UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA:

ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE SUELOS A TRES AÑOS DE IMPLEMENTACIÓN DE ENMIENDAS DE BIOCHAR EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE INVESTIGACIÓN Y PRODUCCIÓN AMAZÓNICA (CEIPA)

AUTORES:

SAMANTHA KATHERINE FLORES BARROS
MYLENA DAYANA MOREIRA CHACÓN

DIRECTOR DE TRABAJO:

Ing. PEDRO DAMIAN RIOS GUAYASAMIN, M.Sc.

Pastaza – Ecuador

Julio 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y DERECHOS DE AUTOR

Las suscritas, **Samantha Katherine Flores Barros** con C.I. 210076821-3 y **Mylena Dayana Moreira Chacón** con C.I. 125056847-2, hacen constar que son autoras del Trabajo de Integración Curricular titulado:

"Análisis de parámetros físico-químicos de suelos a tres años de implementación de enmiendas de biochar en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA)", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho Trabajo, Ing. Pedro Damián Ríos Guayasamín, M.Sc.. En tal sentido, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 16 día del mes julio de 2021.

Samantha Katherine Flores Barros 2100768213	Mylena Dayana Moreira Chacón 1250568472

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el Trabajo de Integración Curricular titulado:

"Análisis de parámetros físico-químicos de suelos a tres años de implementación de enmiendas de biochar en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA)"

EDGAR RUBEN CHICAIZA REISANCHO

M.Sc. Edgar Rubén Chicaiza Reisancho
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA

M.Sc. Danilo Pedro Sarabia Guevara
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

MARLON OSWALDO NUNEZ CASTRO

Firmado digitalmente por MARLON OSWALDO NUNEZ CASTRO
Fecha:2021-07-16 17:50-05:00

Dr. Marlon Oswaldo Núñez Castro
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO No. 119-SAU-UEA-2021

Puyo, 16 de julio de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a las estudiantes: Moreira Chacón Mylena Dayana con C.I. 1250568472 y Flores Barros Samantha Katherine con C.I. 2100768213, con el Tema: **"Análisis de parámetros físico-químico de suelos a tres años de implementación de enmiendas de biochar en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA).",** de la carrera Biología. Director de la investigación Ing. Pedro Ríos Guayasamín, M.Sc., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 1%, Informe generado con fecha 16 de julio de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,



Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA- .

DERECHOS DE AUTOR COPYRIGHT

©2021, Samantha Katherine Flores Barros & Mylena Dayana Moreira Chacón

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotras, Samantha Katherine Flores Barros y Mylena Dayana Moreira Chacón, declaramos que el presente trabajo de Integración Curricular, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citadas y referenciados.

Como autoras, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.

Samantha Katherine Flores Barros 2100768213	Mylena Dayana Moreira Chacón 1250568472

DEDICATORIA

Dedico este memorable y merecido trabajo al docente tutor del proyecto, quien con su paciencia y tiempo mantuvo sus esperanzas en Mylena y mi persona. Es un honor haber formado parte de tan preciado proyecto, que con el tiempo será de gran ayuda para generaciones futuras.

Samantha Flores

Mi proyecto de titulación se lo dedico a mi madre Marisol Chacón ya que ella me ha impulsado a persistir en cada etapa de mi vida, ella es mi más grande inspiración para todo, es por tanto que este logro y todos lo que vendrán se los dedico a ella.

Mylena Moreira

AGRADECIMIENTOS

Esta noche de incertidumbre covidiana quiero agradecer a Dios por mantenerme con vida, además, incluyo a mi familia y amigos más allegados por brindarme su apoyo moral y económico, por último, a mis hijas gatunas por ese cariño que, aunque sea pequeño me motiva a seguir adelante.

Samantha Katherine Flores

Agradezco eternamente a Dios por haberme dado la vida y la familia que tengo y por su puesto por haberme dado la fortaleza a lo largo de mi carrera, gracias a Él he cumplido mi meta, sin El nada me sería posible.

Quiero agradecer y bendecir también a mi familia de manera especial, a mi madre por ser mi aliento de vida, a mi padre John Moreira y a mi hermana Evelyn Moreira por su apoyo moral y económico a lo largo de mi carrera, ellos fueron los que accionaron este sueño de ser una profesional; por ultimo pero no menos importante agradezco a mi hermano Tommy Moreira por su amor y su cuidado en mi adolescencia, cada uno de ellos han sido indispensables en todo este proceso, todo lo que soy se lo debo a ellos.

Mylena Moreira Chacón

RESUMEN

Las pérdidas de suelo en el país en áreas de estribaciones con pendientes superiores al 25% varían entre el 30 y 50 ton.ha^{-1}.año^{-1}, el 25%, en las zonas con pendientes que cambian entre el 12 y 25%, en base a los problemas de erosión representan una pérdida entre 10 y 30 ton.ha^{-1}.año^{-1} (Vargas, 2018). En base a esta problemática investigadores de la Universidad Estatal Amazónica han incorporado una alternativa ya antes estudiada en otros países con suelos degradados, con la finalidad de restaurar los suelos mediante la aplicación del biochar (Stephen & Johannes, 2009). El objetivo de esta investigación fue analizar los parámetros físico-químicos del suelo a tres años de implementación de enmiendas de biochar en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA), a fin de establecer la influencia del biochar en la modificación de parámetros de suelo. Los resultados nos muestras que existen valores promedios que han incrementado como: el pH de 4.30 a 4.57, fósforo de 6.14 ppm a 7.43 ppm, potasio de 0.14 Cmol.kg^{-1} a 0.206 Cmol.kg^{-1}, calcio de 0.82 Cmol.kg^{-1} a 1.74 Cmol.kg^{-1}, Magnesio de 0.26 Cmol.kg^{-1} a 0.366 Cmol.kg^{-1}, conductividad eléctrica de 0.33 ds/m a o.44 ds/m, materia orgánica 19.61% a 21.87%. Aunque, la acidez intercambiable (2.22 Cmol.kg^{-1} a 1.98 Cmol.kg^{-1}) y el aluminio intercambiable (0.73 Cmol.kg^{-1} a 0.56 Cmol.kg^{-1}) tuvieron un declive con significancia. La aplicación del biochar aún no muestra condiciones de mejora significativa para la producción de cultivos, dado que condicionalmente su pH promedio de 4.64 nos indica que el suelo es altamente ácido. Sin embargo, con los antecedentes de los años estudiado podemos inferir que el biochar ha aumentado el pH del suelo, y ha reducido la acidez intercambiable en un 10% los tres años; lo que lleva a determinar que el biochar sí tiene potencial para la mejora del suelo y la biodisponibilidad de nutrientes a largo plazo.

Palabras claves: pérdidas del suelo, biochar, parámetros físico-químicos.

ABSTRACT

Soil losses in the country vary between 30 and 50 ton/ac/yr and in the 25% in the foothill areas with top slopes, the loss in the zones with slopes varies between 12 and 25%. Based on the problems with erosion, there is a loss represented between 10 and 30 ton/ac/yr (Vargas, segundo año). Based on this problem, investigators from the Amazon State University have incorporated an alternative already studied in other countries with degrading soils with the purpose of restoring soil through applying biochar (Stephen & Johannes, 2009). The objective of this investigation is to analyze the physicochemical parameters of the soil for three years (primer año-tercer año) while implementing biochar correctors in the Amazon Experimental Center of Investigation and Production (CEIPA) in order to establish the effect of biochar on the modification of the parameters of the soil, in which the following averaged results were obtained and found to have increased, such as the pH from 4.30 to 4.57, phosphorus from 6.24 pmm to 7.43 ppm, potassium from 0.14 Cmol/kg to 0.206 Cmol/kg, calcium from 0.82 Cmol/kg to 1.74 Cmol/kg, magnesium from 0.26 Cmol/kg to 0.366 Cmol/kg, electrical conductivity from 0.33 ds/m to 0.44 ds/m, organic material from 19.61% to 21.87%, and also interchangeable acidity (2.22 Cmol/kg to 1.98 Cmol/kg) and aluminum interchangeability (0.73 Cmol/kg to 0.56 Cmol/kg) obtained a decline with low significance. Applying biochar does not yet present significant optimal conditions for the production of different crops. Conditionally it's average pH of 4.64 indicates to us that the soil is highly acidic; nevertheless, with the earlier years studied (primer año and segundo año), we can infer that biochar has increased the pH of the soil, and has reduced the interchangeable acidity on an average of 10% in the year tercer año, which leads us to determine that biochar is indeed an alternative for improving soil and nutrient bioavailability long term.

Keywords: soil losses, biochar, physico-chemical parameters.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y DERECHOS DE AUTOR i

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN ii

CERTIFICADO No. 119-SAU-UEA-2021 iii

DERECHOS DE AUTOR COPYRIGHT iv

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTOS vii

RESUMEN viii

ABSTRACT ix

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1

1.1. Planteamiento del Problema 1

1.2. Formulación del Problema 1

1.3. OBJETIVOS 2

1.3.1. Objetivo General 2

1.3.2. Objetivos Específicos 2

1.4. JUSTIFICACIÓN 3

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4

2.1. Degradación de Suelos 4

2.1.1. Definición 4

2.1.2. Problemas de la degradación de los suelos 4

2.1.3. Alteraciones actuales de la degradación de los suelos 5

2.2. El Biochar 5

2.2.1. Definición 5

2.2.2. Condiciones óptimas para la obtención del Biochar 6

2.2.3. Biochar y sus aplicaciones recientes 6

2.3. Terra preta (tierra negra) 7

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 8

3.1. Localización 8

3.1.1. Parcelas experimentales 9

3.2. Diseño de Investigación 9

3.3. Métodos de la investigación 10
3.3.1. Elaboración de la base de datos 10
3.3.2. Análisis estadístico de datos 11
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS 12
4.1. Potencial de Hidrogeno (pH) 12
4.1.1. Descripción Estadística (tabla 3) 13
4.2. Acidez Intercambiable (Al+H) 15
4.2.1. Descripción Estadística (tabla 5) 16
4.3. Aluminio intercambiable (Al) 17
4.3.1. Descripción Estadística (tabla 7) 18
4.4. Fósforo (F) 20
4.4.1. Descripción Estadística (tabla 9) 21
4.5. Potasio (K) 23
4.5.1. Descripción Estadística (tabla 11) 24
4.6. Calcio (Ca) 25
4.6.1. Descripción Estadística (Tabla 13) 26
4.7. Magnesio (Mg) 28
4.7.1. Descripción Estadística (Tabla 15) 29
4.8. Conductividad Eléctrica (CE) 31
4.8.1. Descripción Estadística (Tabla 17) 32
4.9. Materia orgánica (MO) 34
4.9.1. Descripción Estadística (Tabla 19) 35
4.10. Interpretación general de resultados 36
4.11. Conclusiones 37
4.12. Recomendaciones 37
REFERENCIAS 39
ANEXOS 41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de las parcelas experimentales (PA & PB) Fuente: Ing. Pedro Ríos M.Sc. 9
Tabla 3 Descripción Estadística (pH) 13
Tabla 4 Significancia (pH) 14

Tabla 5 Descripción Estadística (AlH) 16
Tabla 6 Significancia (AlH) 17
Tabla 7 Descripción Estadística (Al) 18
Tabla 8 Significancia (Al) 19
Tabla 9 Descripción Estadística (P) 21
Tabla 10 Significancia (P) 22
Tabla 11 Descripción Estadística (K) 24
Tabla 12 Significancia (K) 24
Tabla 13 Descripción Estadística (Ca) 26
Tabla 14 Significancia Ca 27
Tabla 15 Descripción Estadística (Mg) 30
Tabla 16 Significancia (Mg) 30
Tabla 17 Descripción Estadística CE 32
Tabla 18 Significancia CE 33
Tabla 19 Descripción Estadística MO 35
Tabla 20 Significancia MO 36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Transformación de la biomasa vegetal a biochar. 6
Figura 2. Ubicación del área de estudio. Fuente: (Quiguri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019) 9
Figura 3 Diseño experimental con parcelas subdivididas en arreglo factorial de 3x3x3 (cuadrado latino). Elaborado por: Ing. Pedro Ríos Guayasamín, M.Sc. 10
Figura 4 pH Vs Enmienda * Profundidad. Fuente: Autores 12

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Elaboración de la base de datos en el Sistema Operativo de Microsoft Excel. 41
Anexo 2. Análisis con el sistema de análisis factorial ANOVA. 41

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1.Planteamiento del Problema

La Amazonía ecuatoriana ha perdido 1.1% de sus bosques debido a la deforestación (50 000 ha.año^{-1}), como consecuencia de las actividades agropecuarias, hidrocarburíferas y mineras causando la perdida de la biodiversidad, el hábitat de cientos de especies que radican en estos bosques y la degradación del edafón al momento de quedar desprotegido (Borja, Aragón, & Josse, primer año).

Las pérdidas de suelo en el país en áreas de estribaciones con pendientes superiores al 25% varían entre el 30 y 50 ton.ha^{-1}.año^{-1}, el 25%, en las zonas con pendientes que cambian entre el 12 y 25%, en base a los problemas de erosión representan una pérdida entre10 y 30 ton.ha^{-1}.año^{-1} (Vargas, 2018).

El suelo resulta expuesto a factores externos como la erosión, degradación y arrastre y en un periodo aproximado de doce años, la tala indiscriminada, los cultivos y pastizales se convierten en detonantes de la degradación del mismo (Borja, Aragón, & Josse, primer año).

