua pueden producir este fenómeno, así como las actividades antropogénicas, entre éstas destacan las malas prácticas agrícolas como la mecanización excesiva, la agricultura, la no rotación de cultivos, el pastoreo abusivo y el uso de agroquímicos; Además la degradación se explica por la interacción de factores climáticos (temperatura y precipitaciones), cambios en el uso de suelo, características del paisaje y factores socio-económicos y políticos (De Lima *et al.*, 2016).

La Amazonia representa más del 40 % de la superficie del Ecuador y conforma una de las mayores reservas ecológicas, debido esencialmente a su riqueza biológica y endemismo (Torres, *et al.*, 2014). Sin embargo, esta región ha venido experimentando altas tasas de deforestación y cambios en el uso del suelo, con la consecuente afectación sobre la biodiversidad, el agua, suelo y la disminución o pérdida de servicios ecosistémicos (Vargas *et al.*, 2014).

Los recursos naturales en la Amazonia están siendo afectados por varios constituyentes desfavorables como: la degradación del suelo y cambios climatológicos; provocando efectos en la producción agraria, actualmente los suelos están bajo serias presiones, como el cambio de uso del suelo, la ampliación de las fronteras agrícolas, la contaminación por las actividades petroleras y minera, la expansión urbana y excesivo uso de químicos en los cultivos (FAO, 2017). Desde el punto de vista sistémico la fertilidad del suelo constituye uno de los componentes centrales del agroecosistema como uno de los atributos conectado con la sustentabilidad, el cual debe permitir su adecuado manejo a la productividad, mejorando la su textura como el adecuado contenido de materia orgánica, humedad, pH y nutrientes (Bravo *et al.*, 2017).

La fertilidad de un suelo esta acogida en los nutriente está definida por dos parámetros principales a propiedades químicas y propiedades físicas (Alconada *et al.*, 2015), Se determina como serie de parámetros físicos; humedad y densidad aparente y químicos; pH, CE, MO, Al, P, Ca y K, a aquellos que ayuden a evaluar la calidad del suelo; algunos de estos parámetros son considerados como indicadores ya que permiten conocer las posibles modificaciones efectuadas en el suelo por el cambio de uso o manejo del mismo (Moreno, 2015).

## **2.4 BIOCARBÓN COMO ENMIENDA DE SUELOS**

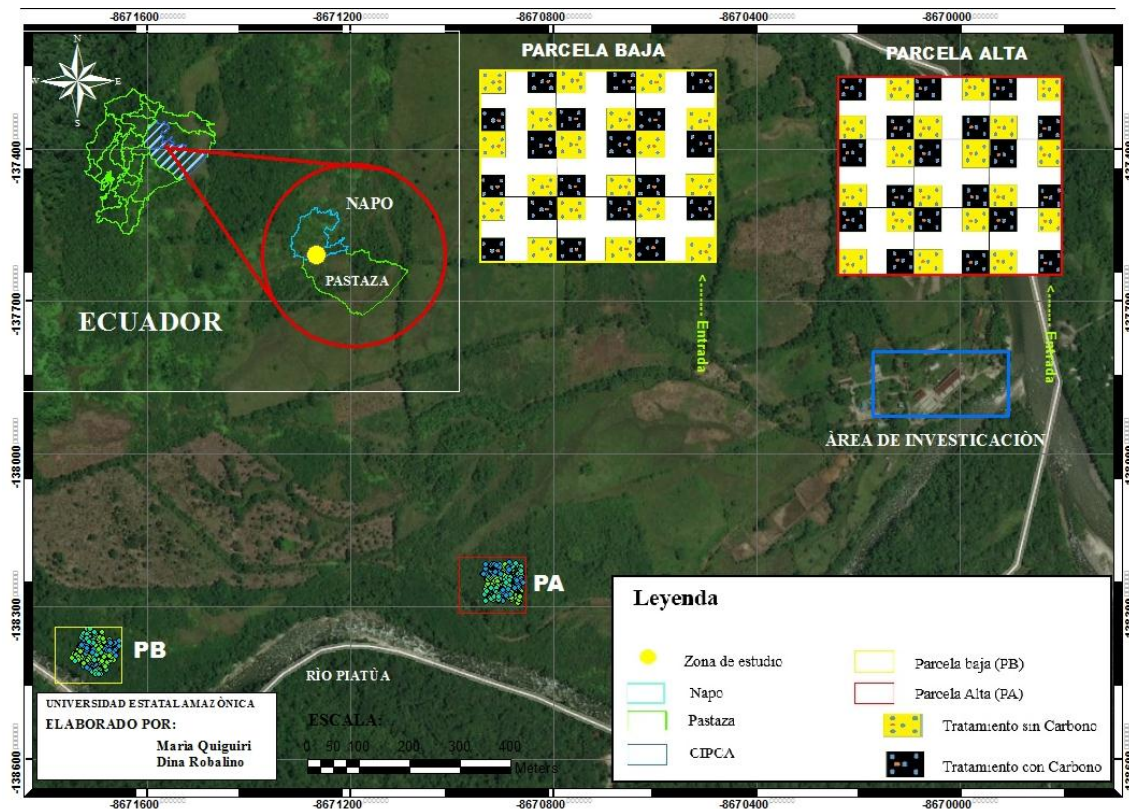
Existen avances positivos con miras a la restauración de suelos como la implementación de campañas para la conservación o restauración del recurso suelo en la mayoría de los países industrializados y en desarrollo (Gardi *et al*, 2013). Existen diversos estudios acerca de los efectos del biocarbón en los suelos como enmienda orgánica, debido a los altos contenidos en carbono los cuales mejora las propiedades fisicoquímicos del suelo, propiciando un eficiente uso de los nutrientes empleando recursos locales obtenidos de materiales renovables y sostenibles, además el biocarbón tiene un rol importante en la gestión sostenible del suelos y una gran potencial para convertirse en una intervención crítica a retos futuros (Cueto, 2016; Oses, 2013).

Diversos estudios han mostrado que la aplicación de biocarbón ayuda a evitar la lixiviación de los nutrientes (Sohi *et al*, 2009), incrementando los niveles de pH, los contenidos de calcio, magnesio, potasio y la disponibilidad de fósforo (Xu *et al* 2012; Novak *et al*, 2009). Otras investigaciones similares a las antes mencionadas han llevado a dar argumentos concluyentes para que el biocarbón sirva como herramienta importante de la gestión del suelo (Oses, 2013).

# CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

## 3.1. LOCALIZACIÓN

El proyecto de investigación se realizó en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA), ubicado en el kilómetro 42 en el Cantón Santa Clara entre la Provincia de Pastaza y Arosemena Tola Provincia de Napo, junto a la desembocadura del río Anzu y Piatúa; Su altitud de 580 a 1120 msnm, precipitación anual que varía de 1000 a 4000mm y una temperatura promedio de 18,6°C (CIPCA, 2013). Con un clima sub tropical lluvioso de bosque siempre verde de acuerdo al sistema de clasificación de ecosistemas del Ecuador Continental, (MAE, 2012). La parcela alta posee características de un suelo orgánico, con una humedad de 61,40 %, está ubicada a 150 metros en línea recta del río Piatúa. La parcela baja posee características de suelo aluvial, con una humedad de 49,20% está ubicado a 10 metros en línea recta del río Piatúa, constando con un suelo franco-arcilloso (Malucin y Romero, 2016; Silva, 2015). **Figura 1**



**Figura 1.** Ubicación del proyecto Sistema Silvícola Industriales como un aporte multifuncional a la Economía Verde en la Producción Amazónica (SSIEV) Parcelas experimentales.

## **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El proyecto se orienta en dos tipos de investigación: Experimental que se enfocará en el análisis físico – químico dentro del laboratorio y exploratoria donde se obtendrá una investigación inicial en base a la revisión literaria.

## **3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

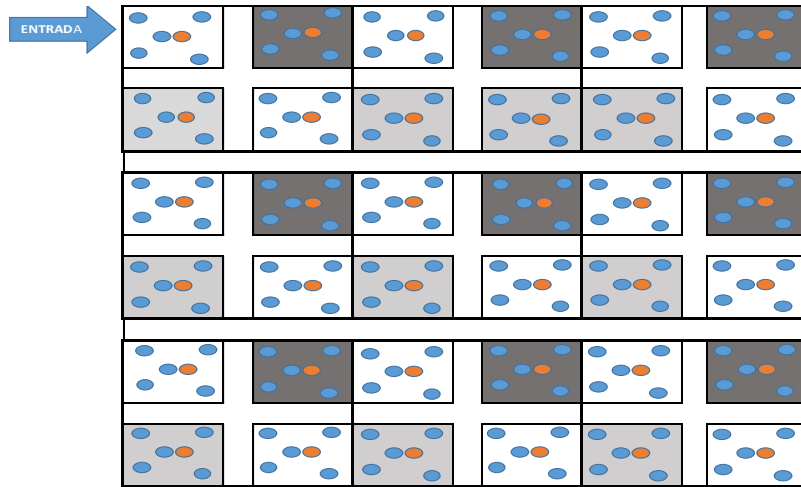
Para el presente trabajo se utilizó el método analítico, mediante el análisis físico-químico para observar las variaciones edáficas con las enmiendas de biocarbón y el control en un periodo de un año.




### **3.3.1. TRABAJO DE CAMPO**

En el trabajo de campo se realizó la toma de muestras en las parcelas: PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) del proyecto Biochar-B, que contiene tratamientos de 10 x10m con enmiendas de biocarbón B1 (manufacturado) con un pH 10,17, B2 (tradicional) con un pH 8,8 y C (control) con una separación de 5 m entre ellas. Se realizó un muestreo sistemático compuesto, en cada tratamiento se tomaron 5 sub-muestras suelo a una profundidad de (0 - 5 cm) las cuales fueron homogenizadas para obtener una muestra compuesta de 500g, además del centro de cada tratamiento se tomó una muestra con un cilindro de 5cm de longitud, radio de 2,4cm y un volumen de 93,12 cm<sup>3</sup> para analizar la densidad aparente, todas las muestras fueron colectadas en fundas ziploc con su respectiva identificación. En total se colectaron 72 muestras en cada parcela, de las cuales se analizaron los datos actuales, comparándolos con los datos obtenidos de suelos colectados al momento de la implementación del biocarbón en las parcelas permanentes (Villalta y Ortega, 2018). **(Figura 2, Figura 3).**

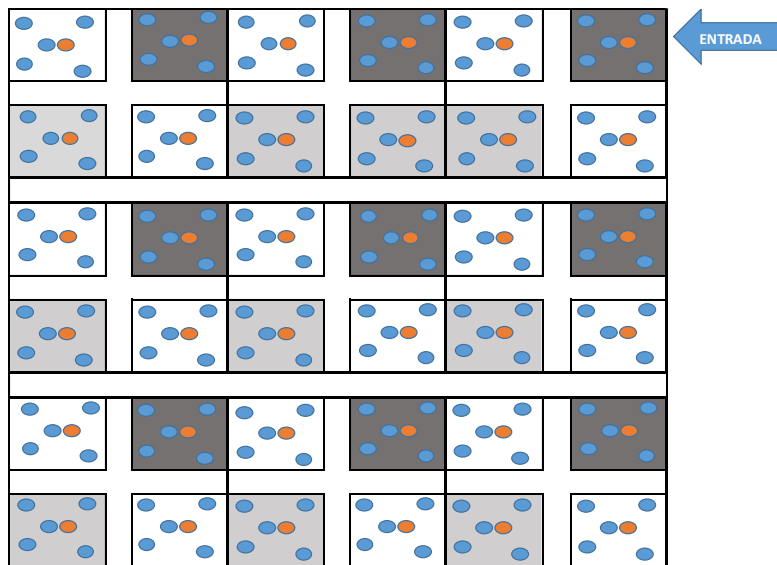





### Parcela alta



**Figura 2.** Parcela alta con diferentes tratamientos con y sin enmiendas de biocarbón (B1 (biocarbón manufacturado  ; B2 (biocarbón tradicional)  y Control .)

### Parcela Baja



**Figura 3.** Parcela baja con diferentes tratamientos con y sin enmiendas de biocarbón (B1 (biocarbón manufacturado  , B2 (biocarbón tradicional)  y Control .)

## 3.3.2. TRABAJO EN LABORATORIO

Para el tratamiento de las muestras se colocaron las muestras de suelo de 500g en bandejas al aire libre bajo sombra, para secarlas. Las muestras obtenidas con el cilindro fueron llevadas al laboratorio de suelos para su debido análisis. Luego de secar las muestras se procedió a moler y tamizar en un tamiz de 2mm de diámetro.

## PARÁMETROS FÍSICO

### Densidad aparente

Las muestras obtenidas mediante el cilindro fueron ubicadas en fundas ziploc. Se las colocó en la estufa a 105 °C por 24 horas y luego se colocó en el desecador y se pesaron obteniendo el peso seco (Andrades *et al*, 2015).

Por diferencia de peso se determinó a través de la siguiente formula.

### Formula del volumen:

$$V = (\pi * r^2) * h \quad (1)$$

$$\pi = 3,1416$$

r= radio del cilindro

h= altura del cilindro.

Formula de densidad aparente

$$Da = \frac{\text{Peso del suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

## PARÁMETROS QUÍMICOS

### Potencial de hidrogeno (pH)

Se colocó 10g de suelo en un vaso de precipitación se añadió 25 ml de agua destilada luego con el equipo agitador se lo agito por 5 minutos y se dejó reposar durante 30 min. Se calibró el potenciómetro con soluciones reguladores con pH 4, pH7 y pH10. Se procedió a introducir el electrodo en la muestra en suspensión y se realizó la lectura de pH cuando se haya estabilizado el potenciómetro (Álvarez y Marín, 2011).

### Conductividad eléctrica:

Obtención extracto de saturación: se tomó 60g de suelo y agregó agua destilada en un vaso de precipitación agitando con una varilla de vidrio hasta el punto de saturación, se dejó reposar por 24 horas y se procedió a filtrar al vacío en un embudo Buchner utilizando papel filtro. Se calibró el conductímetro con solución de cloruro de potasio 0.01N y se midió la resistencia eléctrica (Castellanos, 2013).

## **Materia Orgánica**

Se pesó 5 g de suelo en un crisol, se colocó las muestras pesadas en la estufa a 105°C por 24 horas, se enfrió en el desecador por 30min y se procedió a pesar. Luego de pesar se colocó en la mufla por 2 horas a 360°C. Se sacó las muestras y se colocó en el desecador hasta que alcance temperatura ambiente, seguidamente se pesó y se obtuvo el resultado (Schulte y Hopkins, 1996). La determinación de la materia orgánica se realizó por el método de pérdida de peso por ignición con el método de mufla a través de la siguiente formula.

Formula:

$$\% MO = \frac{\text{Peso del suelo a } 105^{\circ}C - \text{Peso del suelo a } 360^{\circ}C}{\text{Peso del suelo a } 105^{\circ}C} * 100 \quad (3)$$

**Bases cambiables y contenido de fosforo:** Serán medidos por la metodología de Olsen modificado (McKean, 1993).

### **Preparación de disolución extractante Olsen modificado**

Se disolvió en 420 g de NaHCO<sub>3</sub> en agua destilada y desmineralizada parcialmente en pequeños volúmenes (1000ml), hasta la completa disolución de NaHCO<sub>3</sub>. Luego disolvió 37,2 g de EDTA en agua destilada y desmineralizada, se mezcló las dos soluciones y se llevó a un volumen de 10 litros con agua destilada. Se controló el pH de la solución a 8,5 con NaOH 10 N o HCL 1N (McKean, 1993).

### **Aluminio intercambiable**

Se tomó 2,5 gramos de suelo y añadió 25 ml de KCL 1N, se agitó la muestra por 10 min a 400 rpm, se filtró la muestra en papel filtro, luego se tomó una alícuota de 10 ml del filtrado y añadió 10 ml de agua destilada y 3 gotas de rojo metilo y se realizó la titulación con solución de NaOH 0.01N hasta cuando aparezca un color amarillo opaco (McKean, 1993).