En base a esta problemática investigadores de la Universidad Estatal Amazónica han incorporado una alternativa ya antes estudiada en otros países con suelos degradados, con la finalidad de restaurar los suelos mediante la aplicación del biochar (alternativa que ha servido a culturas aborígenes que mantienen suelos fértiles denominados *terra preta)* (Stephen & Johannes, 2009). Para el estudio de la evolución del suelo después de la adición del biochar se ha utilizado un diseño experimental en parcelas permanentes de restauración forestal dentro del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica. El estudio busca evaluar esta propuesta a tres años de su implantación.

1.2.Formulación del Problema

¿Cómo la implementación de las enmiendas de biochar intervienen en las condiciones edáficas de la restauración del suelo?

1.3.**OBJETIVOS**

1.3.1. Objetivo General

- Analizar los parámetros físico-químicos del suelo a tres años de implementación de enmiendas de biochar en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA) a fin de establecer la influencia del biochar en la modificación de parámetros de suelo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Interpretar los resultados estadísticos obtenidos a partir de la base de datos introducida en el software IBM SPSS Statistics 21.
- Realizar el estudio bibliográfico sobre el análisis estadístico cuantitativo de los parámetros físico-químicos del suelo que indiquen la condición de sus nutrientes.
- Contrastar el resultado de los análisis actuales con los estudios del suelo realizados en el CEIPA de los dos últimos años.

1.4.JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se basa en analizar diferentes parámetros físico-químicos de determinados suelos del CEIPA, los cuales fueron ocupados para manejo agronómico, siendo así degradados y erosionados con el tiempo. Con el fin de mejorar estos suelos se ha considerado la aplicación de biochar, el cual secuestra carbono (C) mientras mejora las funciones del suelo (Verheijen, Jeffery, Bastos, Van der Velde, & Diafas , 2010) además, opera como reservorio de larga duración de este elemento, difiriendo su retorno a la atmósfera como CO_2, situación que contribuye a mitigar el cambio climático (Escalante Rebolledo, y otros, 2016).

En Ecuador el 49% de las tierras están degradadas siendo su causa principal el cambio de uso de suelo de bosques a áreas agropecuarias; de esta forma, en pocos años, áreas que han sido ricas en biodiversidad se transformaron en suelos seriamente degradados (Salinas, 2019). Naturalmente Pastaza forma parte de la frontera agrícola con el 14%, de la que el 85% se usa en la ganadería (Benítez Jimenez , y otros, 2018). El mal manejo agronómico fomenta la disminución de la calidad de los suelos, se caracterizan por aridez, baja fertilidad, gran almacenamiento de metales pesados y demasiada materia orgánica de baja calidad; lo que conduce a un proceso de erosión (Benítez Jimenez , y otros, 2018).

El uso del biochar es una tecnología que ha expuesto proveer beneficios al suelo, desarrollando su fertilidad a través de su influencia en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. En los últimos años el biochar presenta un gran auge, sin embargo, se debe considerar ampliar el desarrollo de los análisis (en cuanto a su capacidad de carga máxima, prácticas de cultivo, condiciones del entorno (clima, humedad), la forma de aplicación (con maquinaria o manual, superficial a 0-30 cm o a mayor profundidad > 30 cm, en banda o cerca de las raíces), entre otras cosas), pues aún no se tiene una respuesta verídica en tiempo futuro (Escalante Rebolledo, y otros, 2016).

A pesar de ello, es importante recalcar la mejora de la calidad del suelo, debido a que, conduce a concentraciones más bajas de dióxido de carbono en la atmósfera (incluyendo otros gases de efecto invernadero), mayor productividad, sostenibilidad y otros beneficios ambientales relacionados con su mejora, como la calidad del agua y la reducción de la erosión (Ramirez & Rosales Alvarez, 2009).

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.Degradación de Suelos

2.1.1. Definición

La degradación del suelo se define como un cambio en la salud del suelo que resulta en una reducción en la capacidad del ecosistema para producir bienes o brindar servicios a sus beneficiarios (Venegas & Venegas, 2010).

A la degradación del suelo también se la define como el proceso por el cual se deterioran las propiedades físicas, químicas y biológicas de la tierra debido a la existencia de dos sistemas involucrados, el ecosistema natural y el entorno social humano. Es necesario dotar al suelo de la calidad de un entorno natural no renovable. y no solo como un recurso que se puede utilizar con fines económicos (Sanchéz, 2020).

2.1.2. Problemas de la degradación de los suelos

El crecimiento poblacional mundial abarca una creciente demanda de alimentos y por consiguiente un incremento de la producción de estos. A lo largo de los años el ser humano ha identificado dos alternativas para aumentar y mejorar la producción agrícola una de ellas es elaborando sustancias sintéticas que a corto plazo mejoren el rendimiento del suelo y la otra alternativa es abriendo camino a la frontera agrícola mediante la tala indiscriminada de árboles, aproximadamente 100.000 km^2 anuales a nivel global. Las zonas agroecológicas más comunes de esta actividad son los trópicos húmedos y las áreas sub-húmedas a semiáridas. Lo que se conoce es que estas zonas presentan condiciones frágiles ya que son suelos de baja resiliencia, en especial suelos con aptitudes marginales para la captación de la capa arable (Palacio, 2005).

Varios siglos después de la colonización por países europeos, comenzó la degradación de suelos y de tierras en América Latina. Las actividades antropogénicas que mayormente han degradado los suelos han sido la deforestación, el sobrepastoreo y los incendios forestales. Se ha evidenciado que esta problemática sigue en aumento debido a múltiples causas y combinaciones según en el país o región en las que se producen. Anualmente 5 millones de hectáreas de tierra en toda América Latina son degradadas, de ellas 3 millones

en zonas tropicales húmedas, en las zonas montañosas 0.5 millones de hectáreas, y finalmente 2 millones en subhúmedas y subtropicales (Sentís, 2012).

Se estima que América Latina ya cuenta con más 300 millones de hectáreas degradadas por diferentes causas, de esta cantidad se consideran 100 millones por deforestación y alrededor de 80 millones por sobre pastoreos (Sentís, 2012).

2.1.3. Alteraciones actuales de la degradación de los suelos

Una porción considerable del recurso suelo a nivel mundial se encuentra en pésimas condiciones y dichas condiciones están cada vez empeorando en lugar de mejorar. El 33% de la tierra presenta una degradación de moderada a alta a causa de la erosión, acidificación, salinización, contaminación química y compactación de los suelos (FAO, 2015).

En América Latina y el Caribe se considera que los servicios ambientales más afectados son: la regulación del clima mediante la alteración del ciclo del carbono y el nitrógeno sobre todo en bosques tropicales y húmedos; la regulación del agua mediante alteraciones en la cantidad y calidad de la producción de agua en las montañas, ambos servicios afectados por la deforestación de laderas lo que también provoca deslizamientos y procesos de erosión hídrica; a la deforestación también se le atañe las alteraciones en la producción de alimentos en tierras en pendiente, las prácticas de uso de tierra mal desarrolladas y sin medidas de conservación produce erosión en el suelos de América Latina y el Caribe (LAC), además la pérdida de su biodiversidad y cambio en el uso y cobertura de la tierra (FAO, 2016).

2.2.El Biochar

2.2.1. Definición

“Es un compuesto sólido, negro, altamente poroso, compuesto de 70% de carbón en forma estable de la descomposición térmica carbonáceo, sólido y recalcitrante derivado de la pirolisis de la biomasa residual” (Huaraca-Fernandez, Pérez-Sosa, Bustinza-Cabala, & Pampa-Quispe, 2020). El rendimiento y propiedades están netamente ligados al proceso de pirolisis y la composición de la biomasa.

El biochar "es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas relativamente bajas (inferiores a los 700 ºC) y que es destinado a uso agrícola" (Escalante Rebolledo, y otros, 2016).

2.2.2. Condiciones óptimas para la obtención del Biochar

Parta la obtención del biochar de alta calidad se requiere de óptimas condiciones, para la pirolisis se necesita entre 450 a 600 ºC. La temperatura de combustión depende de la humedad de la madera, las condiciones ambientales (principalmente de la humedad atmosférica y velocidad del viento) y el tamaño de las astillas (Medina Orozco & Medina Orozco, 2018).



Figura 1 Transformación de la biomasa vegetal a biochar.
Fuente: (Medina Orozco & Medina Orozco, 2018).

2.2.3. Biochar y sus aplicaciones recientes

Los científicos están interesados cada vez más en el biochar particularmente por su impacto positivo en el suelo, ya que las propiedades físico-químicas de sus partículas afectan el agua que se traslada a través del suelo, eliminando los contaminantes, alterando las comunidades microbianas y reduciendo los gases de efecto invernadero. El biochar es la esperanza de todos los agricultores en el mundo en especial en los que se localizan en regiones en desarrollo que frecuentemente padecen de suelos pobres (Rodríguez, McLaughlin, & Pennock, tercer año).

El biochar al ser una forma recalcitrante de carbono, reacciona como reservorio de duración prolongada de este elemento, retrasando su retorno a la atmosfera como CO_2 de manera que ayuda aplacar el cambio climático. Un aprovechamiento adicional es que la materia prima que se utiliza para su elaboración son residuos orgánicos que habitualmente provocan problemas de contaminación en el ambiente (Escalante et al., 2016).

2.3.Terra preta (tierra negra)

La Terra Preta es considerada “un epipedón antrópico espeso, de color oscuro, generalmente rico en nutrientes. Ocurre principalmente en los márgenes de tierra firme, a lo largo de las orillas del río Amazonas, sobre suelos profundos y fuertemente erosionados” (Lima, Schaefer, Mello, Gilkes, & Ker, 2002).

Por otro lado, los suelos de *Terra Preta (tierra negra)* también se lo define como “áreas paradigmáticas, gruesas y fértiles de suelo antrópico negro, con abundantes fragmentos de cerámica” (Arroyo-Kalin, 2017). No son extensos, ya que se los encuentran en un tamaño promedio que varía de 2 a 500 hectáreas (Sombroek, y otros, 2002).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se presenta el diseño y la localización de la investigación en donde se efectuó la fase de campo, la cual ha sido extraída del estudio de años anteriores.

3.1.Localización

El análisis de datos se ejecutó de aquellos, que se han generado en los análisis físico-químicos del suelo realizado en las instalaciones del laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica del contrato marco de acceso a los recursos genéticos del programa de investigación denominado: "Ecosistemas, biodiversidad y conservación de especies, invertebrados y sus interacciones", celebrado entre el Ministerio del Ambiente, a través de la Subsecretaria de Patrimonio Natural y la Universidad Estatal Amazónica (MAE-DNB-CM-segundo año-0087). El ensayo se efectuó en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA), la investigación tiene en existencia dos parcelas (PA & PB) permanentes experimentales del proyecto: Restauración Forestal e Identificación de Indicadores Biológicos Conexos (ReFiiBiC). La investigación se realizó como parte del Grupo Científico Estudiantil: Restauración Forestal y Bioindicadores Edáficos – ReFOBE.

En la Figura 2 encontramos la ubicación del Proyecto Silvícola Industriales como un aporte multifuncional a la Economía Verde en la Producción Amazónica (SSIEV), la cual indica la zona de estudio; las parcelas (parcela alta y parcela baja), enmiendas con biochar (manufacturado e industrializdo) y de control.

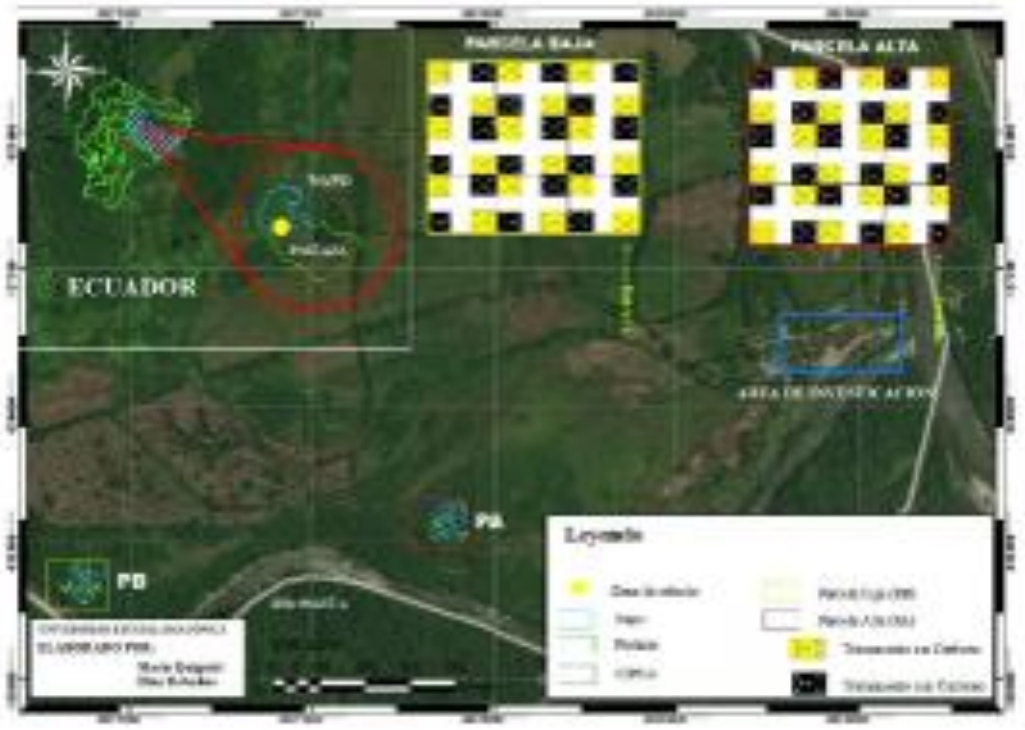


Figura 2. Ubicación del área de estudio. *Fuente: (Quiguri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019)*

3.1.1. Parcelas experimentales

En la tabla *1*, se detallan las coordenadas geográficas de la parcela alta y baja.

PARCELA ALTA 18S	PARCELA BAJA 18S
X: 0178147	X: 0177326
Y: 9862556	Y: 9862438
ALTITUD: 614 m.s.n.m	

Tabla 1. Ubicación de las parcelas experimentales (PA & PB) *Fuente: Ing. Pedro Ríos M.Sc.*

3.2.Diseño de Investigación

El diseño de la investigación de campo utilizado, fue el de un cuadrado latino con parcelas subdivididas en un arreglo factorial 3x3x3 en el que se aplicó biochar con el doble de muestras control para cada tipo de biochar aplicado.

La figura 2 corresponde al diseño experimental en el cual se encuentra las tres enmiendas (suelo con tratamiento modificado, es decir contiene biochar, ya sea manufacturado o industrializado; suelo con tratamiento no modificado, sin biochar o sea, suelo control. Por otro lado, están los cultivos el *Myroxylon balsamum*, *Ocotea Quixos* y mixto que está compuesto por *Myroxylon balsamum* y *Ocotea Quixos*, denominados tratamientos.

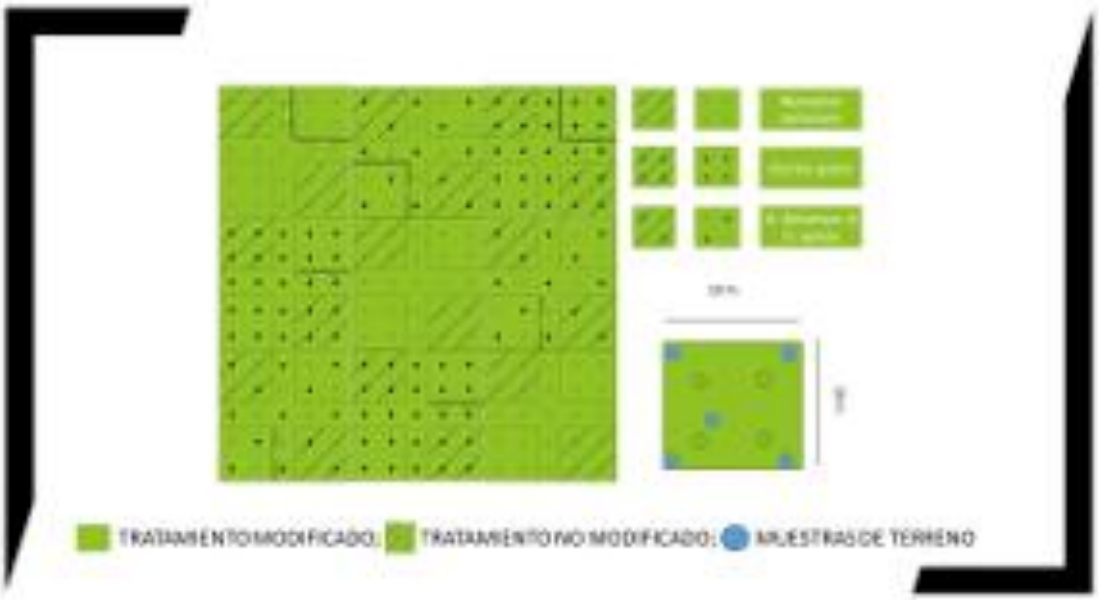


Figura 3 Diseño experimental con parcelas subdivididas en arreglo factorial de 3x3x3 (cuadrado latino). *Elaborado por: Ing. Pedro Ríos Guayasamín, M.Sc*.

El presente Trabajo de Integración Curricular se orientó por el diseño descriptivo comparativo con enfoque cuantitativo. En el cual se incluye dos variables; la variable independiente hace referencia a las enmiendas, tratamientos y profundidades, por otro lado, las variables dependientes refieren a los parámetros físicos-químicos (pH, acidez intercambiable, aluminio intercambiable, fósforo, potasio, calcio, magnesio, conductividad eléctrica y materia orgánica). Es decir, se describe el análisis de los parámetros físico-químicos del suelo a diferentes profundidades y enmiendas para el tercer año (2019).

3.3.Métodos de la investigación

Este Trabajo de Integración Curricular se basó en dos métodos de investigación:

- Método analítico
- Método comparativo

3.3.1. Elaboración de la base de datos

Una vez obtenidos los datos del laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica se procedió con la elaboración de la base de datos, la cual fue transcrita al Sistema Operativo de Microsoft Excel 2016 compuesta por las variables dependientes e independientes **(Anexo 1).**

3.3.2. Análisis estadístico de datos

Mediante la matriz elaborada en Microsoft Excel 2016 se procede al análisis en el programa IBM SPSS Statistics 21 **(Anexo 2)**, efectuando el diseño de descripción mediante las descripciones gráficas (gráfico de barras) y las descripciones numéricas (análisis de variante (ANOVA) basado en el método de tukey; medias, error estándar y significancia) para su posterior interpretación y comparación con el primer y segundo año (2017 y 2018).

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capitulo se atiende al objetivo general y objetivos específicos de la investigación, es decir, se muestran los resultados de los parámetros físico-químicos: pH, acidez intercambiable, aluminio intercambiable, potasio, calcio, magnesio, fósforo, conductividad eléctrica y materia orgánica. En conjunto se discuten y cotejan con bibliografías anteriormente disponibles.

4.1.Potencial de Hidrogeno (pH)

La Figura 4 hace referencia a los valores de potencial de hidrógeno del suelo obtenidos a diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas B1 (biochar manufacturado), B2 (biochar industrial) y el control (tratamiento sin modificar).

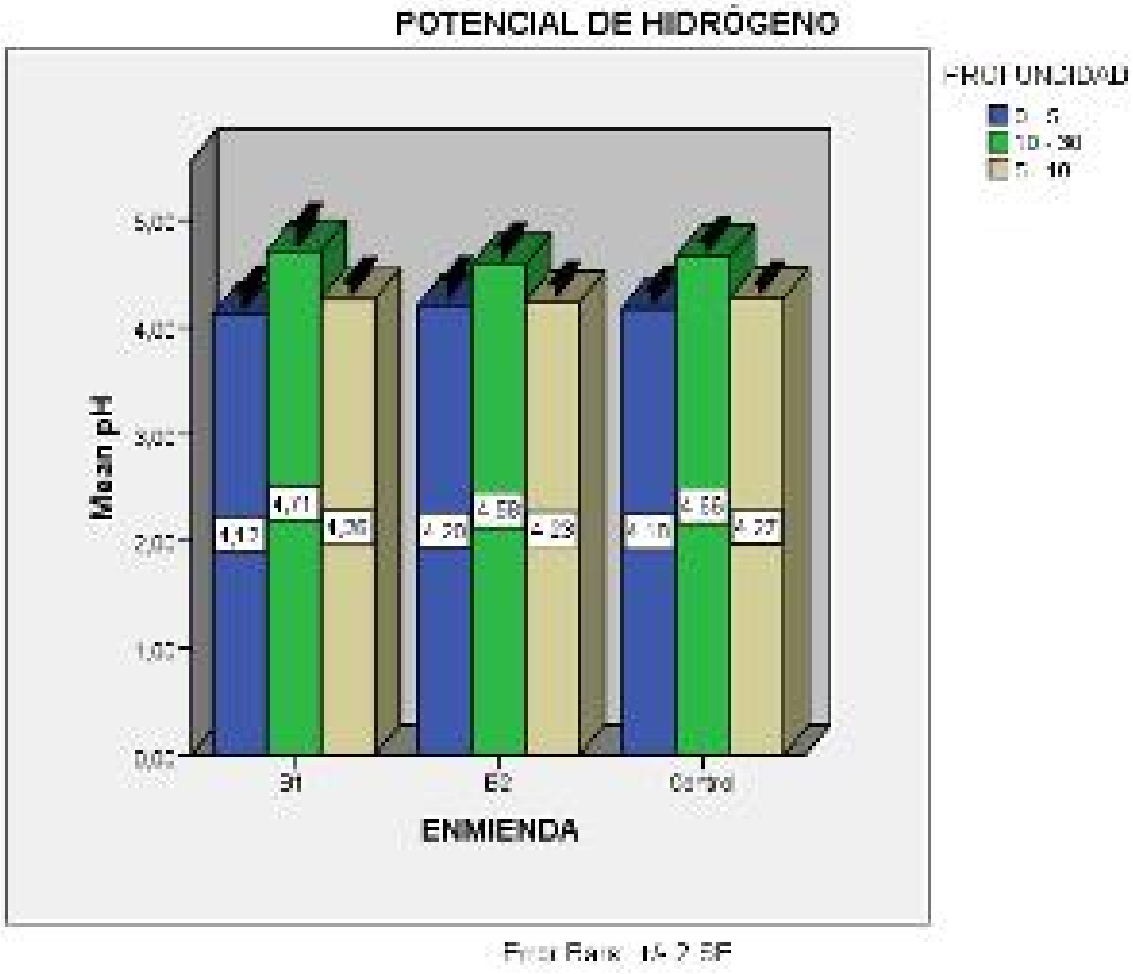


*Figura 4 pH Vs Enmienda * Profundidad.* *Fuente: Autores*

Se puede apreciar en el *Figura 4. pH Vs Enmienda * Profundidad* que el pH en las enmiendas no varía, que su muestra permanece homogénea con respecto al pH, ya que

este se mantiene en un rango de 4 a 4,7 tanto en la profundidad mínima de 0 a 5 cm como en la máxima de 10 a 30 cm.

Según los rangos de la interpretación de pH (Mexico Patente nº LEX-FAOC050674, 2002) el suelo se halla muy ácido o fuertemente ácido, debido a que se encuentra en el rango 0.0 – 5.0. Sin embargo, el pH ha ido ascendiendo, ya que, en el primer año; en la enmienda B_1 se obtuvo un valor de 4.33, en B_2 4.31 y en el C 4.27; en el segundo año la enmienda a incrementando en B_1 4.46, en B_2 4.46 y en C 4.43 (Quiguri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019) y para el tercer año en la enmienda de B_1 4.70, en B_2 4.58 y C 4.65, el pH ha ido ascendiendo a lo largo del tiempo. Según Rivera, Sánchez, & Domínguez (segundo año) un suelo muy ácido causa la reducción del crecimiento de las plantas, ya que disminuye la disponibilidad de algunos nutrientes como el Ca, Mg, K y P, favoreciendo así la solubilidad de elementos tóxicos como por ejemplo el Al (aluminio) y Mn (manganeso). Datos de pH en suelos amazónicos pueden ayudar a poner en contexto estos resultados (como datos de plantaciones de cacao).

Debido a la infiltración que fue provocado por el biochar encontramos un pH (4,70) superior en la profundidad de 10-30 cm.

4.1.1. Descripción Estadística (tabla 3)

4.1.1.1.Variable Dependiente: pH

La tabla 3 hace referencia a los valores detallados de la media del potencial de hidrógeno obtenidos a las diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas y además se muestran los valores de error estándar.

Tabla 2 Descripción Estadística (pH)

Enmienda	Profundidad	Media	EE
B1	0 – 5	4.121	.082
	5 - 10	4.257	.082
	10 - 30	4.708	.082
B2	0 – 5	4.201	.082
	5 - 10	4.231	.082
	10 - 30	4.581	.082
Control	0 – 5	4.175	.058
	5 - 10	4.267	.058
	10 - 30	4.657	.058

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

4.1.1.2.Significancia

La tabla 4 hace referencia a los valores de significancia de las variables independientes enmienda, profundidad, enmienda*profundidad con respecto al potencial de hidrógeno. Las siglas SS y NS se interpretan como no hay significancia y si hay significancia al 5% respectivamente.

Tabla 3 Significancia (pH)

Variable Independiente	Sig.	
Enmienda	0.878	NS
Profundidad	0.000	SS
Enmienda * Profundidad	0.803	NS

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

En la *Tabla 4. Significancia (pH)* se observan las significancias que presentan las variables independientes Enmienda, Profundidad y Enmienda por Profundidad; la cual nos indica que en la enmienda del pH no existe diferencia significativa, ya que, p **> 0.05;** al igual que la Enmienda por Profundidad, sin embargo, existe diferencias significativas (p **< 0.05)** del pH en la profundidad, debido a que a más cm de profundidad mayor es el mismo.

Un suelo con condiciones óptimas para el correcto desarrollo de una planta presentara un pH neutro, a consecuencia de esto, los nutrientes de mayor y menor cantidad estarán presentes de manera equitativa (Rivera, Sánchez, & Domínguez, 2018).

Por otra parte, para los vegetales y cultivos agronómicos, se recomienda un pH de 5.8 a 6.5, ya que, es el ideal para el desarrollo de la planta. No obstante, es muy importante conocer las necesidades del cultivo, puesto que, el pH ideal no es el mismo para todos (Espinoza, Slaton, & Mozaffari, 2012).