Se determinó aluminio intercambiable a través de la formula siguiente.

$$H^+ \text{ intercambiable} = V_2 \times N \times 100 \quad (Al^{+3} = Al^{+3} + H^+ - H^+) \quad (4)$$

V<sub>1</sub> = Volumen de NaOH, utilizados al titular rojo de metilo

N = Normalidad de NaOH (0.01)

Al +3 + H+ = meq/100 ó Cmol/K

### **Acidez intercambiable**

Se tomo 2,5 gramos de suelo y añadir 25 ml de KCL 1N, se agito la muestra por 10 min a 400 rpm, filtrar la muestra en papel filtro, luego se tomó una alícuota de 10 ml del filtrado y añadir 10 ml de agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína y se realizó la titulación con solución de NaOH 0.01N hasta cuando aparezca un color rosado opaco (McKean, 1993).

Se determinó acidez intercambiable a través de la formula siguiente.

Fórmula:

$$Al^{+3} + H^{+} = V1 \times N \times 100 \quad (5)$$

V1= Volumen de NaOH, utilizados al titular Fenolftaleína

N= Normalidad de NaOH (0.01)

$Al^{+3} + H^{+} = meq/100$  ó  $Cmol/Kg$

### **Potasio y Calcio**

Se tomó 2,5 g de suelo y adicionó 1 ml de solución extractante Olsen, se agregó 20 ml de agua destilada y 4 ml  $La_2O_3$  al 1%. Por último, se realizó la lectura en el equipo (Bertsch, 1995).

### **Fósforo**

Se tomó una alícuota de 1 ml del filtrado Olsen se añadió 4 ml de agua destilada y 5 ml del reactivo color B, se mezcló y se dejó reposar por 1 hora en la oscuridad. Se procedió a leer la absorbancia en el equipo a longitud de onda a 680nm (Bertsch, 1995).

## **3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

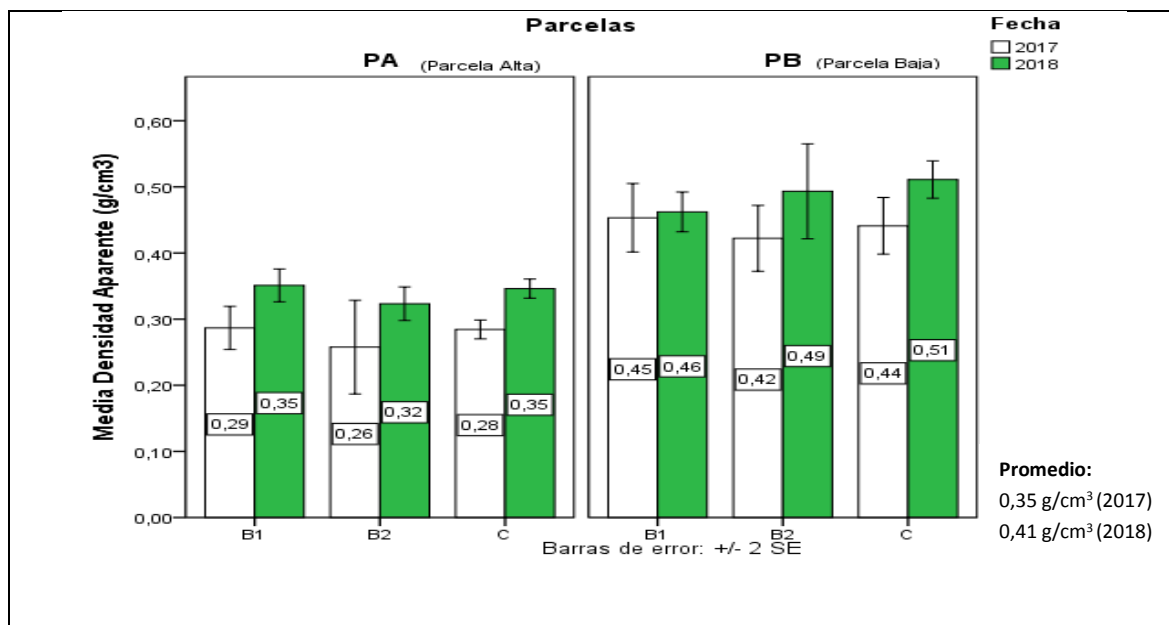
Para el tratamiento de datos y resultados se utilizó el programa Microsoft Excel 2013 en formato xlsx para determinar la media en barras con un margen de error +/- 2 SE en el programa SPSS versión 22, luego se procedió a cambiarlo al formato CVS (delimitado por comas) para una estadística no paramétrica mediante el programa R- Studio con el método de ARTool-Anova (Wobbrock *et al*, 2011). Con el modelo siguiente:

$$Y \sim A * B$$

La variable de respuesta (Y), está en función del biocarbón (B) y multiplicada por la variación propia efectuada por la fecha (B)

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE PARÁMETRO FISICO DENSIDAD APARENTE



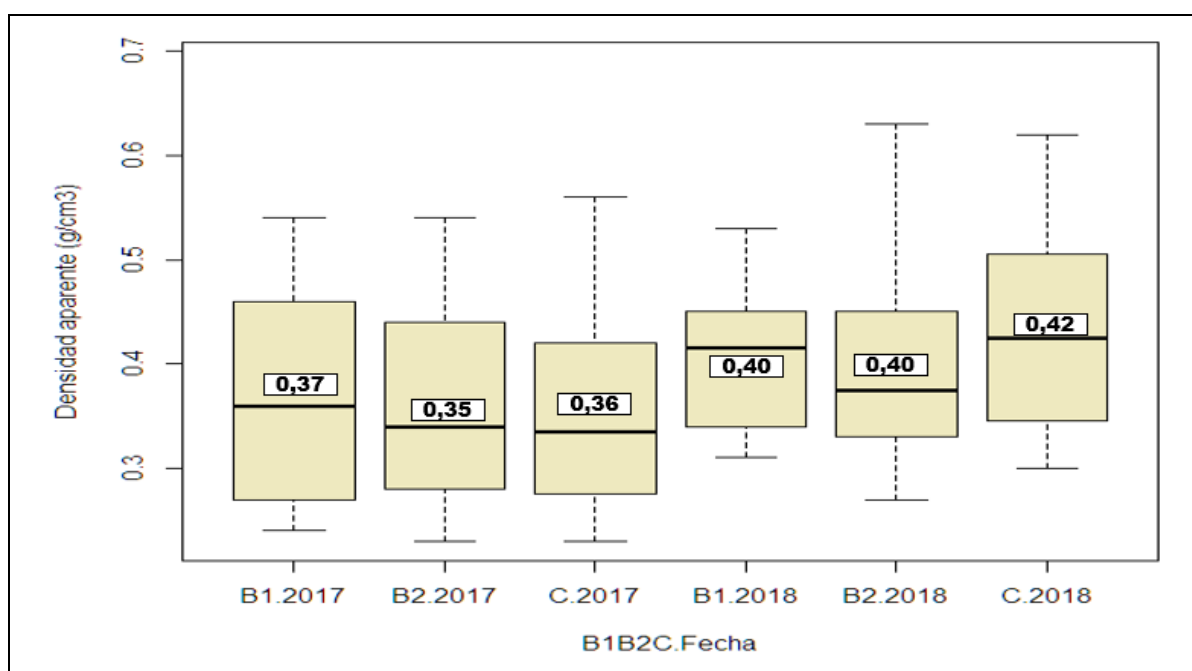
**Figura 4.** Promedio de densidad aparente en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control).

**Tabla 1.** Variación de la densidad aparente en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.

Tratamiento	2017	2018	Incremento
PA B1	0,29	0,35	0,06
PA B2	0,26	0,32	0,06
PA C	0,28	0,35	0,07
PB B1	0,45	0,46	0,01
PB B2	0,42	0,49	0,07
PB C	0,44	0,51	0,07

La densidad aparente tiene un promedio inicial de  $0,35 \text{ g/cm}^3$  en el año 2017, el cual aumentó a  $0,41 \text{ g/cm}^3$  para el año 2018, al analizar conjuntamente las parcelas en estudio: PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) (**Figura 4**). En la PA los resultados mostraron incremento en el tratamiento C (control)  $0,07 \text{ g/cm}^3$ , B1 (biocarbón manufacturado)  $0,06 \text{ g/cm}^3$ , B2 (Biocarbón tradicional)  $0,06 \text{ g/cm}^3$ . Mientras que en PB la densidad aparente aumento en los tratamientos B2 ( $0,07 \text{ g/cm}^3$ ), C ( $0,07 \text{ g/cm}^3$ ) y B1 ( $0,01 \text{ g/cm}^3$ ). **Tabla 1**

La aplicación de biocarbón disminuye la densidad aparente (Escalante *et al*, 2016), en los resultados de estudio se observó un incremento en el periodo de un año, pueden ser dado por varios factores: el aumento de la densidad aparente se da principalmente por el incremento de arena en los perfiles del suelo (Hincapié y Tobon, 2010), tal como en la parcela baja que obtiene contenidos de arena en ella. Esta variable también se incrementa debido a la compactación por pisoteo, degradación y humedad del suelo (Salamance y Sadeghian, 2005). Estudios a largo plazo se hacen necesarios para interpretar estos resultados de este estudio.



**Figura 5.** Representación de cajas y bigotes de densidad aparente en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control) en la PA (parcela alta) y PB (parcela baja).

Comparación entre el año 2017 y 2018 con relación a la densidad aparente, la media en los tratamientos B1B2C oscilan entre 0,35 g/cm<sup>3</sup> a 0,37g/cm<sup>3</sup> (2017), incrementándose de 0,40 g/cm<sup>3</sup> a 0,42 g/cm<sup>3</sup> (2018). En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas entre fechas (**Figura 5, Tabla 2**).

Es común que los valores de densidad aparente aumenten cuando en algún horizonte hay migración de arcilla, en cuyo caso la arcilla se deposita sobre los agregados del suelo reduciendo el espacio de vacíos (Alvarado y Forsyte, 2005).

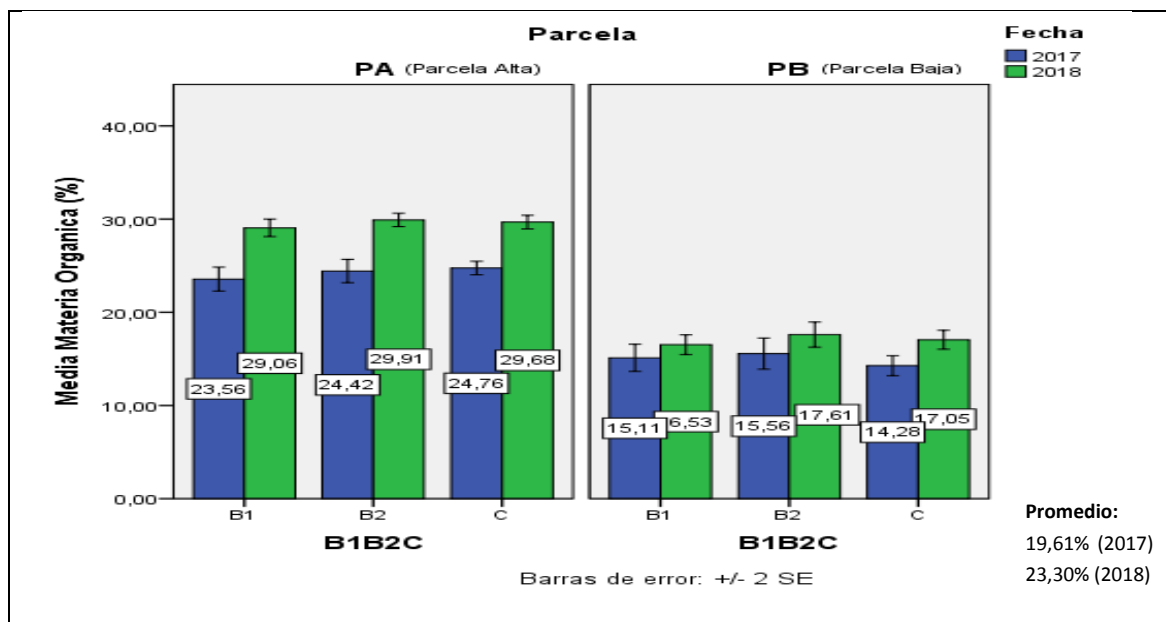
**Tabla 2.** Prueba de ARTool- anova para densidad aparentes con variables independientes B1B2C, Fecha e interacción entre B1B2C y Fecha.

	<b>f</b>	<b>gl</b>	<b>pr (&gt;f)</b>	<b>Significancia</b>
B1B2C	0.291	2	0.747	NS
Fecha	11.484	1	0.0009	***
B1B2C: Fecha	0.312	2	0.732	NS
<b>Significancia: 0"***", 0,001"***", 0.01"**, 0.05".", 0,1"'"1</b>				

En la **Tabla 2** se observaron que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de biocarbón (B1B2C), tampoco existen diferencias en la interacción entre B1B2C y fecha. Describiéndose una diferencia significativa ( $p < 0.001$ ) tan solo entre los años en estudio, como se describe en el párrafo anterior.

## 4.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS

### MATERIA ORGÁNICA



**Figura 6.** Promedio de materia orgánica en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control).

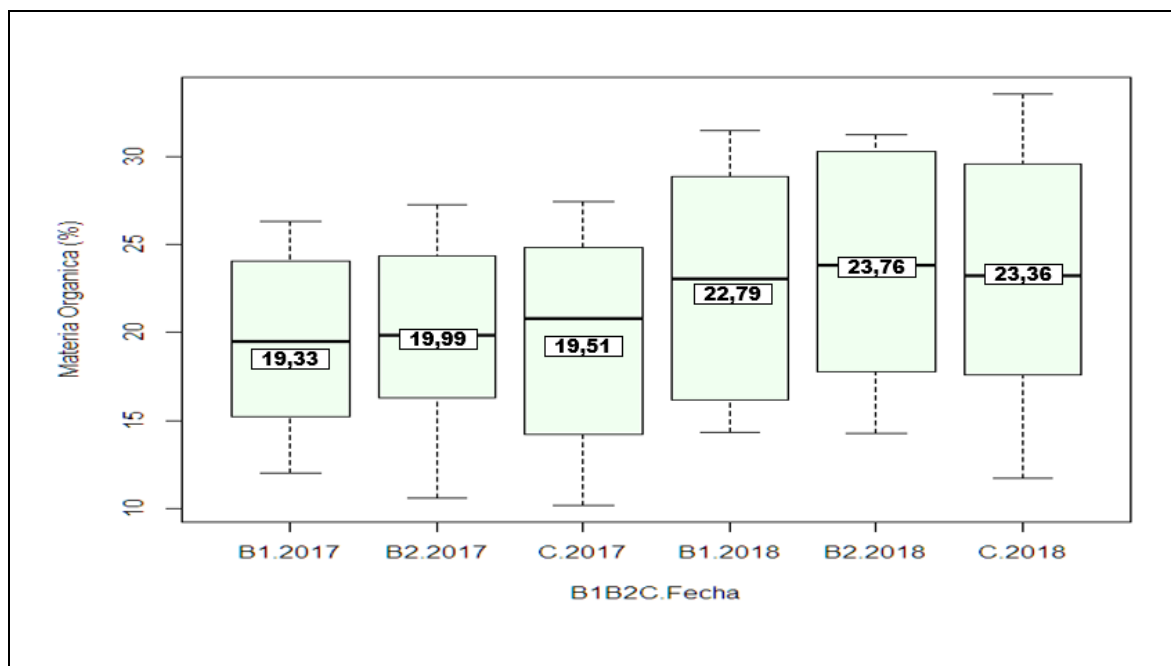
**Tabla 3.** Variación de materia orgánica en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.

Tratamiento	2017	2018	Incremento
<b>PA B1</b>	23,56	29,06	5,5
<b>PA B2</b>	24,42	29,91	5,49
<b>PA C</b>	24,76	29,68	4,92
<b>PB B1</b>	15,11	16,53	1,42
<b>PB B2</b>	15,56	17,61	2,05
<b>PB C</b>	14,28	17,05	2,77

La materia orgánica tiene un promedio inicial de 19,61% en el año 2017, el cual se incrementa a 23,30 % para el 2018, al analizar conjuntamente las dos parcelas en estudio: PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) (**Figura 6**). En la PA el resultado con relación a los tratamientos, mostraron un incremento en el tratamiento B1 (5,5 %), B2 (5,49 %) y C (4,92 %). En cambio, en la PB aumento en los tratamientos C (2,77 %), B2 (2,05 %) y B1 (1,42 %). **Tabla 3**



Se ha demostrado un incremento de los niveles de materia orgánica después de la aplicación de biocarbón (Altamirano *et al*, 2013), al igual que en la parcela alta en los tratamientos B1 y B2. El biocarbón ralentiza la mineralización de la (MO) permitiendo la acumulación en el suelo (Glaser *et al*, 2002). En la Reserva Talamaca de Costa Rica se realizó un estudio en jardines de cacao orgánico donde se observó el incremento de la aplicación de biocarbón de Gmelina arbórea donde se observó claramente el incremento de la MO en el suelo Inceptisol de 1, 28%: 4,97% (Control) a 6, 25% (Biocarbón) en 24 meses (Acosta *et al*, 2014).