4.2.Acidez Intercambiable (Al+H)

La Figura 5 hace referencia a los valores de acidez intercambiable del suelo obtenidos a diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas B1 (biochar manufacturado), B2 (biochar industrial) y el control (tratamiento sin modificar).

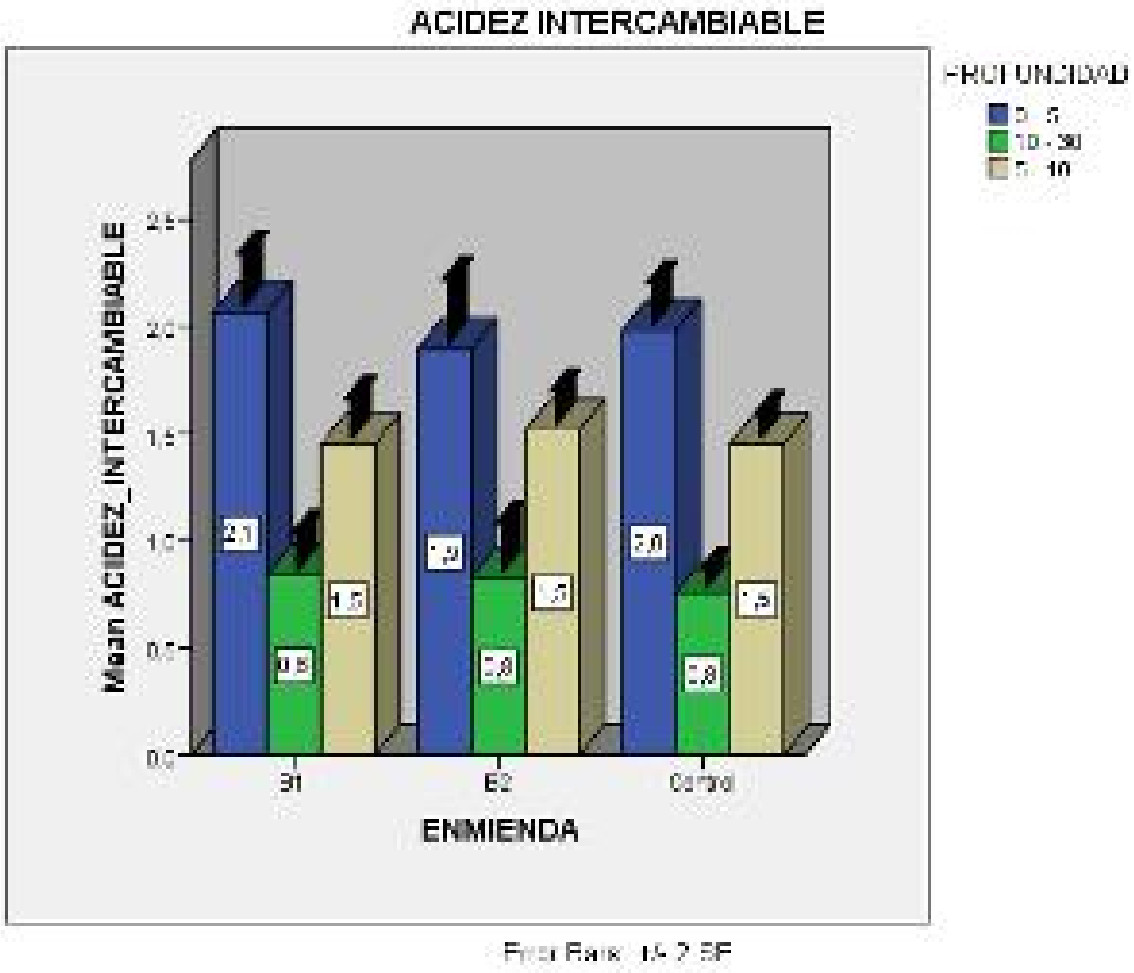


Figura 5 Al+H Vs Enmienda Profundidad.* Fuente: Autores

En el Figura 5 Al+H Vs Enmienda* Profundidad se observa como el bigote del error estándar por cada rango de profundidad comparte casi los mismos valores de Aluminio Intercambiable en cada una de las enmiendas de biochar industrial, biochar manufacturado y control; indicando que el aluminio intercambiable es homogéneo en todas las enmiendas.

4.2.1. Descripción Estadística (tabla 5)

4.2.1.1.Variable Dependiente: Al+H

La tabla 5 hace referencia a los valores detallados de la media de acidez intercambiable obtenidos a las diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas y además se muestran los valores de error estándar.

Tabla 4 Descripción Estadística (AlH)

Enmienda	Profundidad	Media	EE
B1	0 – 5	2.067	.107
	10- 30	.839	.107
	5 - 10	1.450	.107
B2	0 – 5	1.894	.107
	10 - 30	.828	.107
	5 - 10	1.517	.107
Control	0 – 5	1.981	.076
	10 – 30	.758	.076
	5 - 10	1.453	.076

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

Mediante el KCl 1N se obtuvo la acidez intercambiable. En el primer año se obtuvieron datos promedios en B_1 3.63 $Cmol.kg^{-1}$, B_2 1.87 $Cmol.kg^{-1}$ y C 1.9 $Cmol.kg^{-1}$, seguimos con el segundo año donde se obtuvo en B_1 2.21 $Cmol.kg^{-1}$, B_2 2.19 $Cmol.kg^{-1}$ y C 2.26 $Cmol.kg^{-1}$, para el tercer año se obtuvo resultados con una inclinación en B_1 2.067 $Cmol.kg^{-1}$, B_2 1.894 $Cmol.kg^{-1}$ y C 1.98 $Cmol.kg^{-1}$, todo esto aconteció en el horizonte superficial (0 – 5 cm) entre 0 y A.

Entonces se analiza la disminución de la acidez intercambiable con la aplicación de biochar manufacturado en el último año ha reducido un 6.47%, mientras que con la aplicación del biochar industrial redujo un 13.51% y para el tratamiento no modificado redujo un 12.38%. No existe una diferencia significativa como tal en los tratamientos de las enmiendas.

En el tercer año la acidez intercambiable promedio de los tratamientos B1 y B2 se han reducido un 9.99% lo que es muy bueno dado que, el comportamiento indica la reducción en la saturación de H+ y por tanto un aumento del pH del suelo (Fernandéz Linares, Rojas Avelizapa, Roldán Carrillo, & Ramiréz Islas, 2006).

4.2.1.1. Significancia

La tabla 6 hace referencia a los valores de significancia de las variables independientes enmienda, profundidad, enmienda*profundidad con respecto a la acidez intercambiable. Las siglas SS y NS se interpretan como no hay significancia y si hay significancia al 5% respectivamente.

Tabla 5 Significancia (AlH)

Variable Independiente	Sig.	
Enmienda	0.770	NS
Profundidad	0.000	SS
Enmienda * Profundidad	0.818	NS

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

En la anterior *Tabla 6 Significancia (Al+H)* se detallan las significancias de las variables independientes: enmienda, profundidad y su relación entre sí, la única que presenta diferencias significativas es la de profundidad mientras que las otras se muestran casi constantes, es decir, no existe variaciones significativas, ya que sobrepasa el rango de p > 0.05.

4.3.Aluminio intercambiable (Al)

La Figura 6 hace referencia a los valores de aluminio intercambiable del suelo obtenidos a diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas B1 (biochar manufacturado), B2 (biochar industrial) y el control (tratamiento sin modificar).

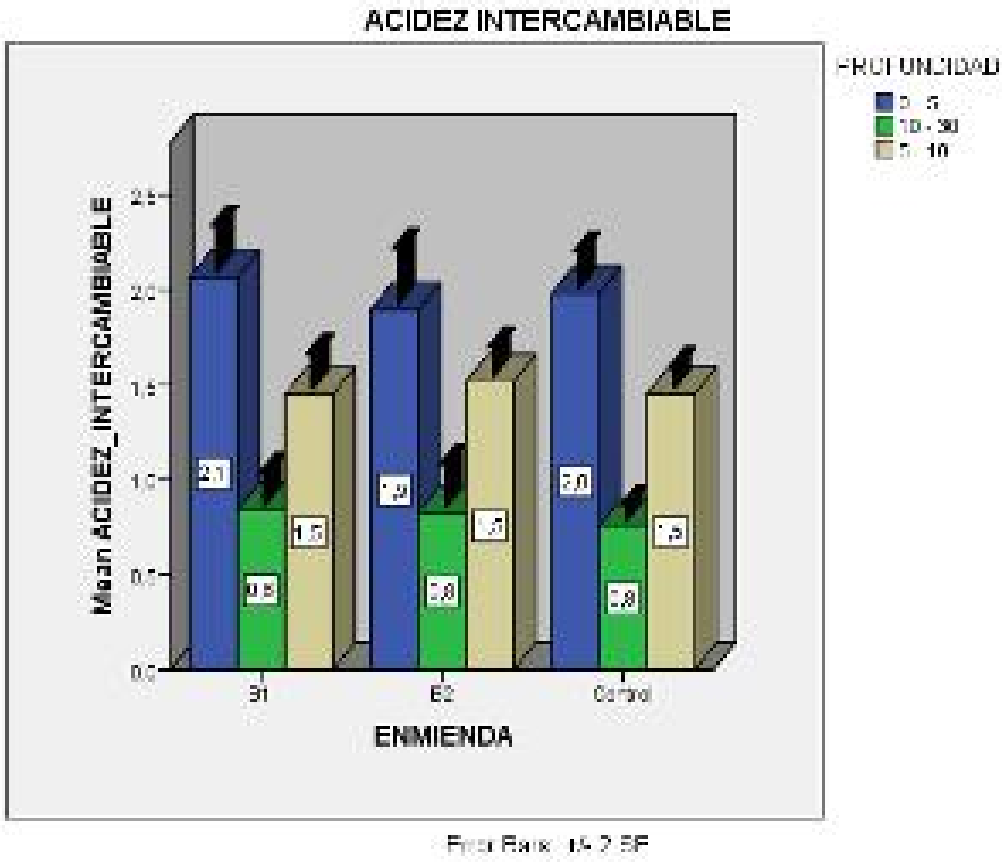


Figura 6 *Al Vs Enmienda * Profundidad.* Fuente: Autores

Se puede observar que las concentraciones de Al se mantienen casi constante en los diferentes centímetros de profundidad tanto en las dos clases de biochar como en control, según indica el bigote del error estándar no existen variaciones.

4.3.1. Descripción Estadística (tabla 7)

4.3.1.1.Variable Dependiente: Al

La tabla 7 hace referencia a los valores detallados de la media de aluminio intercambiable obtenidos a las diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas y además se muestran los valores de error estándar.

Tabla 6 Descripción Estadística (Al)

Enmienda	Profundidad	Media	EE
B1	0 – 5	0.611	0.057
	10- 30	0.456	0.057
	5 - 10	0.428	0.057
B2	0 – 5	0.483	0.057
	10 - 30	0.400	0.057
	5 - 10	0.456	0.057
Control	0 – 5	0.606	0.040
	10 – 30	0.367	0.040
	5 - 10	0.439	0.040

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

Con bases del primer año se evidencia que; en la enmienda B_1 se obtuvo un valor de 0.79 $Cmol.kg^{-1}$, en B_2 0.68 $Cmol.kg^{-1}$ y en el C 0.79 $Cmol.kg^{-1}$; en el segundo año se visualiza un incremento en las enmiendas B_1 0.90 $Cmol.kg^{-1}$, en B_2 0.87 $Cmol.kg^{-1}$ y en C 0.87 $Cmol.kg^{-1}$ y para el tercer año los valores promedios decrecen sin obtener una significancia con la enmienda en B_1 0.611 $Cmol.kg^{-1}$, en B_2 0.483 $Cmol.kg^{-1}$ y C 0.606 $Cmol.kg^{-1}$. Introducir el biochar es de gran ayuda para el suelo, el pH, el aluminio y acidez intercambiable confabulan entre sí, mientras aumenta el pH aumenta al rango ideal y así los niveles de aluminio irán descendiendo.

Tanto en el tratamiento de la enmienda B1 como B2 se observa una reducción de la concentración del Aluminio (Al) en el tercer año con un 38.29% menos, esto explica el aumento del pH en el suelo.

La concentración promedio del Aluminio aún se encuentra alta por lo cual tenemos un pH (4.64) fuertemente ácido, sin embargo, el Aluminio no es tóxico, debido a que, un H+ solo es tóxico con pH menor de 4.2 (Fernandéz Linares, Rojas Avelizapa, Roldán Carrillo, & Ramiréz Islas, 2006).

4.3.1.2.Significancia (aluminio)

La tabla 8 hace referencia a los valores de significancia de las variables independientes enmienda, profundidad, enmienda*profundidad con respecto al aluminio. Las siglas SS y NS se interpretan como no hay significancia y si hay significancia al 5% respectivamente.

Tabla 7 Significancia (Al)

Variable Independiente	**Sig.**	
Enmienda	.537	NS
Profundidad	.001	SS
Enmienda * Profundidad	.399	NS

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

Según la *Tabla 8. Significancia (Al)* no existen diferencias significativas en las concentraciones de Aluminio en la Enmienda ni en la relación de la Enmienda * Profundidad, sin embargo, se asemeja al caso del parámetro pH, en el cual existe diferencias significativas en las respectivas concentraciones en la variable profundidad.

4.4.Fósforo (F)

La Figura 7 hace referencia a los valores de fósforo del suelo obtenidos a diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas B1 (biochar manufacturado), B2 (biochar industrial) y el control (tratamiento sin modificar).

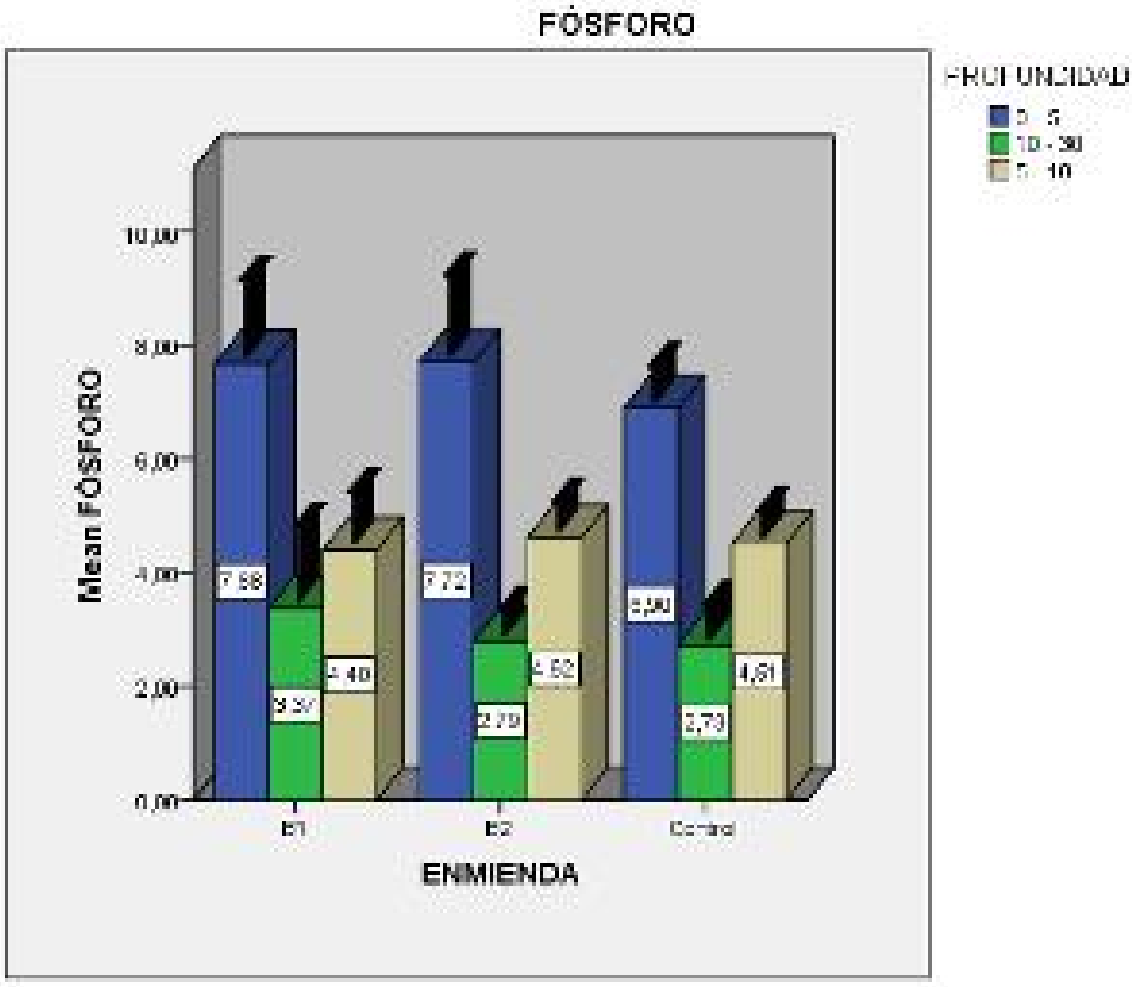


Figura 7 P Vs Enmienda * Profundidad. Fuente: Autores

En el *Figura 4. P Vs Enmienda * Profundidad* según los bigotes del error estándar en la profundidad 0 a 5 cm en todas las aplicaciones de las enmiendas no muestran variaciones en las concentraciones de Fósforo y lo mismo sucede con las distintas profundidades por tanto esto se traduce a que las muestras del tercer año son homogéneas, es decir no existen diferencias significativas en los tratamientos de enmiendas.

4.4.1. Descripción Estadística (tabla 9)

4.4.1.1.Variable Dependiente: P

La tabla 9 hace referencia a los valores detallados de la media de fósforo obtenidos a las diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas y además se muestran los valores de error estándar.

Tabla 8 Descripción Estadística (P)

Enmienda	Profundidad	Media	EE
B1	0 – 5	7.683	0.485
	10- 30	3.366	0.485
	5 - 10	4.400	0.485
B2	0 – 5	7.717	0.485
	10 - 30	2.794	0.485
	5 - 10	4.617	0.485
Control	0 – 5	6.900	0.343
	10 – 30	2,726	0.343
	5 - 10	4.508	0.343

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

Se presentaron los resultados del fósforo promedio en el primer año; en la enmienda B_1 se obtuvo un valor de 6.28ppm, en B_2 6.06ppm y en C 6.09ppm; en el segundo año los resultados mostraron una disminución en todas las enmiendas B_1 4.2ppm, en B_2 2.45ppm y en C 2.43ppm (Quiguri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019), mientras que para el tercer año los resultados en la enmienda ascendieron tanto en B_1 (7.68ppm), en B_2 (7.71ppm) y C (6.9ppm).

Haciendo referencia a la profundidad los mayores resultados de fósforo obtenidos se encuentran en 0 – 5 cm en B1 (7.68ppm), B2 (7.72ppm) y C (6.9ppm), es decir en el horizonte 0 y horizonte A. Siendo encontrado el fósforo de forma orgánica, dado que, se encuentra en la materia orgánica y humus (Fernández Linares, 2006).

En los antecedentes de la investigación del año primero y segundo (Quiguri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019) indican que el fósforo disminuyó y que el aluminio y acidez intercambiable aumento, presentando resultados no esperados con la adición del biochar en el suelo. A pesar de eso, para el tercer año todos los tratamientos con enmiendas (biochar manufacturado e industrializado) y control desarrollaron un valor elevado poniendo a flote las esperanzas de la adición de biochar.

4.4.1.2.Significancia

La tabla 10 hace referencia a los valores de significancia de las variables independientes enmienda, profundidad, enmienda*profundidad con respecto al fósforo. Las siglas SS y NS se interpretan como no hay significancia y si hay significancia al 5% respectivamente.

Tabla 9 Significancia (P)

Variable Independiente	**Sig.**	
Enmienda	.377	NS
Profundidad	.000	SS
Enmienda * Profundidad	.719	NS

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

La *Tabla 10. Significancia (P)* se evidencia que no existen diferencias significativas en la Enmienda de igual forma en la relación Enmienda *Profundidad; también se evidencia que en la única variable que existen variaciones significativas es en la Profundidad.

4.5.Potasio (K)

La Figura 8 hace referencia a los valores de potasio del suelo obtenidos a diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas B1 (biochar manufacturado), B2 (biochar industrial) y el control (tratamiento sin modificar).

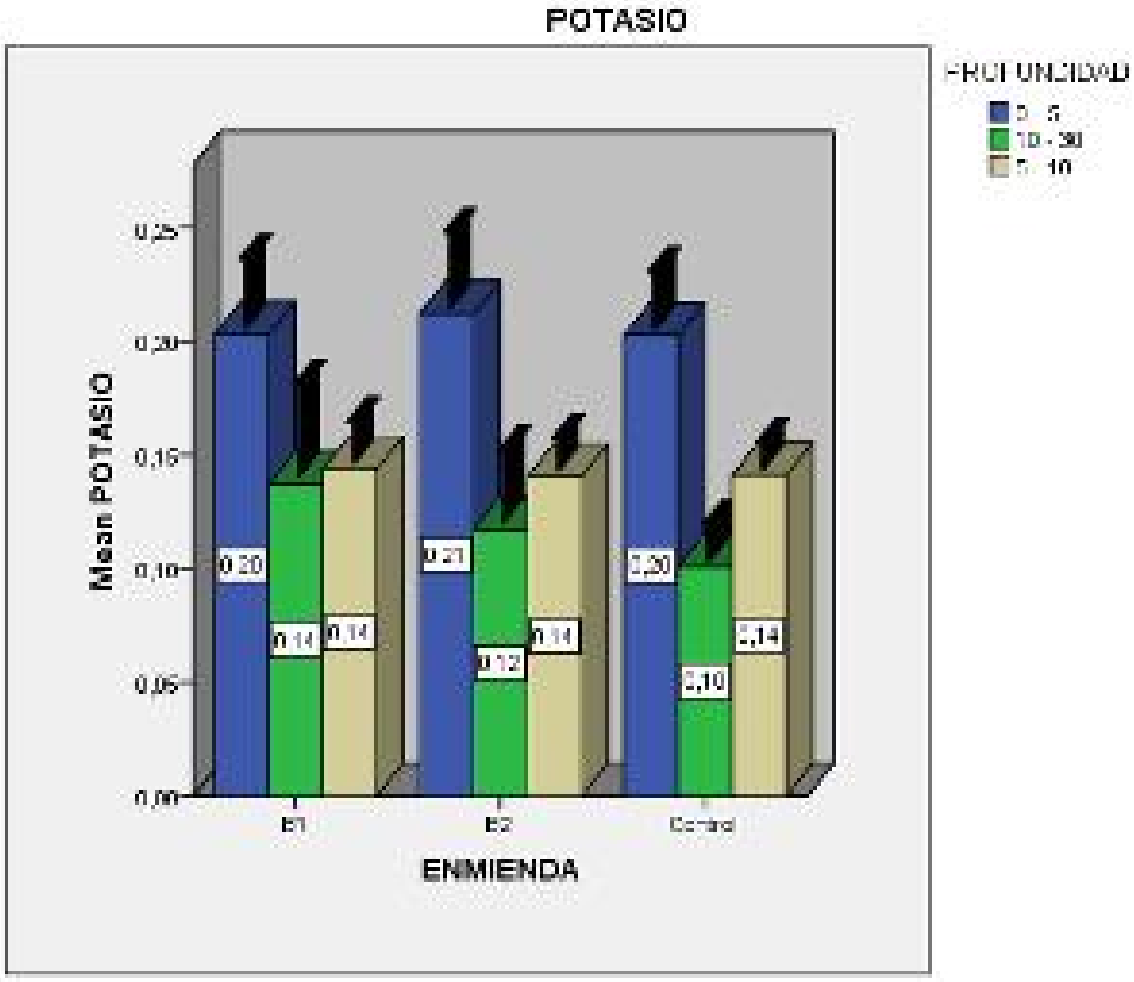


*Figura 8 Potasio Vs Enmienda * Profundidad.* *Fuente: Autores*

En el *Grafico 5. Potasio Vs Enmienda * Profundidad* existe más variación de concentración del potasio en las profundidades de 0 - 5 cm, que en el tratamiento de enmienda del manufacturado (B1); tenemos una concentración de 0,20 Cmol.kg^{-1} en la enmienda tradicional B2 0.21 Cmol.kg^{-1} y en el control C 0.20 Cmol.kg^{-1} de potasio, casi la mitad del 100% aun así no es una variación significativa por lo tanto la variable dependiente Enmienda no presenta significancia.

4.5.1. Descripción Estadística (tabla 11)

4.5.1.1.Variable Dependiente: K

La tabla 11 hace referencia a los valores detallados de la media de potasio obtenidos a las diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas y además se muestran los valores de error estándar.

Tabla 10 Descripción Estadística (K)

Enmienda	Profundidad	Media	EE
B1	0 – 5	.203	.014
	10- 30	.137	.014
	5 - 10	.144	.014
B2	0 – 5	.212	.014
	10 - 30	.117	.014
	5 - 10	.141	.014
Control	0 – 5	.203	.010
	10 – 30	.101	.010
	5 - 10	.141	.010

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

Se registra que en el primer año los resultados del potasio (K); la enmienda B_1 obtuvo un valor promedio de 0.15 *Cmol.kg*$^{-1}$, en B_2 0.14 *Cmol.kg*$^{-1}$ y en el C 0.12 *Cmol.kg*$^{-1}$; en el segundo año en la enmienda B_1 0.16 *Cmol.kg*$^{-1}$, en B_2 0.16 *Cmol.kg*$^{-1}$ y en C 0.16 *Cmol.kg*$^{-1}$ (Quiguri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019) y para el tercer año los resultados de potasio han aumentado aún más en la profundidad de 0 – 5 cm con B_1 0.203, B_2 0.212 y C 0.203, sin embargo, según los niveles establecidos se encuentra en un nivel bajo, debido a que el rango es óptimo es de 0.2 – 0.3.

4.5.1.2.Significancia

La tabla 12 hace referencia a los valores de significancia de las variables independientes enmienda, profundidad, enmienda*profundidad con respecto al potasio. Las siglas SS y NS se interpretan como no hay significancia y si hay significancia al 5% respectivamente.