**Figura 7.** Representación de cajas y bigotes de materia orgánica en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control) en la PA (parcela alta) y PB (parcela baja).

Se observaron la comparación entre el año 2017 y 2018 con relación a la Materia Orgánica, la media en los tratamientos B1B2C oscilan entre 19,33 a 19,99% (2017), incrementándose de 22,79 a 23,76 % (2018). En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas entre fechas (**Figura 7, Tabla 4**).

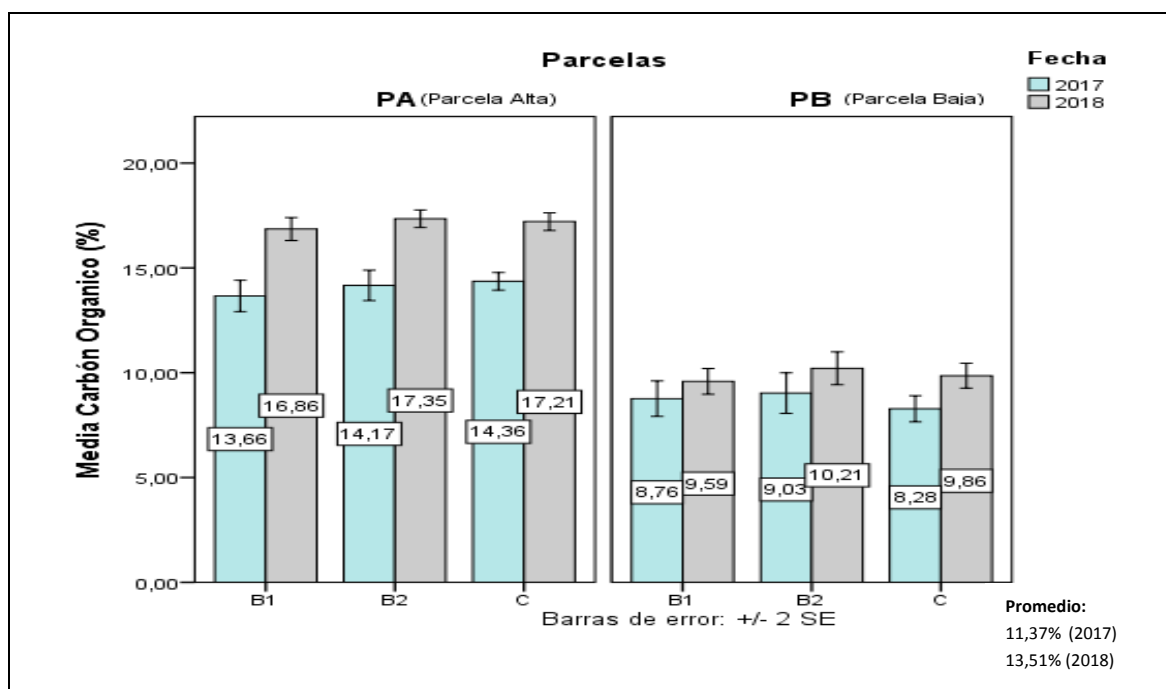
Un estudio realizado en la provincia de Chimborazo, Riobamba, donde se aplicó biocarbón triturado en cultivos de alfalfa en el cual se demuestra que el suelo analizado inicio con un 0.7 % de (MO) antes de la aplicación de biocarbón y aumento 1,8% después de su aplicación (Fiallos *et al*, 2015). En otro estudio realizado en la región Terai-Nepal, en cultivos de *Pisum sativum*, muestra que la aplicación de biocarbón tiene un efecto creciente en el porcentaje de (MO) con un nivel de significancia del 1% (Bhattarai *et al*, 2015).

**Tabla 4.** Prueba de Artool - anova para materia orgánica con variables independientes: B1B2C, fecha e interacción entre B1B2C y Fecha.

	<b>f</b>	<b>gl</b>	<b>pr (&gt;f)</b>	<b>Significancia</b>
B1B2C	0.401	2	0.669	NS
Fecha	15.251	1	0.00014	***
B1B2C: Fecha	0.034	2	0.965	NS
Significancia: 0 "****", 0,001 "**", 0.01 "*", 0.05 ".", 0,1 ""1				

En la **Tabla 4** se observaron que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de biocarbón (B1B2C), tampoco existen diferencias en la interacción entre B1B2C y fecha. Describiéndose una diferencia significativa ( $p < 0.001$ ) tan solo entre los años en estudio, como se describe en el párrafo anterior.

## CARBÓN ORGÁNICO

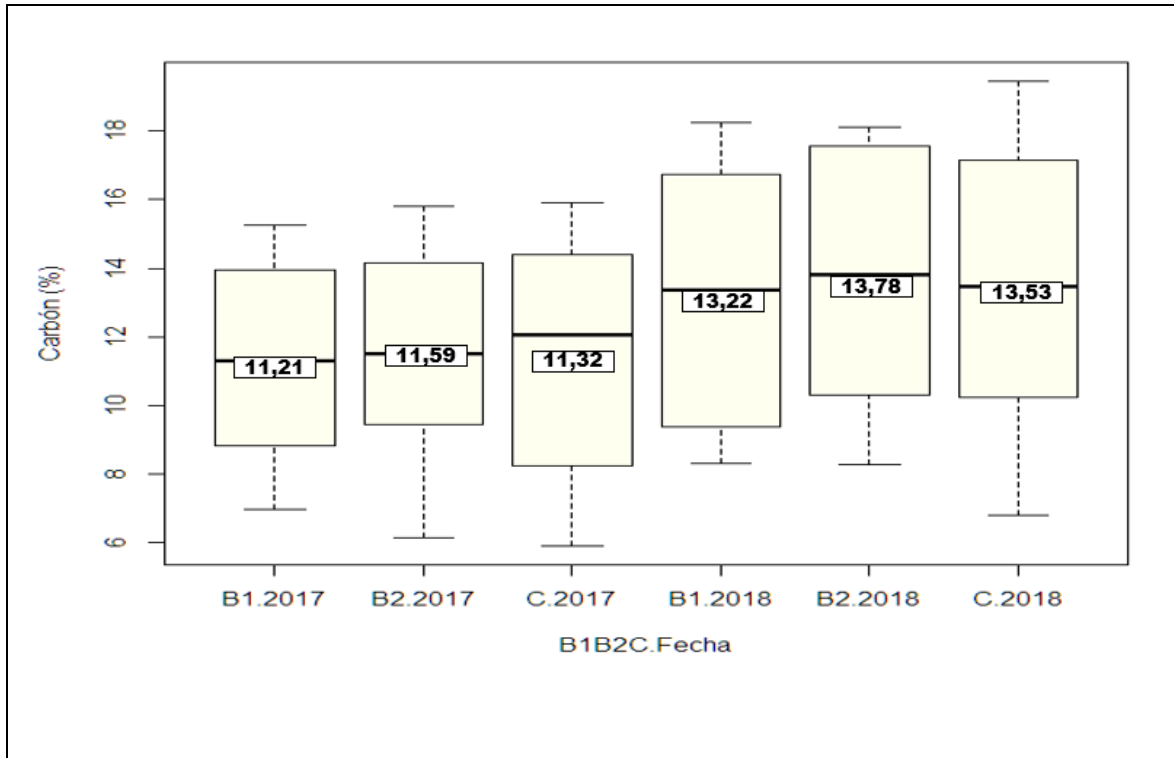


**Figura 8.** Promedio de carbón orgánico en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control).

**Tabla 5.** Variación de carbón orgánico en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018

Tratamiento	2017	2018	Incremento
PA B1	13,66	16,86	3,2
PA B2	14,17	17,35	3,18
PA C	14,36	17,21	2,85
PB B1	8,76	9,59	0,83
PB B2	9,03	10,21	1,18
PB C	8,28	9,86	1,58

El carbón orgánico tiene un promedio inicial de 11,37% en el año 2017, el cual incremento a 13,51 % para el 2018, al analizar conjuntamente las dos parcelas en estudio PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) (**Figura 8**). En la PA los resultados con relación a los tratamientos mostraron un incremento de B1 (3,20 %), B2 (3,18 %) y C (2,85 %). En cambio, en la PB los tratamientos obtuvieron los siguientes valores C (1,58 %), B2 (1,18 %) y B1 (0,83 %) (**Tabla 5**). El biocarbón es un mejorador de suelo por lo cual va incrementar el carbón orgánico Lehmann, (2009). El carbón orgánico incremento su valor de 0,42 a 1,05% después de la aplicación de biocarbón con una significancia del 1% en un estudio realizado en suelo de cultivo de alfalfa (Fiallos *et al*, 2015)



**Figura 9.** Representación de cajas y bigotes de carbón orgánico en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control).

Comparación entre el año 2017 y 2018 con relación al carbón orgánico, la media en los tratamientos B1B2C oscilan entre 11,21 a un 11,59 % (2017), incrementándose de 13,22 a 13,78 % (2018). En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas entre fechas (**Figura 9, Tabla 6**). Algunos estudios reportan altos contenidos del carbón orgánico en el suelo después de aplicar biocarbón (Timilsina *et al*, 2017).

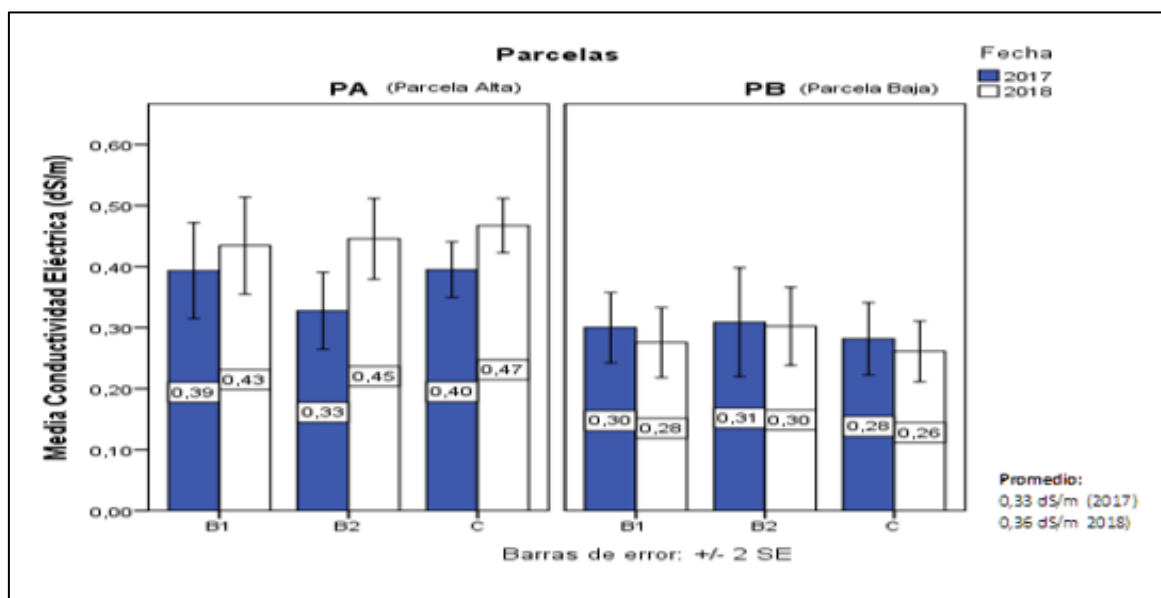
**Tabla 6.** Prueba de ARTool - anova para carbón orgánico con variables independientes: B1B2C, Fecha e interacción entre B1B2C y Fecha.

	<b>f</b>	<b>gl</b>	<b>pr (&gt;f)</b>	<b>Significancia</b>
B1B2C	0.397	2	0.672	NS
Fecha	15.074	1	0.0001	***
B1B2C: Fecha	0.029	2	0.970	NS

Significancia: 0 "\*\*\*\*", 0,001 "\*\*\*", 0,01 "\*\*", 0,05 ".", 0,1 ""1

En la **Tabla 6** se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de biocarbón (B1B2C), tampoco existen diferencias en la interacción entre B1B2C y fecha. Describiéndose una diferencia significativa ( $p < 0.001$ ) tan solo entre los años en estudio, como se describe en el párrafo anterior.

## CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



**Figura 10.** Promedio de conductividad eléctrica en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control).

**Tabla 7.** Variación de conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.

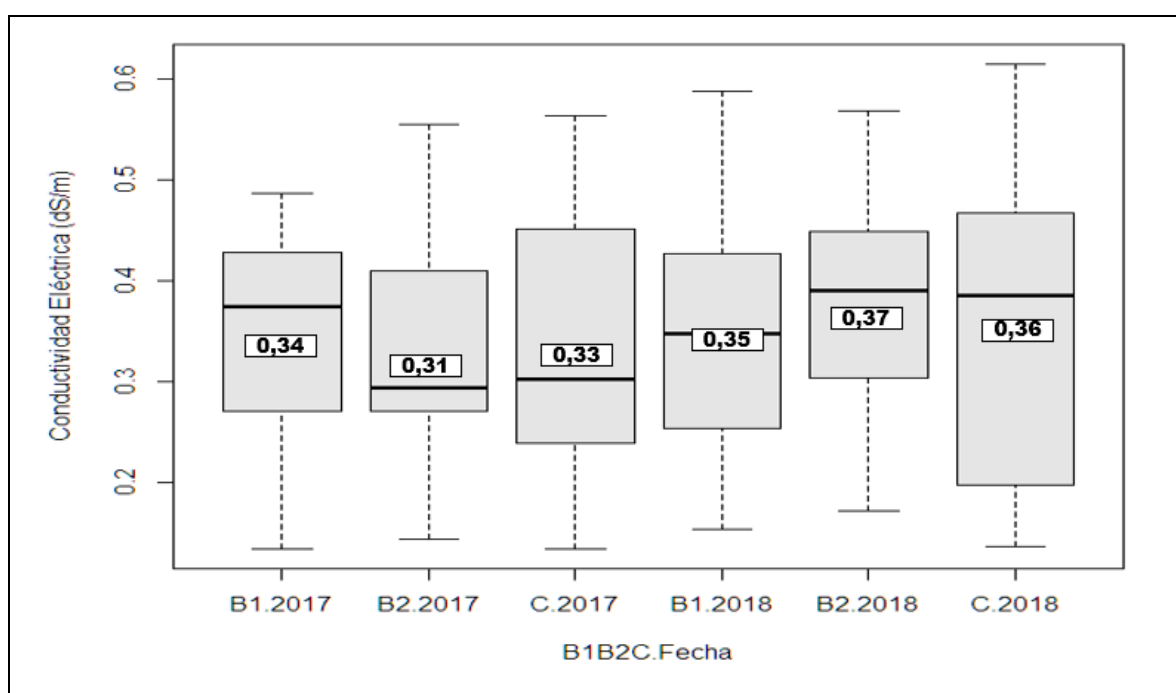
Tratamiento	2017	2018	Incremento
PA B1	0,39	0,43	0,04
PA B2	0,33	0,45	0,12
PA C	0,4	0,47	0,07
PB B1	0,3	0,28	-0,02
PB B2	0,31	0,3	-0,01
PB C	0,28	0,26	-0,02

Se observa los resultados de la conductividad eléctrica, con un promedio inicial de 0,33 dS/m en el año 2017, el cual se incrementó a 0,36 dS/m para el 2018, al analizar conjuntamente las parcelas en estudio: PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) (**Figura 10**). En la PA los resultados mostraron un incremento en el tratamiento B2 (0,12 dS/m), C (0,07 dS/m y B1 (0,04 dS/m). Mientras que en PB la conductividad eléctrica tuvo una disminución en los tratamientos B1 y C (0,02 dS/m), B2 (0,01 dS/m). **Tabla 7**

En España se realizó análisis de diferentes dos tipos de biocarbón en cultivos de plantas de girasol (*Helianthus annuus* L.), donde se obtuvieron datos en (biocarbón de pino) el cual

obtuvo un incremento significativo de 0,1%, pero biocarbón de poda de olivo tuvo una significancia de 0,7% lo cual da a denotar que con la aplicación de biocarbón aumenta la conductividad eléctrica (Mendez *et al*, 2013), tal como en la parcela Alta.