Tabla 11 Significancia (K)

Variable Independiente	Sig.	
Enmienda	0.377	NS
Profundidad	0.000	SS
Enmienda * Profundidad	0.719	NS

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

Como mencionábamos en el *Figura 8. Potasio Vs Enmienda * Profundidad* en la *Tabla 12 de Significancia (k)* se observa que la variable enmienda con 0,377 no evidencia una variación significativa mientras que la variable profundidad con 0,00 nos indica que si existe una diferencia significativa de la muestra.

4.6.Calcio (Ca)

La Figura 9 hace referencia a los valores de calcio del suelo obtenidos a diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas B1 (biochar manufacturado), B2 (biochar industrial) y el control (tratamiento sin modificar).

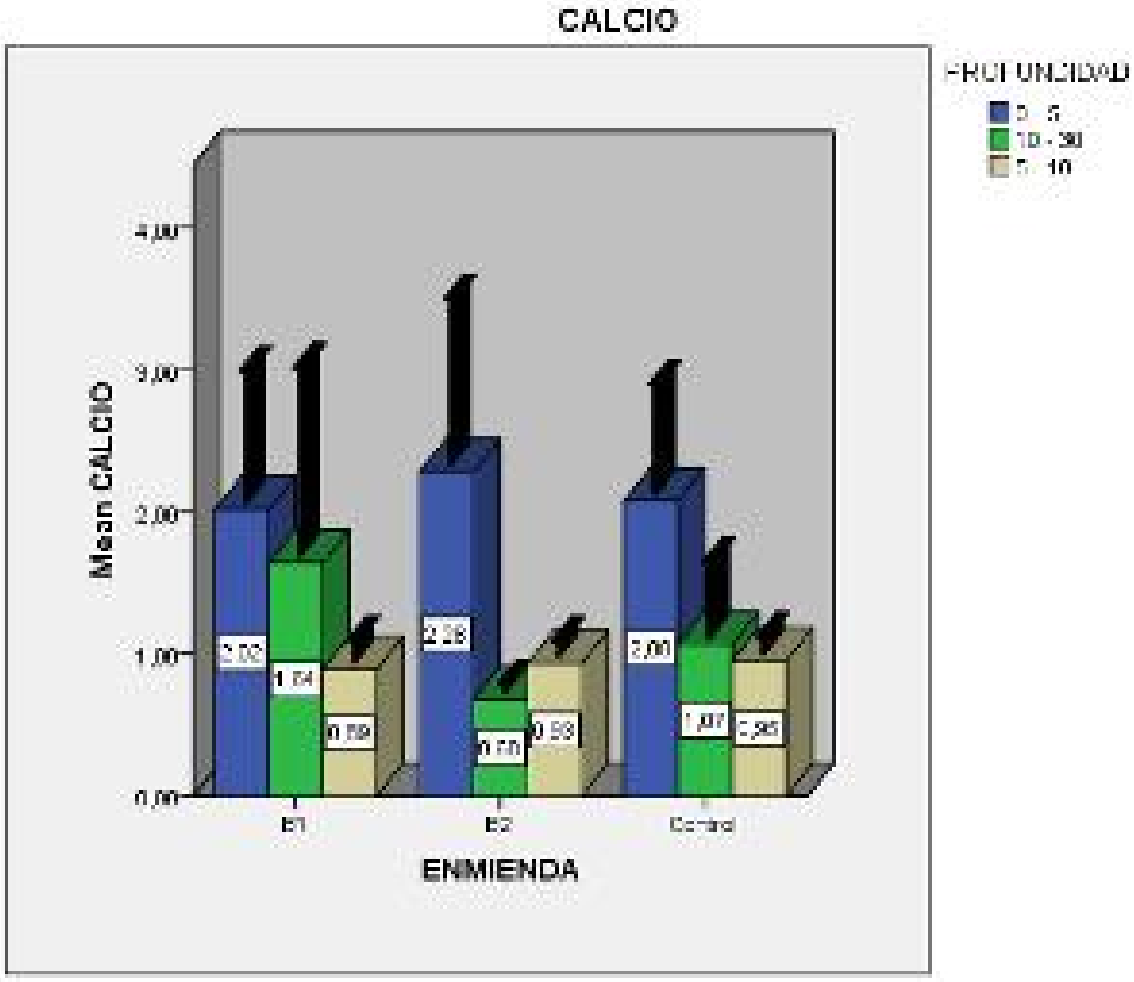


*Figura 9 Calcio Vs Enmienda * Profundidad.* *Fuente: Autores*

Aunque en el *Figura 6. Calcio Vs Enmienda * Profundidad* muestre variación significativa de concentración de Calcio entre las profundidades no ocurre igual con las enmiendas, si bien es cierto existe variación no es significativa así lo demuestra el análisis de varianza de esta variable independiente.

Según los análisis de los años anteriores se evidenció un Ca de 0.78 Cmol.kg^{-1} en el primer año con la aplicación del Biochar 1, un año después el Ca aumento un 51.25% presentando 1,6 Cmol.kg^{-1}, el mismo que siguió en aumento en el tercer año con un valor de 2.017 Cmol.kg^{-1} (Quiguiri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019).

Con la aplicación del Biochar 2 en el suelo se observa un mejor rendimiento, ya que los porcentajes de aumento del Ca son mayores que el Biochar 1, para el primer año, segundo año y el tercer año tenemos 1.77 Cmol.kg^{-1}, 1.8 Cmol.kg^{-1}, 2.28 Cmol.kg^{-1} respectivamente (Quiguiri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019).

Para el suelo con tratamiento no modificado se observa una reducción del 41.14 % de Ca en el suelo del segundo año al tercer año con 1.58% Cmol/kg y 0.93 *Cmol.kg^{-1}* respectivamente (Quiguiri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019).

El Ca para las dos enmiendas B1 y B2 con 2,017 *Cmol.kg^{-1}* y 2,28 *Cmol.kg^{-1}* respectivamente indican según los rangos de bases intercambiables que por ser menor que 5 *Cmol.kg^{-1}*, el valor de Ca es bajo.

4.6.1. Descripción Estadística (Tabla 13)

4.6.1.1.Variable Dependiente: Ca

La tabla 13 hace referencia a los valores detallados de la media de calcio obtenidos a las diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas y además se muestran los valores de error estándar.

Tabla 12 Descripción Estadística (Ca)

Enmienda	Profundidad	Media	EE
B1	0 – 5	2.017	.405
	10- 30	1.642	.405
	5 – 10	.893	.405
B2	0 – 5	2.283	.405
	10 – 30	.681	.405
	5 – 10	.141	.405
Control	0 – 5	.933	.286
	10 – 30	2.079	.286
	5 – 10	.951	.286

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

4.6.1.2.Significancia

La tabla 14 hace referencia a los valores de significancia de las variables independientes enmienda, profundidad, enmienda*profundidad con respecto al calcio. Las siglas SS y NS se interpretan como no hay significancia y si hay significancia al 5% respectivamente.

Tabla 13 Significancia Ca

Variable Independiente	Sig.	
Enmienda	0.792	NS
Profundidad	0.000	SS
Enmienda * Profundidad	0.616	NS

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

En la *Tabla 14. de Significancia (Ca)* se puede observar que los valores de la profundidad son inferiores al 0.05 por tanto si existe diferencia significativa; a diferencia de la variable independiente enmienda que su valor de significancia es mayor al 0.05 por lo que no existe diferencia significativa.

4.7.Magnesio (Mg)

La Figura 10 hace referencia a los valores de magnesio del suelo obtenidos a diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas B1 (biochar manufacturado), B2 (biochar industrial) y el control (tratamiento sin modificar).

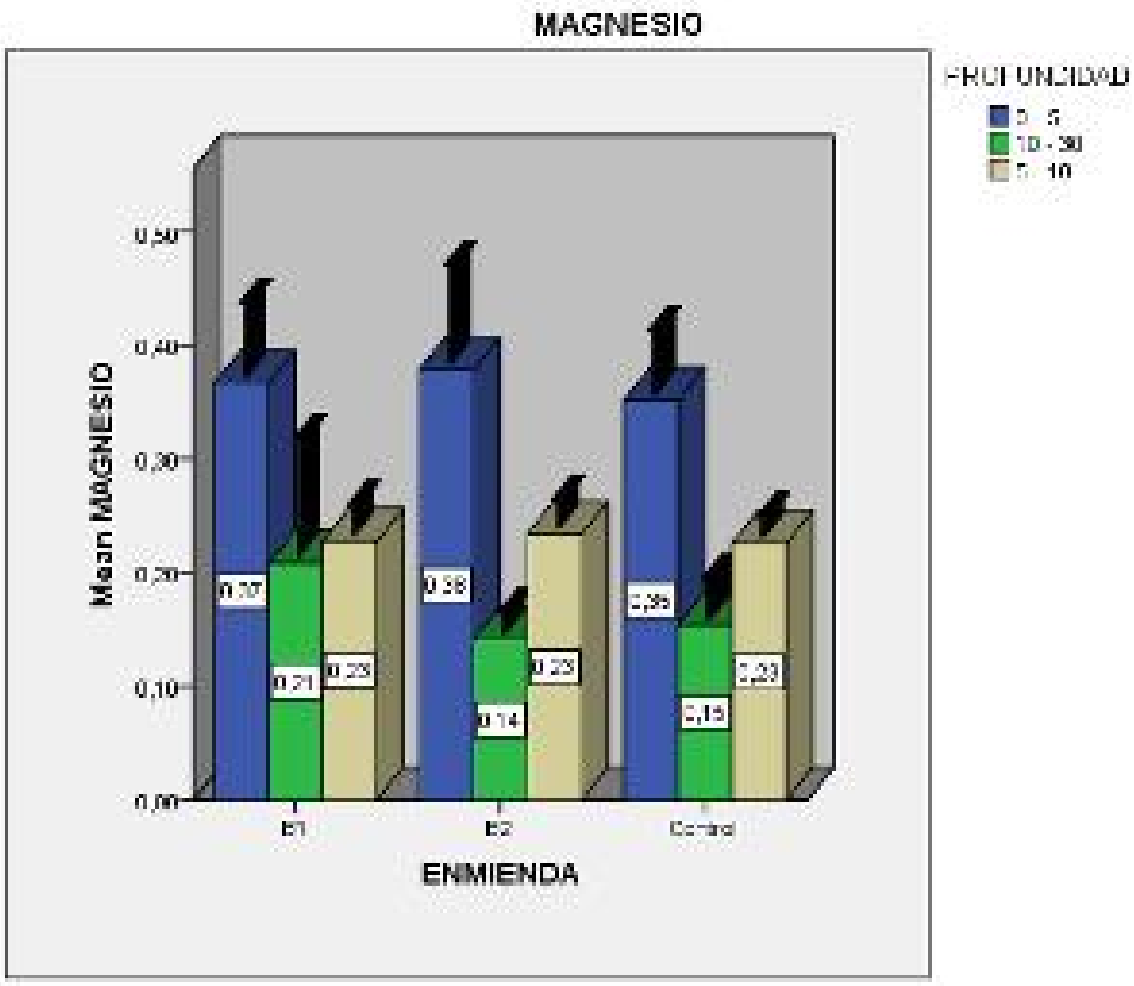


Figura 10 Magnesio Vs Enmienda * Profundidad. Fuente: Autores

En la *Figura 10. Magnesio Vs Enmienda * Profundidad* se observa una variación significativa de concentraciones de magnesio con respecto a las profundidades, podemos decir que en la primera capa superficial del suelo que esta de 0 a 5 cm existe más concentración de Magnesio (0,39 $Cmol.kg^{-1}$ en el B2) que lo que existe a mayores profundidades en este caso de 10 a 30 cm tenemos una concentración de 0,15 $Cmol.kg^{-1}$ en la enmienda del Biochar industrial (B2); por tanto si existe diferencia significativa de más de un 100% de la concentración de Magnesio, lo que no ocurre con la enmienda ya que las concentraciones se mantienen constantes.

Para los años primer año, segundo año y tercer año con la aplicación del biochar manufacturado (B1) tenemos las concentraciones de Mg de 0.24 $Cmol.kg^{-1}$, 0.42 $Cmol.kg^{-1}$y 0.37 $Cmol.kg^{-1}$ respectivamente para cada año (Quiguiri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019). Como podemos darnos cuenta del primer año al segundo año hubo un aumento de Mg del 42. 86% mientras que del segundo año al tercer año hubo un declive del 12.62% lo que no es bueno para el suelo ni para el cultivo ya que según los criterios de evaluación de la calidad del suelo el Mg presenta un valor que lo categoriza como muy bajo (Fernandéz Linares, Rojas Avelizapa, Roldán Carrillo, & Ramiréz Islas, 2006).

Con la aplicación del biochar industrializado (B2) no se observa un mejor rendimiento del primer año al segundo año con las concentraciones 0.27 $Cmol.kg^{-1}$y 0.41 $Cmol.kg^{-1}$respectivamente (Quiguiri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019), y aunque ocurre el mismo fenómeno de declive para el tercer año su porcentaje de reducción del Mg es inferior que con la aplicación del B1. Con un valor actual de concentración de 0.37 $Cmol.kg^{-1}$ de Mg este elemento representa muy bajo rendimiento para el suelo (Fernandéz Linares, Rojas Avelizapa, Roldán Carrillo, & Ramiréz Islas, 2006).