En la parcela baja se observa que disminuye la CE dS/m, esto se da principalmente por el lavado de las sales ya que el suelo de esta parcela tiene características de un suelo aluvial, la conductividad es un parámetro sensible a los cambios de mineralización de la (MO), perdidas por lixiviación y absorción de nutrientes (Abenza, 2012).



**Figura 11.** Representación de cajas y bigotes de conductividad eléctrica en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control).

Se observa la comparación entre el año 2017 y 2018 con relación a la conductividad eléctrica, la media en los tratamientos B1B2C oscilan entre 0,31 a 0,34 dS/m (2017), teniendo una variación 0,35 a 0,37 dS/m (2018). En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas entre fechas (**Figura 11, Tabla 8**).

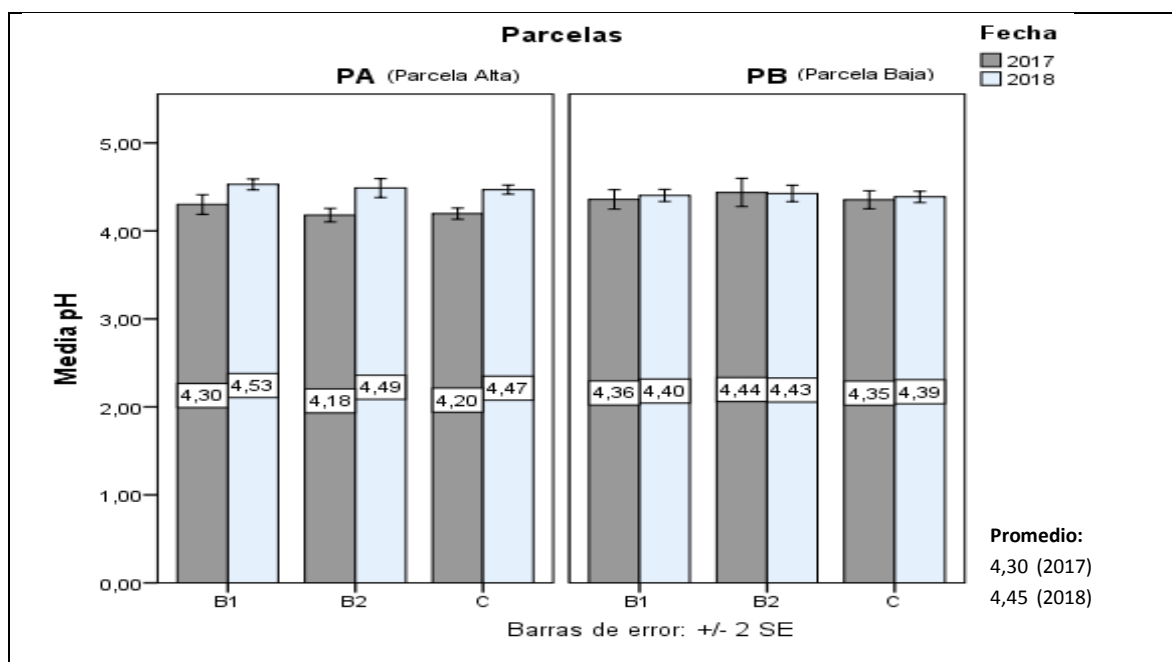
La conductividad eléctrica debe incrementar con la aplicación de biocarbón (Rosado *et al*, 2017). En el estudio realizado en Honduras de cultivos de pasto King Grass, donde se aplicó biocarbón se determinó que presentan diferencias mínimas en la conductividad eléctrica (Ali, 2013), como el caso en estudio.

**Tabla 8.** Prueba de ARTool - anova para conductividad eléctrica con variables independientes B1B2C, Fecha e interacción entre B1B2C y Fecha

	<b>f</b>	<b>gl</b>	<b>pr (&gt;f)</b>	<b>Significancia</b>
B1B2C	0.011	2	0.988	NS
Fecha	1.370	1	0.243	NS
B1B2C: Fecha	0.370	2	0.691	NS
<b>Significancia: 0 "***", 0,001 "**", 0.01 "*", 0.05".", 0,1 ""1</b>				

En la **Tabla 8** se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de biocarbón (B1B2C), en fecha y tampoco existen diferencias en la interacción entre B1B2C y fecha.

## POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)



**Figura 12.** Promedio de pH en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control).

**Tabla 9.** Variación del pH en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.

Tratamiento	2017	2018	Incremento
PA B1	4,3	4,53	0,23
PA B2	4,18	4,49	0,31
PA C	4,2	4,47	0,27
PB B1	4,36	4,4	0,04
PB B2	4,44	4,43	-0,01
PB C	4,35	4,39	0,04

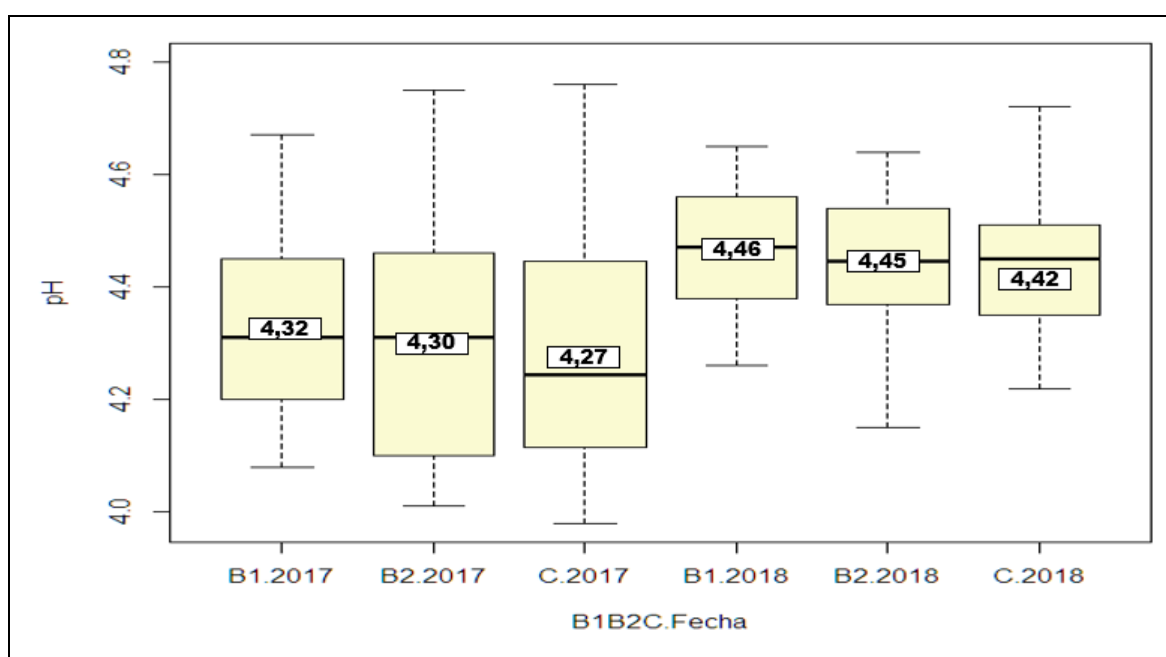
Se observa los resultados de pH, con un promedio inicial de 4,30 en el año 2017, el cual aumentó a 4,45 para el 2018, al analizar conjuntamente las parcelas en estudio: PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) (**Figura 12**). En la PA los resultados mostraron un incremento en los tratamientos B2 (0,31), C (0,27) y B1 (0,23). Mientras que en la PB el pH se obtuvo variación en todos los tratamientos B1 y C (0,04), B1 (-0,01). **Tabla 9**

En la parcela alta surgió un incremento en el B2 debido que biocarbón utilizado contiene un pH 8,8, el incremento del pH aumenta por la alcalinidad del biocarbón (Olmo y Villar, 2016). El estudio de España no dice que la implementación de biocarbón provoca el aumento del



pH, también dice que es por el tipo de biocarbón utilizado en este caso se utilizó dos tipos de biocarbón el de astilla de pino (menor contenido de ceniza), incrementando de 6,5 a 7,5 de pH y restos de poda de olivo (más contenido de ceniza) incremento de 7,5 a 8,5 mejor en su pH en un periodo de 4 meses, este incremento significativo se da por la cantidad de dosis (7,5 % de biocarbón respecto al peso seco del suelo) (Alburquerque *et al*, 2013).

La parcela baja obtuvo variaciones mínimas entre los tratamientos como lo menciona el estudio realizado en Honduras de cultivos de pasto King Grass, donde se aplicó biocarbón se determinó que presentan diferencias mínimas en pH aunque no se comprobó estadísticamente (Ali, 2013).



**Figura 13.** Representación de cajas y bigotes de pH en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control).

Se observa la comparación entre el año 2017 y 2018 con relación al pH, la media en los tratamientos B1B2C oscilan entre 4,27 a 4,32 (2017), incrementándose de 4,42 a 4,46 (2018). En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas entre fechas (**Figura 13, Tabla 10**).

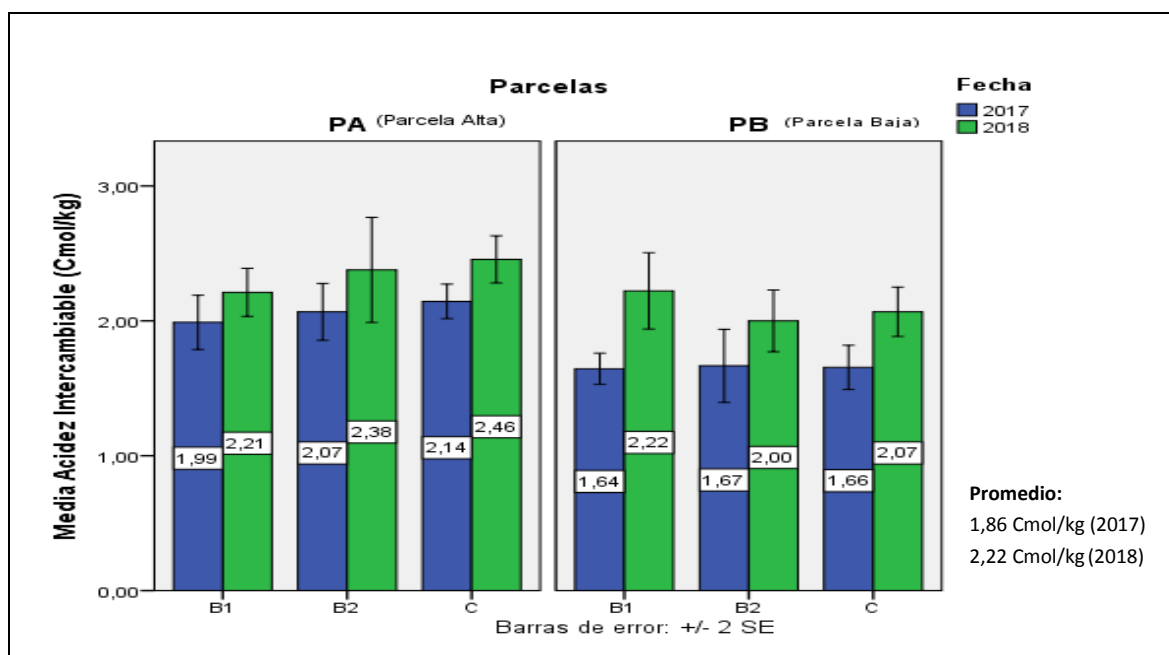
La variación del pH se da después de un año de la aplicación del biocarbón (Nates, 2014). El aumento del pH se da por la cantidad de dosis aplicada en el suelo (Houben *et al*, 2014).

**Tabla 10.** Prueba de ARTool - anova para pH con variables independientes: B1B2C, Fecha e interacción entre B1B2C y Fecha

	<b>f</b>	<b>gl</b>	<b>pr (&gt;f)</b>	<b>Significancia</b>
B1B2C	0.939	2	0.393	NS
Fecha	24.360	1	2,30E-02	***
B1B2C: Fecha	0.061	2	0.940	NS
Significancia: 0"***", 0,001"***", 0.01"*", 0.05".", 0,1""1				

En la **Tabla 10** se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de biocarbón (B1B2C), tampoco existen diferencias en la interacción entre B1B2C y fecha. Describiéndose una diferencia significativa ( $p < 0,001$ ) tan solo entre los años en estudio, como se describe en el párrafo anterior.

## ACIDEZ INTERCAMBIABLE

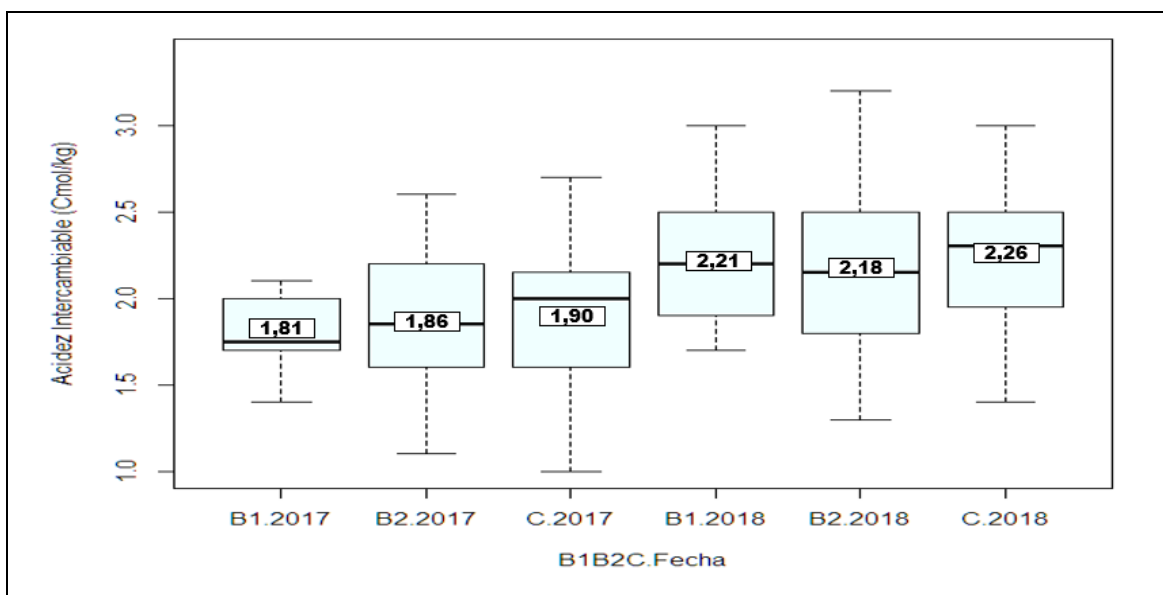


**Figura 14.** Promedio de acidez intercambiable en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control).

**Tabla 11.** Variación de la acidez intercambiable en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.

Tratamientos	2017	2018	Incremento
PA B1	1,99	2,21	0,22
PA B2	2,07	2,38	0,31
PA C	2,14	2,46	0,32
PB B1	1,64	2,22	0,58
PB B2	1,67	2	0,33
PB C	1,66	2,07	0,41

Se observa los resultados de la acidez intercambiable, con un promedio inicial de 1,86 Cmol/kg en el año 2017, el cual aumentó a 2,22 Cmol/kg para el 2018, al analizar conjuntamente las parcelas en estudio: PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) (**Figura 14**). En la PA los resultados mostraron un incremento en el tratamiento C (0,32 Cmol/kg), B2 (0,31 Cmol/kg) y B1 (0,22 Cmol/kg). Mientras que en PB la acidez intercambiable aumento considerablemente en todos los tratamientos B1 (0,58 Cmol/kg), C (0,41 Cmol/kg) y B2 (0,33 Cmol/kg) (**Tabla 11**). En las parcelas se observa el incremento de la acidez esto puede estar dado por el lavado de las bases intercambiables por las precipitaciones, por el aumento del aluminio intercambiable y descomposición de la materia orgánica (Sadeghian, 2016). Ha medida que el biocarbón va envejeciendo va creando acidez superficial en suelo por lo que el suelo se vuelve acido (Cheng y Lehmann, 2009).