Sin la aplicación de enmiendas se observa como el suelo ha presentados altas y bajas con los valores de concentración de Mg al igual que los otros tratamientos, pero las variaciones han sido menores ya que para el primer segundo año y tercer año se presentan concentraciones de 0.26 $Cmol.kg^{-1}$, 0.39 $Cmol.kg^{-1}$y 0.35 $Cmol.kg^{-1}$ respectivamente (Quiguiri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019), se presumen que estos tratamientos muestran similitud debido al lavado de suelo conjuntamente el biochar. Dada la estimación de la concentración del último periodo, se puede inferir que el rendimiento de este suelo es aún más bajo que el de los suelos con la aplicación del biochar (Fernandéz Linares, Rojas Avelizapa, Roldán Carrillo, & Ramiréz Islas, 2006).

4.7.1. Descripción Estadística (Tabla 15)

4.7.1.1.Variable Dependiente: Mg

La tabla 15 hace referencia a los valores detallados de la media de magnesio obtenidos a las diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas y además se muestran los valores de error estándar.

Tabla 14 Descripción Estadística (Mg)

Enmienda	Profundidad	Media	EE
B1	0 – 5	.367	.031
	10- 30	.208	.031
	5 – 10	.228	.031
B2	0 – 5	.379	.031
	10 – 30	.141	.031
	5 – 10	.234	.031
Control	0 – 5	.352	.022
	10 – 30	.154	.022
	5 – 10	.226	.022

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

4.7.1.2.Significancia

La tabla 16 hace referencia a los valores de significancia de las variables independientes enmienda, profundidad, enmienda*profundidad con respecto al magnesio. Las siglas SS y NS se interpretan como no hay significancia y si hay significancia al 5% respectivamente.

Tabla 15 Significancia (Mg)

Variable Independiente	Sig.	
Enmienda	.543	NS
Profundidad	.000	SS
Enmienda * Profundidad	.688	NS

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

En la *Tabla 16. Significancia (Mg)* se muestras los valores de significancia de la enmienda y según el análisis de varianza por ser este (0,543) ser > 0,05 no muestra diferencia significativa a diferencia la variable profundidad que su valor está por debajo de los 0,05 establecidos y por tanto si hay variaciones en su muestra cómo se explicó en la interpretación del *grafico 7.*

4.8.Conductividad Eléctrica (CE)

La Figura 11 hace referencia a los valores de conductividad eléctrica del suelo obtenidos a diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas B1 (biochar manufacturado), B2 (biochar industrial) y el control (tratamiento sin modificar).

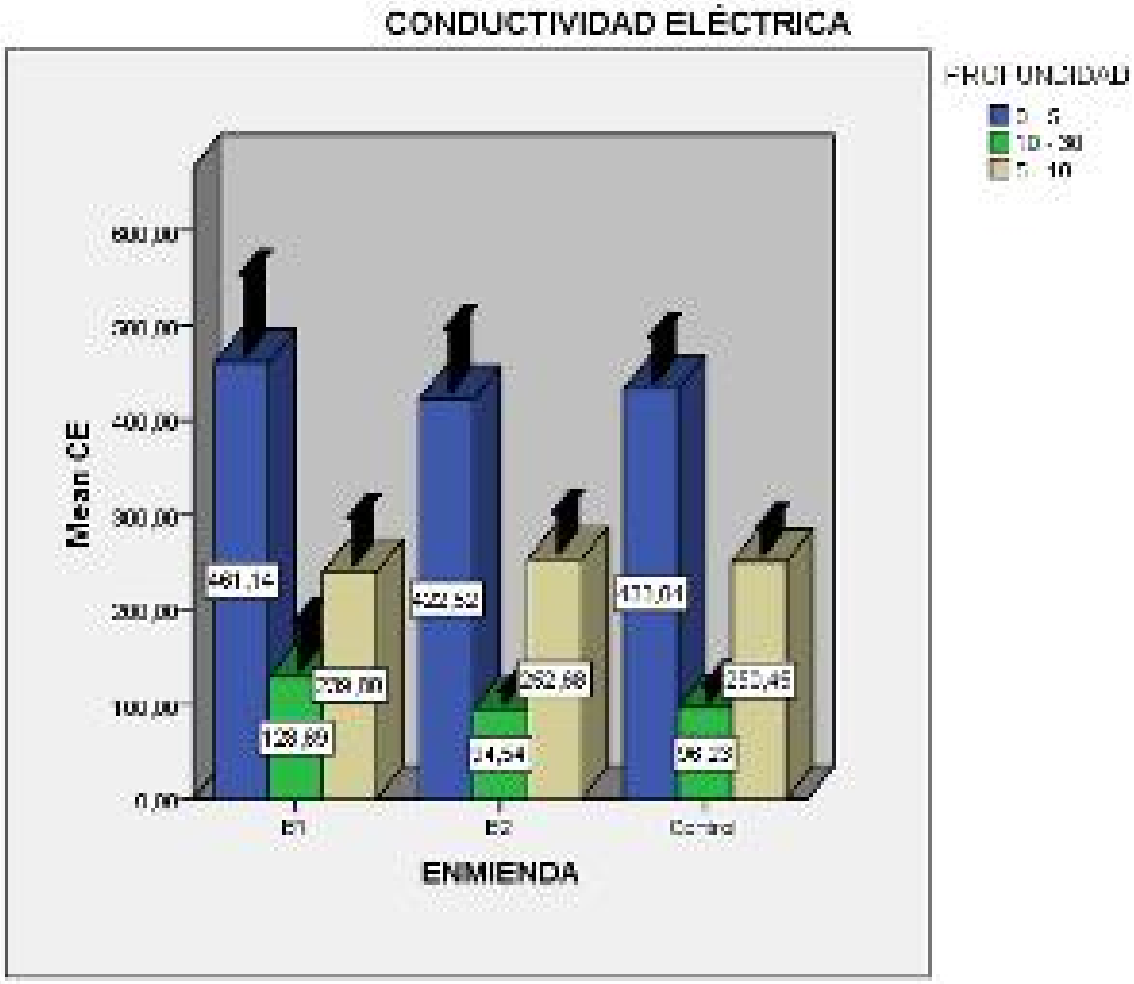


*Figura 11 Conductividad Eléctrica Vs Enmienda * Profundidad.* *Fuente: Autores*

Los valores de conductividad eléctrica son mayores a menor profundidad (0 – 5 cm) mientras que a mayor profundidad encontramos menos conductividad eléctrica por lo tanto la variable profundidad si muestra variación significativa, lo que ocurre con las enmiendas es totalmente distinto ya que sus variaciones son bajas como para presentar una significancia como tal, lo podemos apreciar con el uso de los bigotes del error estándar que sus valores se mantienen casi constantes por cada profundidad; según el *figura 11. Conductividad Eléctrica Vs Enmienda * Profundidad.*

La CE que se evidenció con la aplicación del B1 en 2107 fue de 0.34 ds/m, en el segundo año presentó una Ce de 0.35 ds/m y en el tercer año de 0.46 ds/m (Quiguiri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019); cómo se puede analizar tenemos en el segundo periodo un

incremento de la conductividad eléctrica del 2.8% y en el tercer periodo del 23.91% con tales valores nos fijamos que si existe una variación y aunque es mínima para el suelo resulta positivo ya que podemos decir que el pH esta aumentado y está volviendo al suelo menos ácido.

En comparación con el biochar manufacturado, el biochar industrializado presenta menor rendimiento, aunque este no es significativo si existe una variación en los años primer año, segundo año y tercer año con una Ce de 0.32 ds/m, 0.37 ds/m y 0.42 ds/m respectivamente (Quiguiri Chugñay & Robalino Zambrano, 2019).

Por último, tenemos el suelo al cual no se le aplico ningún tratamiento y la evolución que presenta el suelo en la Ce es del 5.56% desde el primer año al segundo año y del segundo año al tercer año presenta un incremento del 16.27% lo cual nos indica que también ha incrementado el pH de este suelo.

La CE que nos arroja este último periodo en los tres tratamientos, nos indica que el suelo no es salino, lo que resulta positivo en la selección de un cultivo sensible a la salinidad (Fernandéz Linares, Rojas Avelizapa, Roldán Carrillo, & Ramiréz Islas, 2006).

4.8.1. Descripción Estadística (Tabla 17)

4.8.1.1.Variable Dependiente: CE

La tabla 17 hace referencia a los valores detallados de la media de conductividad eléctrica obtenidos a las diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas y además se muestran los valores de error estándar.

Tabla 16 Descripción Estadística CE

Enmienda	Profundidad	Media	EE
B1	0 – 5	461.144	27.029
	10- 30	128.689	27.029
	5 – 10	239.796	27.029
B2	0 – 5	422.522	27.029
	10 - 30	94.539	27.029
	5 – 10	252.683	27.029
Control	0 – 5	433.036	19.112
	10 – 30	96.231	19.112
	5 – 10	250.447	19.112

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

4.8.1.2.Significancia

La tabla 18 hace referencia a los valores de significancia de las variables independientes enmienda, profundidad, enmienda*profundidad con respecto a la conductividad eléctrica. Las siglas SS y NS se interpretan como no hay significancia y si hay significancia al 5% respectivamente.

Tabla 17 Significancia CE

Variable Independiente	**Sig.**	
Enmienda	0.543	NS
Profundidad	0.000	SS
Enmienda * Profundidad	0.688	NS

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

En la *Tabla 18. Significancia (CE)* podemos observar lo que se explicó en el grafico 8. Conductividad Eléctrica Vs Enmienda * Profundidad, pero esta vez con respecto a sus valores de significancia, lo cual nos indica que la enmienda y la relación enmienda * profundidad arroja valores mayores al nivel de significancia (0,05) por tanto estas dos variables no muestran diferencias significativas, la variable profundidad si muestra significancia.

4.9.Materia orgánica (MO)

La Figura 12 hace referencia a los valores de materia orgánica del suelo obtenidos a diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas B1 (biochar manufacturado), B2 (biochar industrial) y el control (tratamiento sin modificar).

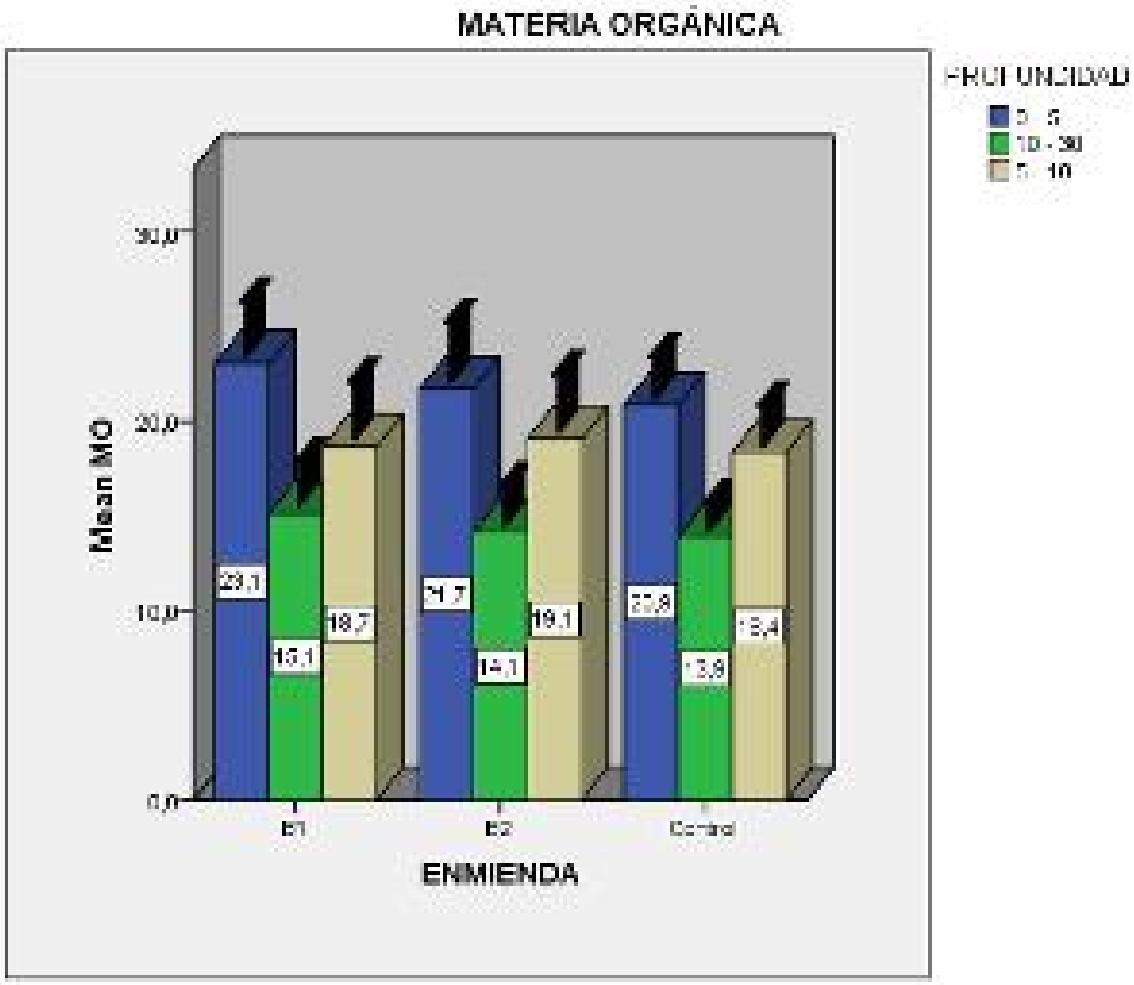


*Figura 12 Materia Orgánica Vs Enmienda * Profundidad.* *Fuente: Autores*

En la *Figura 12. Materia Orgánica Vs Enmienda * Profundidad* encontramos que el mayor porcentaje de MO se encuentra en la capa superficial del suelo a una profundidad de 0 a 5 cm mientras que de 10 a 30 cm de profundidad encontramos un porcentaje inferior (16%) de MO, esto se traduce a que en la profundidad el porcentaje de materia orgánica varia significativamente mientras que en la enmienda se mantiene constante y no muestra diferencias significativas.