**Figura 15.** Representación de cajas y bigotes de la acidez intercambiable en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control).

Se observa la comparación entre el año 2017 y 2018 con relación a la acidez intercambiable, la media en los tratamientos B1B2C oscilan entre 1,81 a 1,90 Cmol/kg (2017), teniendo una variación de 2,18 a 2,26 Cmol/kg (2018). En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas entre fechas. (**Figura 15, Tabla 12**).

El incremento de la acidez intercambiable también puede estar dado por varios factores como los cambios climáticos, la precipitación, la degradación de la materia orgánica provocando una mayor acidez en el suelo (Cheng y Lehmann, 2009).

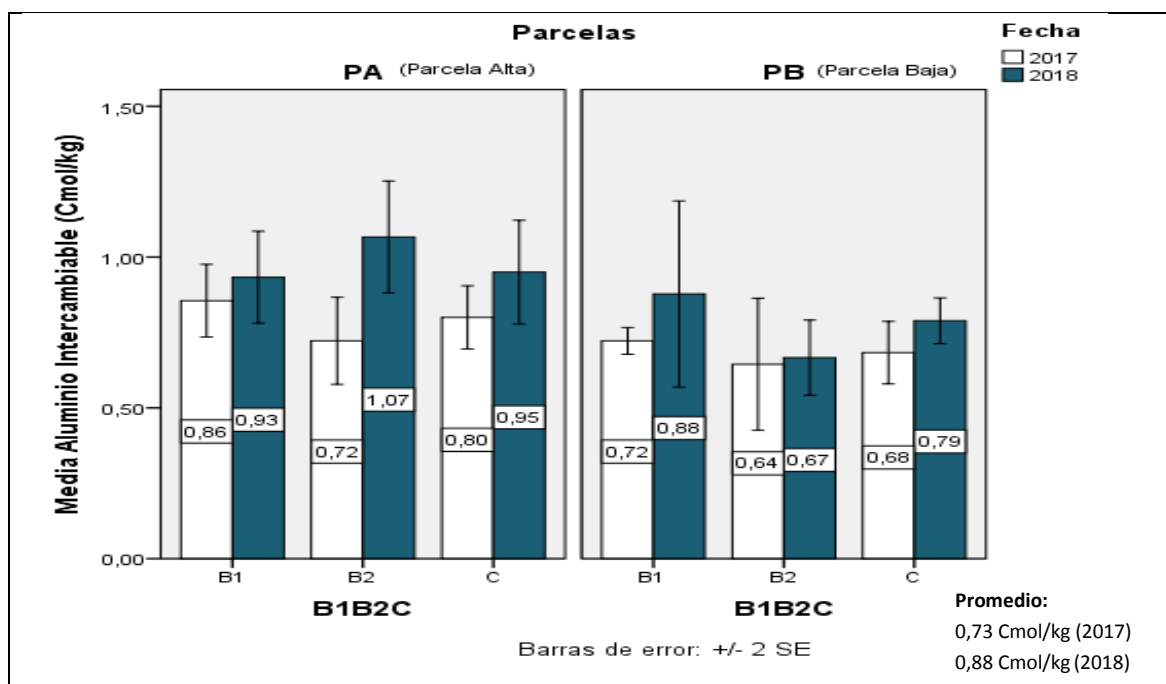
**Tabla 12.** Prueba de ARTool - anova para acidez intercambiable con variables independientes: B1B2C, Fecha e interacción entre B1B2C y Fecha

	f	gl	pr (>f)	
B1B2C	0.574	2	0.564	NS
Fecha	26.857	1	7,74E-03	***
B1B2C: Fecha	0.362	2	0.696	NS

Significancia: 0"\*\*\*", 0,001"\*\*\*", 0,01"\*", 0,05"., 0,1"1

En la **Tabla 12** se observaron que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de biocarbón (B1B2C), tampoco existen diferencias en la interacción entre B1B2C y fecha. Describiéndose una diferencia significativa ( $p < 0,001$ ) tan solo entre los años en estudio, como se describe en el párrafo anterior.

## ALUMINIO INTERCAMBIABLE



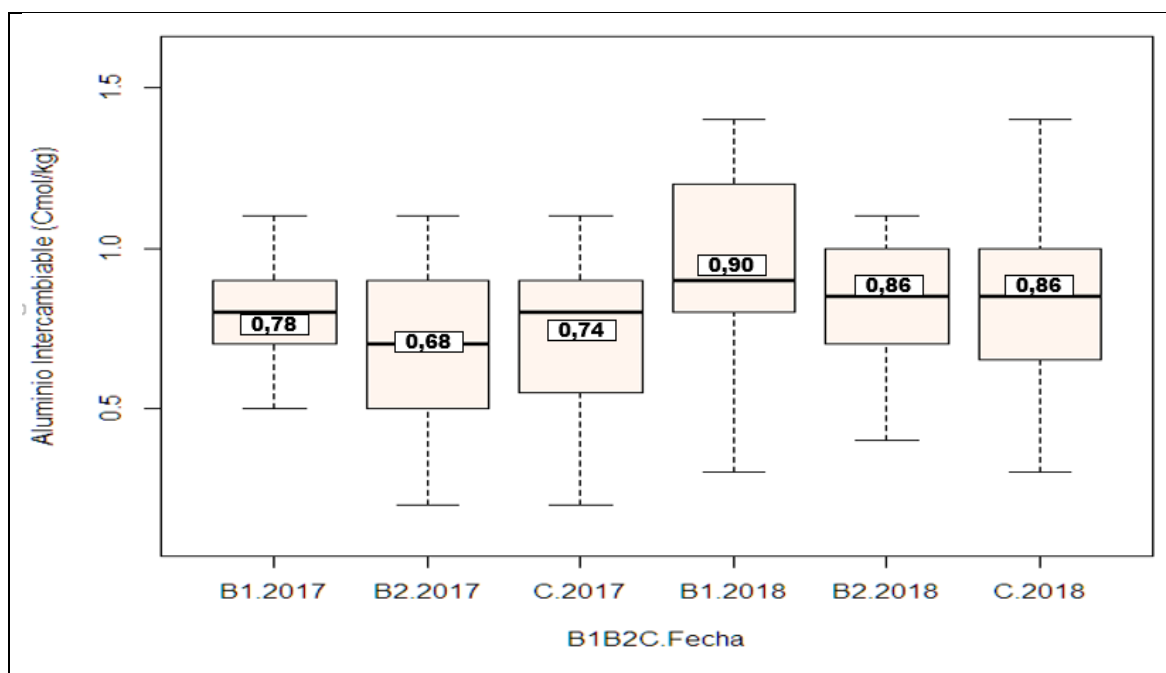
**Figura 16.** Promedio de aluminio intercambiable en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control).

**Tabla 13.** Variación de aluminio intercambiable en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.

Tratamientos	2017	2018	Incremento
PA B1	0,86	0,93	0,07
PA B2	0,72	1,07	0,35
PA C	0,8	0,95	0,15
PB B1	0,72	0,88	0,16
PB B2	0,64	0,67	0,03
PB C	0,68	0,79	0,11

Se observa los resultados de aluminio intercambiable, con un promedio inicial de 0,73 Cmol/kg en el año 2017, el cual incrementa a 0,88 Cmol/kg para el 2018, en las dos parcelas PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) (**Figura 16**). En la PA los resultados mostraron un leve incremento en el tratamiento B2 (0,35 Cmol/kg), C (0,15 Cmol/kg) y B1 (0,07 Cmol/kg). Mientras que en PB la acidez intercambiable aumento los tratamientos B1 (0,16 Cmol/kg), C (0,11 Cmol/kg) y B2 (0,03 Cmol/kg). **Tabla 13**

La aplicación de biocarbón reduce el aluminio intercambiable del suelo (Klau *et al*, 2011), en los datos de estudio hubo un incremento esto puede estar dado por el pH cuando un pH es <5,5 contiene altos grados de Aluminio en el suelo (Kochian, 1995).



**Figura 17.** Representación de cajas y bigotes de aluminio intercambiable en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control) en la PA (parcela alta) y PB (parcela baja).

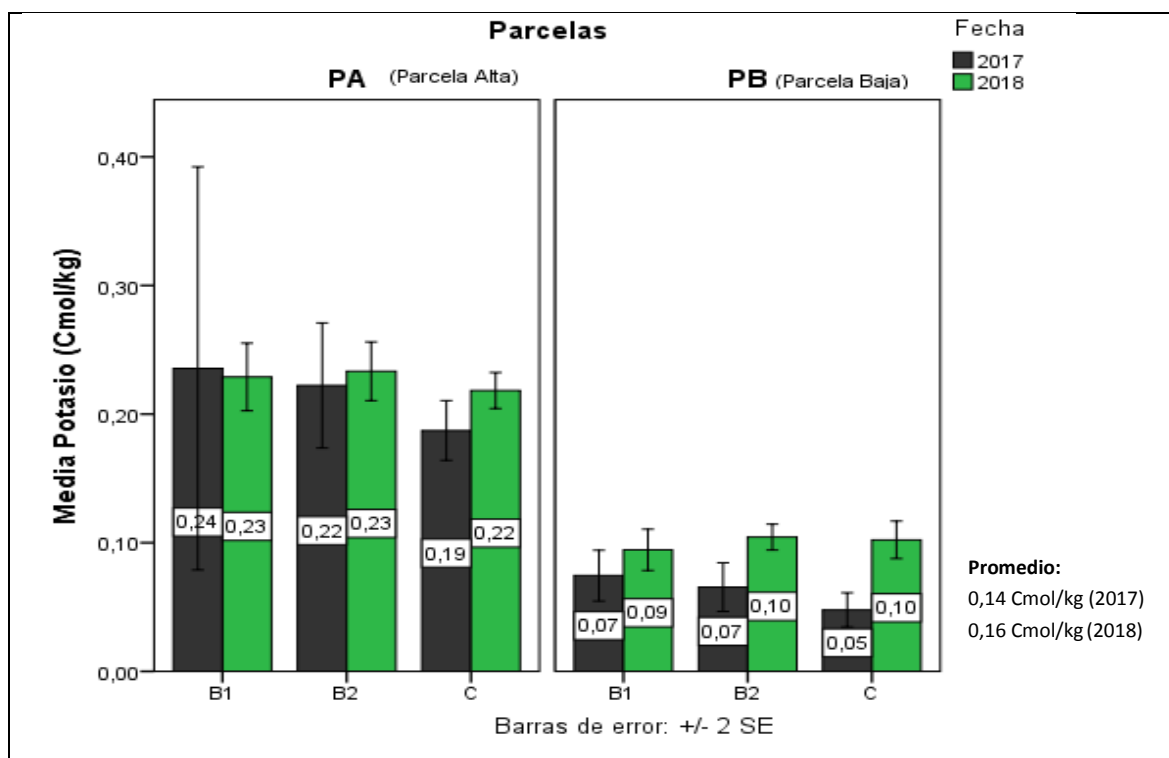
Se observaron la comparación entre el año 2017 y 2018 con relación al aluminio intercambiable, la media en los tratamientos B1B2C oscilan entre 0,68 a 0,78 Cmol/kg (2017), teniendo una variación de 0,86 a 0,90 Cmol/kg (2018). En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas entre fechas (**Figura 17, Tabla 14**).

**Tabla 14.** Prueba de ARTool - anova para aluminio intercambiable con variables independientes: B1B2C, Fecha e interacción entre B1B2C y Fecha.

	f	gl	pr (>f)	
B1B2C	0.998	2	0.371	NS
Fecha	9.381	1	0.002	***
B1B2C: Fecha	0.171	2	0.842	NS
Significancia: 0"***", 0,001"***", 0,01"*", 0,05".", 0,1"'"1				

En la **Tabla 14** se observaron que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de biocarbón (B1B2C), tampoco existen diferencias en la interacción entre B1B2C y fecha. Describiéndose una diferencia significativa ( $p < 0,001$ ) tan solo entre los años en estudio, como se describe en el párrafo anterior.

## POTASIO



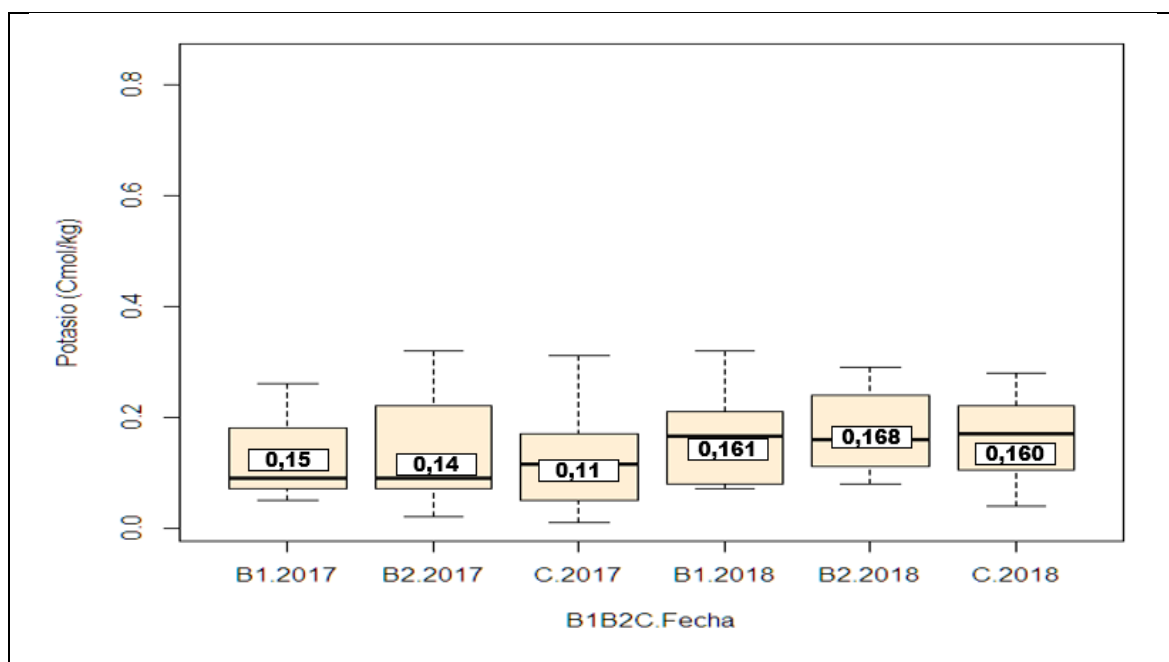
**Figura 18.** Promedio de potasio en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control).

**Tabla 15.** Variación del potasio en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.

Tratamientos	2017	2018	Incremento
PA B1	0,24	0,23	-0,01
PA B2	0,22	0,23	0,01
PA C	0,19	0,22	0,03
PB B1	0,07	0,09	0,02
PB B2	0,07	0,1	0,03
PB C	0,05	0,1	0,05

Se observa los resultados del potasio, con un promedio inicial de 0,14 Cmol/kg en el año 2017, el cual incremento a 0,16 Cmol/kg, para el 2018, en las dos parcelas PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) (**Figura 18**). En la PA el resultado mostró una disminución en el tratamiento C (0,03 Cmol/kg), B2 (0,01 Cmol/kg) y B1 (-0,01 Cmol/kg). Mientras que en la PB el potasio aumento en todos los tratamientos C (0,05 Cmol/kg), B2 (0,03 Cmol/kg) y B1 (0,02 Cmol/kg). **Tabla 15**

Un estudio realizado en Colombia, se observó significancias después 4 años de la aplicación de biocarbón, donde se observó claramente el incremento de potasio con una significancia de ( $p < 0,05$ ), de acuerdo a la dosis de 20 ton/ha aplicada (Major *et al*, 2010).



**Figura 19.** Representación de cajas y bigotes del potasio en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control).

Se observaron la comparación entre el año 2017 y 2018 con relación de potasio, la media en los tratamientos B1B2C oscilan entre 0,11 a 0,15 Cmol/kg (2017), teniendo una variación de 0,160 a 0,168 Cmol/kg (2018). En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas entre fechas. **(Figura 19, Tabla 16)**

El potasio incrementa con la aplicación de biocarbón (Villalta y Quezada, 2014) por otro al aplicar biocarbón incrementa los contenidos de nutrientes y bases intercambiables como el potasio independiente de la textura y edad del biocarbón (Aker *et al*, 2014). Al aplicar biocarbón mejorar la capacidad de retención de nutrientes a largo plazo, se necesita realizar más estudios de las interacciones entre biocarbón y la dinámica entre nutrientes como el K (Alonso *et al*, 2016).

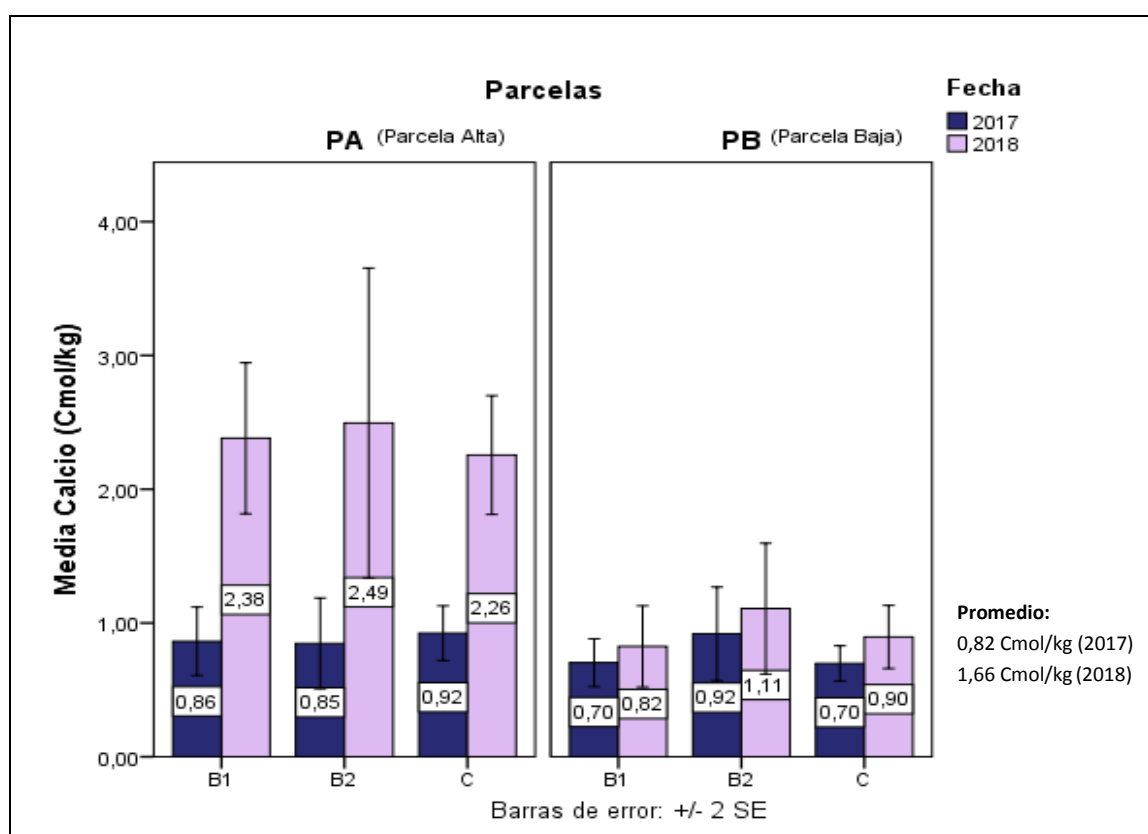


**Tabla 16.** Prueba de ARTool - anova para potasio con variables independientes: B1B2C, Fecha e interacción entre B1B2C y Fecha.

	<b>f</b>	<b>gl</b>	<b>pr (&gt;f)</b>	<b>Significancia</b>
B1B2C	0.843	2	0.432	NS
Fecha	12.660	1	0.0005	***
B1B2C: Fecha	0.304	2	0.737	NS
Significancia: 0"***", 0,001"***", 0.01"***", 0.05".", 0,1"***"				

En la **Tabla 16** se observaron que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de biocarbón (B1B2C), tampoco existen diferencias en la interacción entre B1B2C y fecha. Describiéndose una diferencia significativa ( $p < 0,001$ ) tan solo entre los años en estudio, como se describe en el párrafo anterior.

## CALCIO



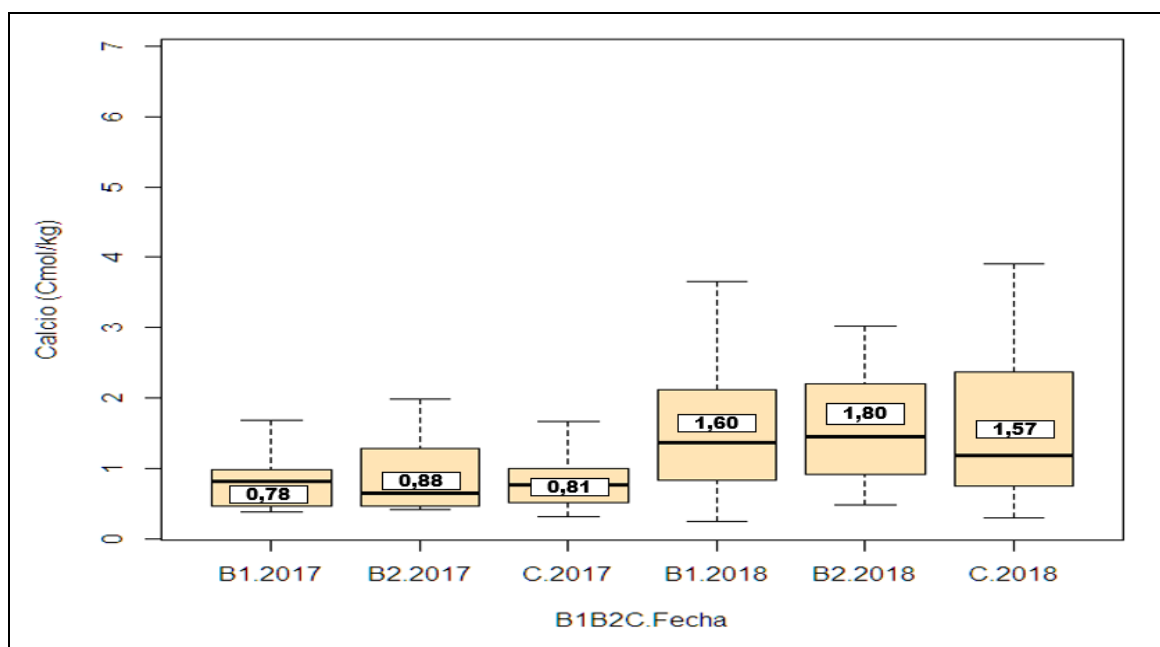
**Figura 20.** Promedio de calcio en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control).

**Tabla 17.** Variación del calcio en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.

Tratamientos	2017	2018	Incremento
PA B1	0,86	2,38	1,52
PA B2	0,85	2,49	1,64
PA C	0,92	2,26	1,34
PB B1	0,7	0,82	0,12
PB B2	0,92	1,11	0,19
PB C	0,7	0,9	0,2

Se observa los resultados de calcio con un promedio inicial de 0,82 Cmol/kg en el año 2017, el cual incremento a 1,66 Cmol/kg para el 2018, en las dos parcelas PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) (**Figura 20**). En la PA los resultados mostraron un incremento en el tratamiento B2 (1,64 Cmol/kg) B1 (1,52 Cmol/kg) y C (1,34 Cmol/kg). Mientras que en PB el calcio aumento en todos los tratamientos C (0,20 Cmol/kg), B2 (0,19 Cmol/kg) y B1 (0,12 Cmol/kg). **Tabla 17**

Al aplicar biocarbón mejora la calidad del suelo (Petter *et al*, 2012), en Brasil usaron biocarbón a base de eucalipto en suelo franco arenoso donde el suelo tenía un contenido de 2,8 Cmol/kg de calcio en el periodo de un año se realizó la misma prueba y se comprobó que el calcio del suelo incremento un 0,41 Cmol/kg.



**Figura 21.** Representación de cajas y bigotes del calcio en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón industrializado), C (control).

Se observa la comparación entre el año 2017 y 2018 con relación de calcio, la media en los tratamientos B1B2C oscilan entre 0,78 a 0,88 Cmol/kg (2017), teniendo una variación de 1,57 a 1,80 Cmol/kg (2018). En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas entre fechas (**Figura 21, Tabla 18**).

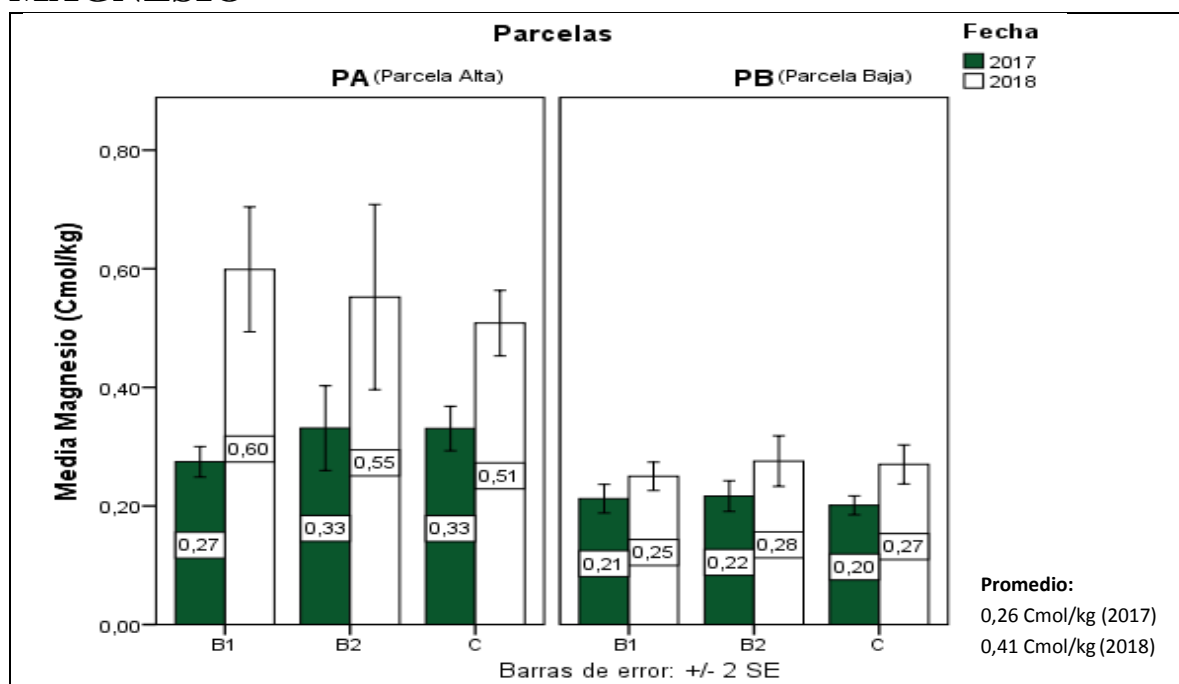
La Amazonia Ecuatoriana se generaliza por poseer suelos ácidos y pobres en calcio (Nieto y Caicedo, 2012), en el estudio realizado por (Prieto, 2016) menciona que la influencia del biocarbón en el suelo incrementa las cantidades del calcio. Otro estudio en biocarbón con cascara de café también presento incrementos en calcio del 2% y en otros nutrientes (Freire *et al*, 2017).

**Tabla 18.** Prueba de ARTool - anova para calcio con variables independientes: B1B2C, Fecha e interacción entre B1B2C y Fecha.

	<b>f</b>	<b>gl</b>	<b>pr (&gt;f)</b>	<b>Significancia</b>
B1B2C	0.183	2	0.832	NS
Fecha	25.355	1	1,49E-03	***
B1B2C: Fecha	0.158	2	0.853	NS
Significancia: 0"***", 0,001"***", 0.01"**, 0.05".", 0,1"1"				

En la **Tabla 18** se observaron que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de biocarbón (B1B2C), tampoco existen diferencias en la interacción entre B1B2C y fecha. Describiéndose una diferencia significativa ( $p < 0,001$ ) tan solo entre los años en estudio, como se describe en el párrafo anterior.

## MAGNESIO



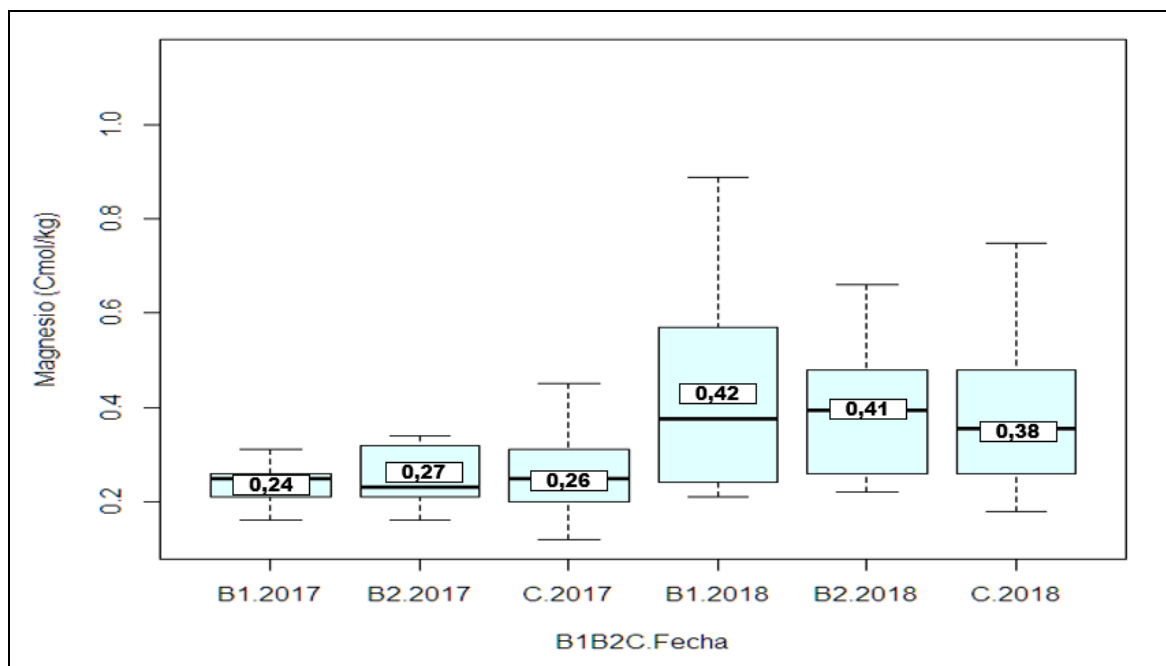
**Figura 22.** Promedio de magnesio en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control).

**Tabla 19.** Variación del magnesio en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.

Tratamientos	2017	2018	Incremento
PA B1	0,27	0,6	0,33
PA B2	0,33	0,55	0,22
PA C	0,33	0,51	0,18
PB B1	0,21	0,25	0,04
PB B2	0,22	0,28	0,06
PB C	0,2	0,27	0,07

Se presentaron los resultados del Magnesio, con un promedio inicial de 0,26 Cmol/kg en el año 2017, el cual incremento a 0,41 Cmol/kg para el 2018, en las dos parcelas PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) (**Figura 22**). En la PA los resultados mostraron un incremento en los tratamientos B1 (0,33 Cmol/kg), B2 (0,22 Cmol/kg) y C (0,18 Cmol/kg). Mientras que en PB el magnesio obtuvo los siguientes valores C (0,07 Cmol/kg), B2 (0,06 Cmol/kg) y B1 (0,04 Cmol/kg). **Tabla 19**

Un estudio en Colombia, en suelos Oxisoles en cultivo de maíz, se aplicó biocarbón de madera, donde se aplicó por toneladas de (8 ton/ha. Y 20 ton/ha.), se observó significancias después 4 años de su aplicación, donde se observó claramente el incremento de Mg (64–217%), en la implementación de 20 ton/ha.



**Figura 23.** Representación de cajas y bigotes del magnesio en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control).

Se observa la comparación entre el año 2017 y 2018 con relación de magnesio, la media en los tratamientos B1B2C oscilan entre 0,24 a 0,27 Cmol/kg (2017), teniendo una variación de 0,38 a 0,42 Cmol/kg (2018). En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas entre fechas (**Figura 23, Tabla 20**).

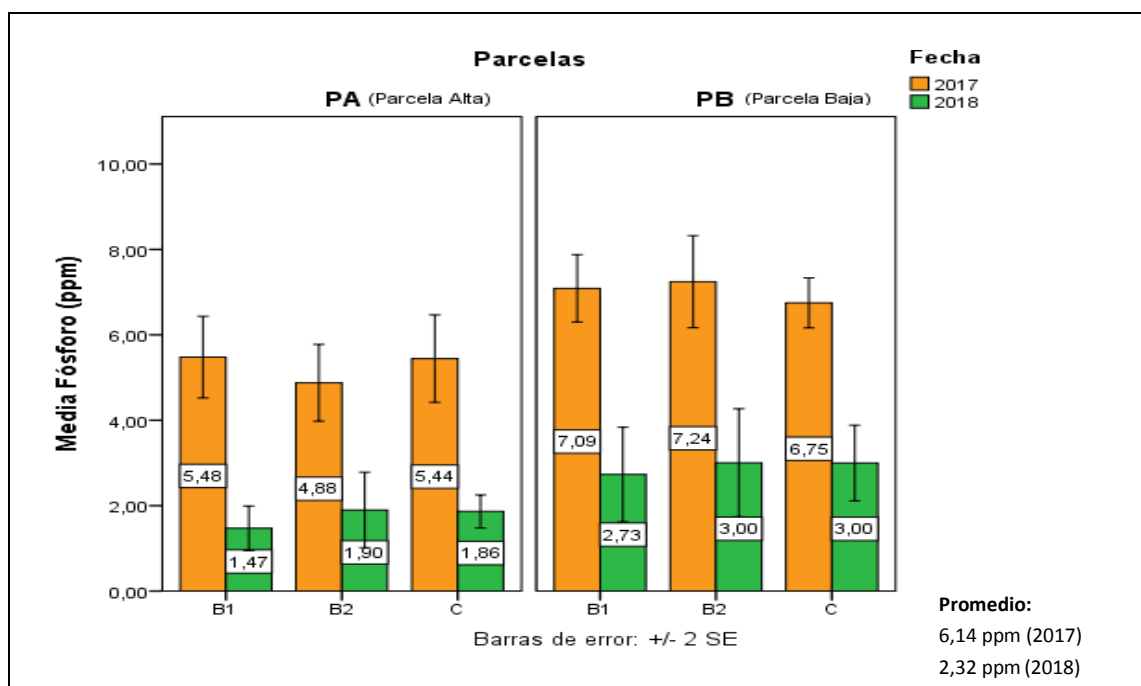
Al realizar aplicaciones de biocarbón va haber una tendencia al incremento del contenido de Magnesio en los suelos Franco Arcillo Arenoso (Aker *et al*, 2014). Al igual en otro estudio dice que las enmiendas de biocarbón elevan los niveles de Mg, en suelos alfisoles obteniendo valores de 3,58 a 8,54 Cmol/kg (Jha *et al*, 2016).

**Tabla 20.** Prueba de ARTool - anova para magnesio con variables independientes: B1B2C, Fecha e interacción entre B1B2C y Fecha

	f	gl	pr (>f)	Significancia
B1B2C	0.027	2	0.972	NS
Fecha	27.417	1	6,08E-03	***
B1B2C: Fecha	0.146	2	0.864	NS
Significancia: 0"***", 0,001"***", 0,01"***", 0,05"***", 0,1"***"				

En la **Tabla 20** se observaron que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de biocarbón (B1B2C), tampoco existen diferencias en la interacción entre B1B2C y fecha. Describiéndose una diferencia significativa ( $p < 0,001$ ) tan solo entre los años en estudio, como se describe en el párrafo anterior.

# FÓSFORO



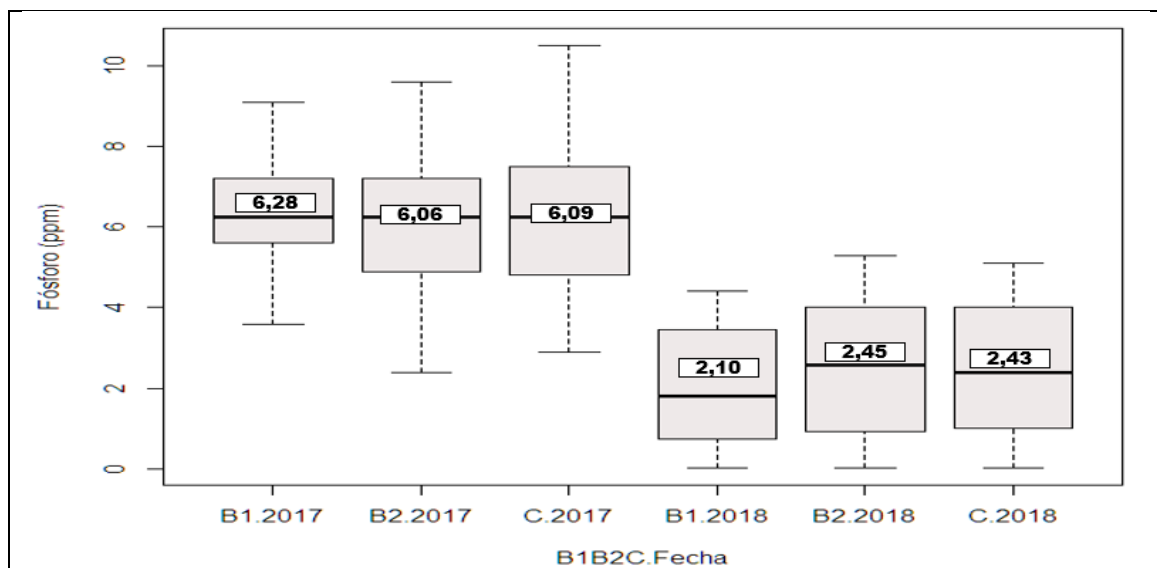
**Figura 24.** Promedio de fósforo en las dos parcelas PA (parcela alta) y PB (parcela baja) de estudio establecidas en el CIPCA con aplicación de: B1 (biocarbón manufacturado), B2 (Biocarbón tradicional), C (control).

**Tabla 21.** Variación del fósforo en los diferentes tratamientos en las parcelas alta (PA) y parcela baja (PB) en los años 2017 y 2018.

Tratamientos	2017	2018	Disminución
PA B1	5,48	1,47	4,01
PA B2	4,88	1,9	2,98
PA C	5,44	1,86	3,58
PB B1	7,09	2,73	4,36
PB B2	7,24	3	4,24
PB C	6,75	3	3,75

Se presenta los resultados del fósforo un promedio inicial de 6,14 ppm en el año 2017, el cual disminuye a 2,32 ppm para el 2018, en las dos parcelas PA (Parcela Alta) y PB (Parcela Baja) (**Figura 24**). En la PA los resultados mostraron una disminución en todos los tratamientos B1 (4,01 pm, C (3,58 ppm) y B2 (2,98 ppm). Mientras que en PB el fósforo disminuyo en todos los tratamientos B1 (4,36 ppm), B2 (4,24 ppm) y C (3,75 ppm). **Tabla 21**

En esta investigación el fósforo disminuyo y el aluminio y acidez intercambiable aumentaron, nuestros resultados difieren con los de (Alonso *et al*, 2016) que menciona que en suelos al adicionar biocarbón se observa un incremento de fósforo y la reducción de  $Al^{+3}$ .



**Figura 25.** Representación de cajas y bigotes del fósforo en diferentes tipos de ensayos B1 (biocarbón manufacturado), B2 (biocarbón tradicional), C (control).

Se observa la comparación entre el año 2017 y 2018 con relación de fósforo, la media en el tratamiento B1B2C oscilan entre 6,06 a 6,28 Cmol/kg (2017), teniendo una disminución de 2,10 a 2,45 Cmol/kg (2018). En los resultados obtenidos encontramos diferencias significativas entre fechas (**Figura 25, Tabla 22**).

La disminución del fósforo se debe principalmente a la existencia de un fenómeno de absorción entre el fósforo y los oxihidróxidos de hierro y aluminio; esto se da por la estrecha interacción con compuestos orgánicos e inorgánicos, los cuales contribuyen a la reducción en su disponibilidad (Almeida *et al*, 2007). El fenómeno de adsorción se da en suelos de regiones tropicales y subtropicales (Rheinherimer *et al*, 2008).

**Tabla 22.** Prueba de ARTool - anova para fósforo con variables independientes: B1B2C, Fecha e interacción entre B1B2C y Fecha

	<b>f</b>	<b>gl</b>	<b>pr (&gt;f)</b>	<b>Significancia</b>
B1B2C	0.018	2	0.981	NS
Fecha	178.028	1	<2e-16	***
B1B2C: Fecha	0.345	2	0.708	NS

Significancia: 0"\*\*\*", 0,001"\*\*\*", 0.01"\*\*\*", 0.05"\*\*\*", 0,1"\*\*\*"

En la **Tabla 22** se observaron que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de biocarbón (B1B2C), tampoco existen diferencias en la interacción entre B1B2C y fecha. Describiéndose una diferencia significativa ( $p < 0,001$ ) tan solo entre los años en estudio, como se describe en el párrafo anterior.



## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- En el parámetro físico (densidad aparente), aumento su promedio de (0,35 g/cm<sup>3</sup> a 0,41 g/cm<sup>3</sup>) para el año 2018, esto se debe a la compactación, degradación y la humedad del suelo.
- En los parámetros químicos aumento sus promedios MO de (19,61 a 23,30 %), CO (11,37 a 13,51 %), CE (0,33 a 0,36 dS/m), pH (4,30 a 4,45), Acidez intercambiable (1,86 a 2,22 Cmol/kg), Aluminio Intercambiable (0,73 a 0,88 Cmol/kg), Potasio (0,14 a 0,16 Cmol/kg), Calcio (0,82 a 1,66 Cmol/kg), Magnesio (0,26 a 0,41 Cmol/kg) para el año 2018. En cambio, el Fósforo disminuyó sus promedios de 6,14 a 2,32 ppm para el año 2018, esto se debe a varios factores, pero no se encontró significancia en ninguno de estos parámetros con respecto a los tratamientos.
- A pesar de que algunos de los resultados dieron positivos por la aplicación del biocarbón es muy pronto para obtener resultados significantes, debido a que es un proceso a largo plazo, según varios autores descritos anteriormente mencionan que los resultados significativos se proyectaran a partir de los dos años o más luego de la aplicación de biocarbón.

## **5.2.- RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar tratamientos más apartados, debido que el biocarbón se esparce a los otros tratamientos de control por las precipitaciones y pisoteos afectándolos de igual manera.
- Se recomienda realizar análisis biológicos para determinar los efectos de las enmiendas de biocarbón como indicador de restauración de suelos a largo plazo.
- Se recomienda realizar análisis físico químico de suelos más exhaustivos a diferentes profundidades para determinar cómo actúa el biocarbón a mayor profundidad.
- Se recomienda realizar aplicaciones del biocarbón en dosis superiores a las 10 to/ha para obtener efectos significativos en los parámetros del suelo.

## CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abenza, D. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en el suelo y planta (tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Barcelona. España.
- Acosta, J., Sotoc, G., Casanovesd, F., Dita, M., Pocasangre, L., y Estrada, F. (2014). Impacto de la adición de biocarbón en el mejoramiento de suelos, rendimiento e incidencia de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora* en cacao orgánico en Talamanca, Costa Rica. Seattle Biochar Working Group, 22-53
- 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 (tesis pregrado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-LEÓN), Turrialba, Costa Rica
- Aker, C., Soto, G., Imbach, A., Castillo, X., y Garro, F. (2014). Efecto de la aplicación de biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos en la retención de humedad y otras características de suelo en el rendimiento de maíz (*Zea mays*), en tres texturas de suelo en León, Nicaragua. CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- Albuquerque, J., Calero, J., Barrón, V., Torrent, J., Del Castillo, M., Gallardo, A., y Villar, R. (2013). El biocarbón como una herramienta para limitar las emisiones de CO<sup>2</sup> y mejorar las propiedades del suelo en el ámbito Mediterráneo. 6º Congreso Forestal Español, Vitoria Gasteiz, España.
- Ali, M. (2013). Efecto del biochar y la inoculación con micorriza y trichoderma en el mejoramiento de la calidad del suelo y crecimiento de pasto King grass (*Pennisetum purpureum*) (tesis de pregrado). Universidad Zamorano. Honduras.
- Almeida, R., Ferreira, R., & Schulthais, F. (2010). Availability of a soluble phosphorus source applied to soil samples with different acidity levels. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 34 (4):1125-1136.
- Alonso, L., Cruz A., Jiménez, D., Ocampo, A., y Parra, S. (2016). Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz. *Revista. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 19(2), 341-349.

- Altamirano, C., Calderón, C., Diez, M., y Gallardo, F. (2013). Uso de biocarbón proveniente de una caldera de biomasa en el cultivo de maíz en un andisol en el sur de Chile. III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management 12<sup>th</sup> to 14<sup>th</sup> march 2013 – Sao Pedro, Saulo State, Brazil.
- Álvarez, E., y Marín, A. (2011). Manual de procedimientos analíticos de suelo y planta Laboratorio de Química, Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Andrades, M., Moliner, A., y Masaguer, A. (2015). Prácticas de Edafología métodos didácticos para análisis de suelo. Universidad de la Rioja.
- Araya, S. (2017). Análisis de la fertilidad de los suelos de Alto Loica en San Pedro de Melipilla, Región Metropolitana (Chile). *Investig.Geogr. Chile*, 53: 127-140.
- Becerra, L., Mosquera, S., y Nústez, C. (2007). Efecto de niveles de fosforo y potasio sobre el rendimientos del cultivar “Criolla Guaneña” en el departamento de Nariño. *Revista Latinoamericana*. 14 (1): 51-60.
- Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. 1 ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p
- Bhattarai, B., Neupane, J., Prasad, S., Nepal, J., Gnywali, B., Timalsina, R., & Poudel, A. (2015). Effect of Biochar from Different Origin on Physio-Chemical Properties of Soil and Yield of Garden Pea (*Pisum sativum* L.) at Paklihawa, Rupandehi, Nepal. *World Journal of Agricultural Research*, 3 (4), 129-138.
- Bravo, C., Marín, H., Marrero, P., Ruiz, M.E., Torres, B., Navarrete, H., Durazno, G., y Changoluiza, D. (2017). Evaluación de la sostenibilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonia Ecuatoriana. *Bioagro*, 29 (1), 23 – 36.
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 33(2): 117-124.
- Cakmak, L., & Yazici, A. (2010). Magnesium: Forgotten element in Crop Production Better Crops. 94 (2): 23-25.

- Castellanos, J. (2013). Guía para la interpretación del análisis de suelos y agua. *Intagri*. México
- Cely, (2016). Evaluación del uso de residuos orgánicos para la producción de biochar y su aplicación como enmienda orgánica. (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Cheng, C., & Lehmann, J. (2009). Ageing of black carbon along a temperature gradient. *Chemosphere*. 75, 1021-1027
- CIPCA (2013). Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica. Recuperado de <https://www.uea.edu.ec/cipca/index.php/home/mision-vision/2013-09-24-08-38-45>.
- Conti, M. (2002). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. Facultad de Agronomía. Buenos Aires- Argentina.
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., y Quiñones, L (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta ecológica* 83, 5-71.
- 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 de carbono (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- De Lima, S., Rojas, M., Méndez, J., Salazar, K., y Salmerón, A. (2016). Servicios ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauración ecológica. *Biocenosis*, 31, 1-2.
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., y Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana* 34, 367-382.
- Espinosa, R. (2018). Evaluación del crecimiento inicial de plántula de *Caesalpinea spinosa* (Tara) y *Enterolubium cyclocarpum* (Oreja de negro) en diferentes sustratos en siembra directa en bolsa bajo tinglado. (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

- FAO, (2002). Los fertilizantes y su uso. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- FAO, (2016). Acidificación del suelo. Día Mundial del suelo. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- FAO, (2017). Nuevo proyecto de la FAO apoyará al Ecuador a realizar mapas nacionales de carbono de suelos. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <http://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/en/c/901870/>
- FAO. (2018). Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. Bogotá, Colombia.
- Fiallos, L., Flores, L., Duchi, N., Flores, I., Baño, D., y Estrada, L. (2015). Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de Medicado sativa. *Revista Ciencia y Agricultura*, 12 (2), 13-20.
- Freire, M., Lima, T., Lima, A., Ribeiro, J., & Trugilho, P. (2017). Different plant biomass characterizations for biochar production. *CERNE*, 23(4), 529 – 536
- Gallard, F, (2017). La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia. (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- García, C., Rosas, J., Sánchez, M., Pascual, J., y Hernández, T. (2014). De residuo a recurso; El camino hacia la sostenibilidad. Madrid, España: Editorial Mundi Prens.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz, C., Encina, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça, M., Montanarella, L., Muñiz, O., Schad, P., Vara, M., & Vargas, R. (2013). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. EUROCLIMA, FAO.
- Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35 (4), 219.

- Granda, M. (2015). Análisis socio-ambiental en doce parroquias amazónicas de Ecuador y su relación con actividades de conservación de bosques nativos (tesis de pregrado). Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador.
- Guillaume, T., Maranguit, D., Murtillaksono, K., & Kuzyakov, Y. (2016). Sensitivity and resistance of soil fertility indicators to land-use changes: New concept and examples from conversion of Indonesian rainforest to plantations. *Ecological Indicators*, 67, 49-57.
- Gul, S., Whalen, JK., Thomas, BW., Sachdeva, V., & Deng, H. (2015). Physicochemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 206, 46–59
- Houben, D., Sonnet, P., & Cornelis, J. (2014). Biochar from Miscanthus: a potential silicon fertilizer. *Plant and soil*, 374 (12), 871-882.
- Hueso, P., Martínez, J., y Ruiz, J. (2018). Técnicas de restauración de suelos basadas en el uso de residuos orgánicos: seis años de beneficios sobre las propiedades de un suelo forestal. *Geographical Research Letters*. 44 (2), 675-695.
- Ibarra, D., Ruiz, J., González, D., Flores, J., y Díaz, G. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura Técnica en México*. 35 (3), 267-276.
- IBI (International Biochar Initiative). 2012. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. \_ Document reference code: IBI-STD-01.
- Jhan, P., Neenu, S., Rashmi, I., Meena, B., Jatav, R., Lakaria, B., Biswas, A., Singh, M., & Patra, A. (2016). Ameliorating Effects of Leucaena Biochar on Soil Acidity and Exchangeable Ions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(10), 1252-1262.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., y Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA (Chile)*. 24, (1).

- Kochian, L. (1995). Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 46, 237–260.
- Ladd, B., Dumlér, S., Mola, E., De la Rosa, R., y Borchard, N. (2017). Incremento de rentabilidad en producción del maíz en Perú: Nfertilizantes y biochar. *The Biologist (Lima)*, 15(2), 351-358.
- Larreal, M., Chirinos, I., Jiménez, L., Polo, V., Peters, W., y Noguera, N. (2009). Variabilidad de algunas de las propiedades físicas de un suelo para la definición de la serie “Los Cortijos”, sector semiárido de la altiplanicie de Maracaibo, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9 (4), 925-936.
- Larriva, N. (2013). Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas. Facultad de Ciencias Pecuarias y Agroindustrial. *La granja*. (2).
- Luna, L., Andrenelli, M., Pellegrini, S., y Vignozzi, N. (2015). Efectos sobre el carbono orgánico, glomalina y estabilidad de agregados en restauración de suelos en la región mediterránea semiárida. CONDEGRES. VII Simposio Nacional sobre control de la degradación y restauración de suelos. Bilbao.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil* 333 (1-2), 117-128.
- Malucin, D., y Romero, J. (2016). Comparación de la respiración basal suelos aluviales y orgánicos en sistemas silvícolas industriales del Centro de Investigación Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA). (tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Puyo.
- Martínez, C. (2015). Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en *Cucumis sativus* L. Var. SMR-58. (tesis de pregrado). Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.
- Mckean, S. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: Una guía teórica y práctica de metodologías. Centro Internacional de Agricultura Tropical.



- Méndez, J., Rodríguez, C., Lopez, V., Torrent, J., García, M., Gallardo, A y Villar, R. (2013). El biocarbón como una herramienta para limitar las emisiones de CO<sub>2</sub> y mejorar las propiedades del suelo en el ámbito Mediterráneo. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 2- 10.
- Mengel, K y Kirkby, E. (2000). Principios de nutrición vegetal. Instituto Internacional de la Potasa Basilea, Suiza. Cuarta edición.
- Ministerio de medio ambiente. (2012). Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Recuperado de [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDAECOSISTEMAS\\_ECUADOR\\_2.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDAECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf)
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Manejo integrado de Paisajes de Uso Múltiple y Alto Valor de Conservación para el desarrollo sostenible de la Región Amazónica Ecuatoriana*. Ecuador: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Recuperado de <http://www.ec.undp.org/>.
- Moreno, C., Gonzales, M. y Egido, J. (2015). Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. Ecuador es Calidad. *Revista Científica Ecuatoriana*, 2(1), 33-40.
- Navarro, J. (2007). Variación del contenido de materia orgánica de suelos volcánicos sometidos a distintos manejos agrícolas. (tesis de pregrado). Universidad de Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Nieto, C., y Caicedo, C. (2012). Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazónica Ecuatoriana. INIAP-EECA. Publicación Miscelánea No 405 Joya de los Sachas, Quito-Ecuador. 158 p.
- Novak, J., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J., Steiner, C., Das, K., Ahmedna, M., Rehrh, D., Watts, D., Warren, J., Busscher, W., & Schomberg, H. (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperaturas and their effects on a loamy sand. *Annals of Enviromental Sciencie*, 3, 195-206.
- Novontny, E., Branco de Freitas, C., De Melo, T., & Eموke, B. (2015). Biochar: Carbono pirógeno para uso agrícola. Una revisión crítica. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 39, (2), 321-344.

- Olmo, M., & Villar, R. (2016). Biochar affects fruit production in eight agronomic species through changes in root traits. *Organic Agriculture*, 1-15.
- Organización de las Naciones Unidas (2008). GEO Ecuador 2008: Informe sobre el Estado del Medio Ambiente. Quito, Ecuador: Alianza Editorial
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016). Estado Mundial del Recurso del Suelo. Roma, Italia: ISBN
- Ortiz, C., Gómez, J., Domínguez, F., y Villanueva, A. (2018). Influencia de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh y *Opuntia ficus-indica* L. Mill en las propiedades físicas y químicas del suelo. *Terra Latinoamericana* 36, 275-285.
- Oses, A. (2013). Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Pellegrini, A. (2017). Macronutrientes del suelo. Fósforo. Recuperado de <http://aulavirtual.agro.unlp.edu>.
- Petter, F., Eموke, B., Soler, M., Carbone, M., Melo, M., Marimon, B., & Pereira, L. (2012). Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. *Agropec*, 47 (5), 699-706
- Piedrahita, O. (2009). Acidez del suelo. Magnesios Heliconia S.A. Recuperado de <http://www.nuprec.com>
- Prieto, O. (2016). : Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. (tesis doctoral). Universidad de Córdoba, España.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), (2000). Perspectiva del medio ambiente. San José, Costa Rica: ISBN.
- Rasul, F., Gull, U., Rahman, M., Hussain, Q., Chaudhary, H., Matloob, A., Shahzad, S., Igbal, S., Shelia, V., Masood, S., & Bajwa, H. (2016). Biochar an emerging technology for climate change mitigation. *Journal of Environmental & Agricultural Sciences*, 9, 37-43.

- Rheinheimer, D., Colpo, L., & Kaminski, J. (2008). Factores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural, Santa Maria*, 38, (2), 576-586.
- Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M., y Romero, M. (2016). La toxicidad por aluminio (Al<sup>3+</sup>) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. *Palmas*, 37(1), 11-23.
- Rodríguez, F., Bendayan, L., Rojas, C. y Calle, C. (1991). Los suelos de la región del Amazonas según unidades fisiográficas. *FOLIA AMAZONICA IIAP*, (3) 14.
- Rosado, M., De la Rosa, J., Paneque, M., López, R., y Knicker, H. (2017). Evaluación de la alteración de biochars utilizados como enmienda de un cultivo de girasol bajo condiciones de clima mediterráneo. Jornadas de la Red Española de Compostaj, 245-249
- Rubio, A. (2010). Densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural los Alcornocales. (tesis de pregrado). Universidad de Sevilla, España.
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción para el café. *Cenicafé*, 1 – 12.
- Salamanca, A y Sadeghain, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cafenifé*, 56 (4), 381 – 397.
- Sánchez, J. (2012). Acidez de los suelos y su manejo. Boletín Técnico No.3. CENIBANANO-AUGURA. Colombia.
- Schulte, EE., & BG Hopkins. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on ignition. In: FR Magdoff et al. (eds). *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*. SSSAJ, Madison WI. 21-31.
- Silva, L. (2015). Determinación de parámetros físico-químicos de dos tipos de suelo en parcelas silvícolas industriales del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA). (tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador.

- Simpson, R. J., Stefanski, A., Marshall, D. J., Moore, A. D., & Richardson, A. E. (2015). Management of soil phosphorus fertility determines the phosphorus budget of a temperate grazing system and is the key to improving phosphorus efficiency. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 212, 263-277.
- Singh, B., Macdonald, L., Kookana, R., Zwieten, L., Butler, G., Stephen, Josephe., Weatherley, A., Kaudal, B., Regan, A., Cattle, J., Dijkstra, F., Boersma, M., Kimber, S., Keith, A., & Esfandbod, M. (2014). Opportunities and constraints for biochar technology in Australian agriculture: looking beyond carbón sequestration. *Soil Research*, 52, 739-750.
- Sohi, S., Lopez, 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.
- Timilsa, S., Khanal, B., Shah, S., Shivastav, C., & Khanal, A. (2017). Effects of biochar application on soil properties and production of radish (*Raphanus sativus* L.) on loamy sand soil. *Journal of Agriculture and Forestry University*, 1, 103-111.
- Torres, B., Starnfeld, F., Vargas, J., Ramm, G., Chapalbay, R., Rios, M., Gómez, A., Torricelli, Y., Jurrius., I., Tapia, A., Shiguango, J., Torres., A., Velasco, C., Murgueytio, A., y Cordoba, D. (2014). Gobernanza participativa en la Amazonía del Ecuador: recursos naturales y desarrollo sostenible. Universidad Estatal Amazónica, Ministerio del Ambiente del Ecuador, Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo y Cooperación Alemana al Desarrollo. Puyo, Ecuador, 124.
- Valarezo, C., Villamagua, M., Mora, R., Maza, H., Wilcke., y Nieto, C. (2016). Respuesta del pachaco (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc) y la melina (*Gmelina arborea* Roxb.) a la aplicación de biocarbón y fertilización en el sur de la amazonia ecuatoriana. Universidad Nacional de Loja.
- Vargas, JC., Benítez, D; Torres, V; Ríos, S; Soria, S; Navarrete, H., Pardo, D., y Torres, A. (2014). Tipificación de fincas ganaderas de doble propósito en la provincia de Pastaza. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 3, 183-197.
- Villalta, J., y Quezada, D. (2014). Efecto de tres diferentes granulometrías de carbón vegetal y tensiones de humedad en el cultivo de fresa (*Fragaria vesca*), Bajo

- invernadero en la estación experimental la Argelia. (tesis de pregrado).  
Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- Villalta, V., y Ortega, E. (2018). Diferencias de parámetros físico- químicos de suelos en el proceso de restauración por enmiendas de biochar. (tesis de pregrado).  
Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador.
- Wobbrock, J.O., Findlater, L., Gergle, D., & Higgins, J.J. (2011). The Aligned Rank Transform for nonparametric factorial analyses using only ANOVA procedures. Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11). Vancouver, British Columbia (May 7-12, 2011).  
New York: ACM Press, pp. 143-146.
- Xu, R., Zhao, A., Yuan, J., & Jiang, J. (2012). pH buffering capacity of acid soils from tropical and subtropical regions of China as influenced by incorporation of crop Straw biochars. *Journals Soils Sediments*, 12, 494-502.
- Zuñiga, F., Huertas, J., Guerrero, G., Sarasty, J., Dörner, J., y Burbano, H. (2018). Propiedades morfológicas de los suelos asociados a los ecosistemas de Páramo, Nariño, Sur de Colombia. *Terra Latinoamérica* 36, 183-196.

## CAPÍTULO VII: ANEXOS

### Anexo 1. Media y mediana de los parámetros físico – químicos en Anova

<b>Densidad Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>			
Tratamiento	Fecha	Media	Mediana
B1	2017	0,37	0,36
B1	2018	0,4	0,41
B2	2017	0,35	0,34
B2	2018	0,4	0,37
C	2017	0,36	0,33
C	2018	0,42	0,42

<b>Materia Organica (%)</b>			
Tratamiento	Fecha	Media	Mediana
B1	2017	19,33	19,49
B1	2018	22,79	23,06
B2	2017	19,99	19,85
B2	2018	23,76	23,82
C	2017	19,51	20,8
C	2018	23,36	23,22

<b>Carbon organico (%)</b>			
Tratamiento	Fecha	Media	Mediana
B1	2017	11,21	11,3
B1	2018	13,22	13,37
B2	2017	11,59	11,51
B2	2018	13,78	13,81
C	2017	11,32	12,06
C	2018	13,53	13,47

<b>Conductividad Electrica (dS/m)</b>			
Tratamiento	Fecha	Media	Mediana
B1	2017	0,34	0,37
B1	2018	0,35	0,34
B2	2017	0,31	0,29
B2	2018	0,37	0,38
C	2017	0,33	0,3
C	2018	0,36	0,38

<b>pH</b>			
Tratamiento	Fecha	Media	Mediana
B1	2017	4,32	4,31
B1	2018	4,46	4,47
B2	2017	4,3	4,31
B2	2018	4,45	4,44
C	2017	4,27	4,24
C	2018	4,42	4,45

<b>Fósforo (ppm)</b>			
Tratamiento	Fecha	Media	Mediana
B1	2017	6,28	6,25
B1	2018	2,1	1,8
B2	2017	6,06	6,25
B2	2018	2,45	2,58
C	2017	6,09	6,25
C	2018	2,43	2,4

<b>Acidez Intercambiable (Cmol/kg)</b>			
Tratamiento	Fecha	Media	Mediana
B1	2017	1,8	1,75
B1	2018	2,2	2,2
B2	2017	1,8	1,85
B2	2018	2,1	2,15
C	2017	1,9	2
C	2018	2,2	2,3

<b>Aluminio Intercambiable (Cmol/kg)</b>			
Tratamiento	Fecha	Media	Mediana
B1	2017	0,78	0,8
B1	2018	0,9	0,9
B2	2017	0,68	0,7
B2	2018	0,86	0,85
C	2017	0,74	0,8
C	2018	0,86	0,85

<b>Potasio (Cmol/kg)</b>			
Tratamiento	Fecha	Media	Mediana
B1	2017	0,15	0,09
B1	2018	0,16	0,16
B2	2017	0,14	0,09
B2	2018	0,16	0,16
C	2017	0,11	0,11
C	2018	0,16	0,17

<b>Calcio (Cmol/kg)</b>			
Tratamiento	Fecha	Media	Mediana
B1	2017	0,78	0,81
B1	2018	1,6	1,37
B2	2017	0,88	0,64
B2	2018	1,8	1,45
C	2017	0,81	0,76
C	2018	1,57	1,17

<b>Magnesio (Cmol/kg)</b>			
Tratamiento	Fecha	Media	Mediana
B1	2017	0,24	0,25
B1	2018	0,42	0,37
B2	2017	0,27	0,23
B2	2018	0,41	0,39
C	2017	0,26	0,25
C	2018	0,38	0,35



**Anexo 2.** Muestreo en campo de parámetros físicos – químicos



**Anexo 3.** Secado y molida de suelos para los análisis químicos en el CIPCA



**Anexo 4.** Análisis de la muestra de densidad aparente en el CIPCA





**Anexo 5.** Análisis de la Materia Orgánica en la Universidad Estatal Amazónica



**Anexo 6.** Análisis de pH y Conductividad Eléctrica en la Universidad Estatal



**Anexo 7.** Análisis de Acidez y Aluminio Intercambiable





**Anexo 8.** Análisis Espectro fotógrafo de Potasio, Calcio, Magnesio, Fosforo