La materia orgánica ha aumentado favorablemente en los últimos tres periodos evaluados en la aplicación del B1, en el primer año tenemos 19.33%, en el segundo año una MO del 22.79% y en el tercer año un incremento al 23.05% de MO, en el segundo periodo

aumentó un 15.18% y en el tercero solo un 1.12% lo cual nos indica que el rendimiento de la enmienda B1 está bajando.

Con la enmienda B2 nos dimos cuenta que del primer año al segundo año existe un aumento de la MO del 15.86% pero un declive de 8.67% del segundo año al tercer año, ya que los porcentajes arrojados en estos últimos tres periodos fueron de 19.99%, 23.76% y 21,70% de MO respectivamente.

El suelo sin tratamiento (C) al igual que el B2 presenta una reducción del 10.7% de la MO en el periodo segundo año – tercer año con los siguientes porcentajes de MO, 23.36% en el segundo año y el 20.85% en el tercer año.

Aunque se presentó un declive en el tratamiento B2 y el Control su portaje de MO según los criterios de evaluación de la misma nos indican que el contenido de MO en estos tres suelos es muy alto (Fernandéz Linares, Rojas Avelizapa, Roldán Carrillo, & Ramiréz Islas, 2006), lo cual favorece la vida microbiana del suelo y por tanto la fijación de nutrientes.

4.9.1. Descripción Estadística (Tabla 19)

4.9.1.1.Variable Dependiente: MO

La tabla 19 hace referencia a los valores detallados de la media de materia orgánica obtenidos a las diferentes profundidades en relación a las enmiendas aplicadas y además se muestran los valores de error estándar.

Tabla 18 Descripción Estadística MO

Enmienda	Profundidad	Media	EE
B1	0 – 5	23.056	1.433
	10- 30	15.111	1.433
	5 - 10	18.656	1.433
B2	0 – 5	21.700	1.433
	10 - 30	14.139	1.433
	5 - 10	19.067	1.433
Control	0 – 5	20.858	1.014
	10 – 30	13.897	1.014
	5 - 10	18.350	1.014

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

4.9.1.2.Significancia

La tabla 20 hace referencia a los valores de significancia de las variables independientes: enmienda, profundidad, enmienda*profundidad con respecto a la materia orgánica. Las

siglas SS y NS se interpretan como no hay significancia y si hay significancia al 5% respectivamente.

Tabla 19 Significancia MO

Variable Independiente	Sig.	
Enmienda	.466	NS
Profundidad	.000	SS
Enmienda * Profundidad	.952	NS

Fuente: Elaborado por: Mylena Moreira, Samantha Flores.

En esta última tabla (*Tabla 20. Significancia (MO)*) podemos observar que la enmienda no muestra variaciones significativas con un p valor de 4,66; la enmienda * profundidad tampoco muestra diferencias significativas con p valor de 0,952; y la profundidad nos indica que es la única variable con un p valor inferior al nivel de significancia lo que quiere decir que si presenta una variación significativa de la MO con respecto a esta variable dependiente.

4.10. Interpretación general de resultados

No existe diferencia significativa entre las enmiendas B1 y B2, ya que el análisis de suelo presento mínima variación en las concentraciones de los nutrientes como el Ca, Mg, P y K, por lo que en esta parte se va interpretar la fertilidad de un solo suelo en general independientemente de la enmienda aplicada.

La zona tropical en las que se encuentra el suelo y el clima subtropical lluvioso es un determinante en la condición del mismo, como conocemos en los trópicos existe alta precipitación y menor evapotranspiración, es decir, mayor entrada de agua y menor salida de agua del suelo, esto promueve la lixiviación que no es más que el lavado de nutrientes y la acumulación de metales, de Al y Fe, estos dos elementos después de lo mencionado, son los responsables de volver nuestro suelo altamente ácido. Como se ilustró en la primera parte de los resultados, sí existe la presencia de Al en el suelo. Debido a los procesos de hidrólisis que sufren estos elementos se da la producción de H+ y la disminución del pH en el suelo, eso explica porque nos encontramos con pH promedio de 4.64 lo que nos indica que nuestro suelo es altamente ácido y por lo cual tendremos valores altos de acidez intercambiable. Este pH que presenta el suelo genera la baja

biodisponibilidad de los nutrientes calcio, magnesio, fósforo y potasio; como es de conocimiento la baja concentración o el desbalance de Ca impide la entrada de nutrientes, minerales y bacterias al suelo, bloqueando así al magnesio; sí se pierde la biodisponibilidad de este nutriente se perdería la producción de carbohidratos que provienen del carbono, el hidrogeno, el oxígeno y el nitrógeno (CHON), que representan el 95% de la necesidad de la planta o cultivo (Ocampo, 2014).

Como se observó en los resultados las concentraciones de los nutrientes se encuentran bajo los rangos que determinan la buena calidad del suelo, por lo tanto, el suelo estudiado presenta déficit en su fertilidad.

4.11. Conclusiones

- Los nutrientes del suelo Ca, Mg, P, K presentan un aumento en su biodisponibilidad y mayor movilidad debido a la reducción de la concentración de Al y a su vez reducción de la acidez intercambiable del suelo.
- La aplicación de las enmiendas biochar manufacturado (B1) y el Biochar industrializado (B2) no presenta diferencias significativas; es decir, las dos aplicaciones mejoran la calidad del suelo a largo plazo.
- Con la aplicación del biochar se ha logrado incrementar el pH y aunque aún representan un suelo totalmente fértil, la evolución en tan solo tres años después de su implementación ha sido muy favorable ya que normalmente para subir el pH solo un nivel ha tomado más de cinco años en diferentes suelos.

4.12. Recomendaciones

- Continuar con la evaluación del biochar como mejorador de las condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo a largo plazo, ya que según Cheng y Lehman (2009), el biochar experimenta cambios químicos y estructurales durante su proceso de envejecimiento.
- En un próximo ensayo de aplicación de biochar los tratamientos se deben localizar un poco más distante, para un mejor análisis sobre todo el de control, ya que los resultados de los análisis arrojaron valores similares a los suelos que sí se les aplicó biochar, lo que se da por el lavado del biochar a este suelo de control; si no tuviéramos antecedentes de años anteriores no se alcanzara comprobar la evolución del suelo solo con el tratamiento de control.

- Otro análisis interesante seria la aplicación de biochar a diferentes concentraciones de este mineral, para conocer la evolución del suelo según las to/ha a largo plazo; se evidencia en otros ensayos que no existe diferencias en diferentes aplicaciones de concentración del biochar.

REFERENCIAS

Quiguiri Chugñay , M. R., & Robalino Zambrano, D. A. (2019). *VARIACIÓN DE CONDICIONES EDÁFICAS EN EL PROCESO DE RESTAURACIÓN CON ENMIENDAS DE BIOCARBÓN.* Puyo.

Arroyo-Kalin, M. (2017). Las tierras antrópicas amazónicas: algo más que un puñado de tierra. En S. Rostain , & J. Betancourt (Edits.), *Las Siete Maravillas de la Amazonía precolombina.* (págs. 99-117). La Paz: La Paz, 4-EIAA/BAS/Plural Publicaciones.

Benítez Jimenez , D. G., Torres Cárdenas , V., Vargas Burgos , J. C., Soria, R. S., Navarrete, H., & Ríos Nuñez, S. (2018). Ordenación de fincas ganaderas en la Amazonia ecuatoriana. Estudio de caso "Luis Ceballos". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 7-18.

Escalante Rebolledo, A., Pérez González, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Tierra Latinoamericana, 34*, 367-382.

Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado , J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J, J. D. (Septiembre de 2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana, 34*(3), 367-382.

Espinoza, L., Slaton, N., & Mozaffari, M. (2012). Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. *DIVISION OF AGRICULTURE: Research & Extension. University of Arkansas System*.

FAO. (2016). *Estudio Mundial del Recurso Suelo Resumen Tecnico.* Roma.

Federación, D. O. (31 de Diciembre de 2002). *Mexico Patente nº LEX-FAOC050674.*

Fernández Linares, L. C. (2006). *Manual de Técnicas de Análisis de Suelos Aplicado a la Remediación de Sitios contaminados.* Mexico.

Fernandéz Linares, L. C., Rojas Avelizapa, N. G., Roldán Carrillo, T. G., & Ramiréz Islas, M. E. (2006). *MANUAL DE TECNICAS DE ANALISIS DE SUELOS APLICADAS A LA REMEDIACION DE SITIOS CONTAMINADOS.* México, México.

Medina Orozco, L., & Medina Orozco, I. (2018). *Prototipo autotérmico móvil para producción de biocarbón con biomasa de esquilmos de aguacate.* Michoacán.

Ocampo, E. M. (2014). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BIOCHAR EN EL SUELO Y LA CALIDAD DE LOS FRUTOS EN UN CULTIVO DE UCHUVA (Physalis peruviana L.).* Bogotá.

Palacio, A. (2005). *Caracterizacion y Manejo de los Suelos de la Peninsula de Yucatán implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales.*

Quiguri Chugñay, M., & Robalino Zambrano, D. (2019). *Variación de condiciones edaficas en el proceso de restauración con enmienda de biocarbon.* Puyo.

Ramirez, J. A., & Rosales Alvarez, R. (2009). Análisis económico de la "bio-carbonización" como práctica de manejo agrícola. *Económica Agraria*, 1-32.

Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (Mayo de 2018). pH como factor de crecimiento en las plantas. *Revista de Iniciación Científica, 4*, 101-105.

Salinas, L. E. (30 de Junio de 2019). BIODIVERSIDAD VS. GANADERÍA: UN RETO URGENTE EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL SUR DEL ECUADOR. Ecuador.

Sanchéz, C. (2020). *Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro-Tungurahua 2018.* Quito.

Sentís, I. (2012). *Problemas De Degradación De Suelos En America Latina: Evaluación de Causas y Efectos.* Quito, Ecuador: X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.

Sombroek, W., Kem, D., Rodrigues, T., Cravo, M., Cunha, T., Woods, W., & Glaser, B. (2002). Terra preta and terra mulata: pre-columbian Amazon Kitchen middens ang agricultural fields, their sustainability and their replication. *Embrapa Amazonia Oriental-Artigo em anais de congreso (ALICE)*.

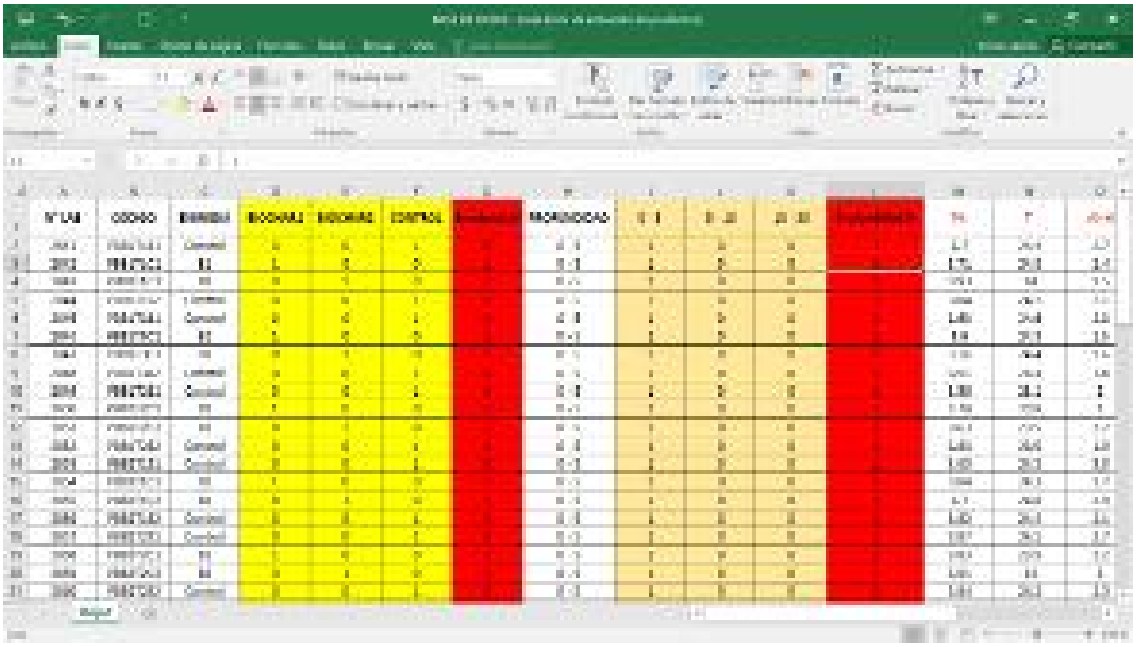
Stephen, J., & Johannes, L. (2009). Biochar for enviromental management: science and technology. *Earthscan*, 448.

Vargas, Y. (2018). *Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana, N° 2.*

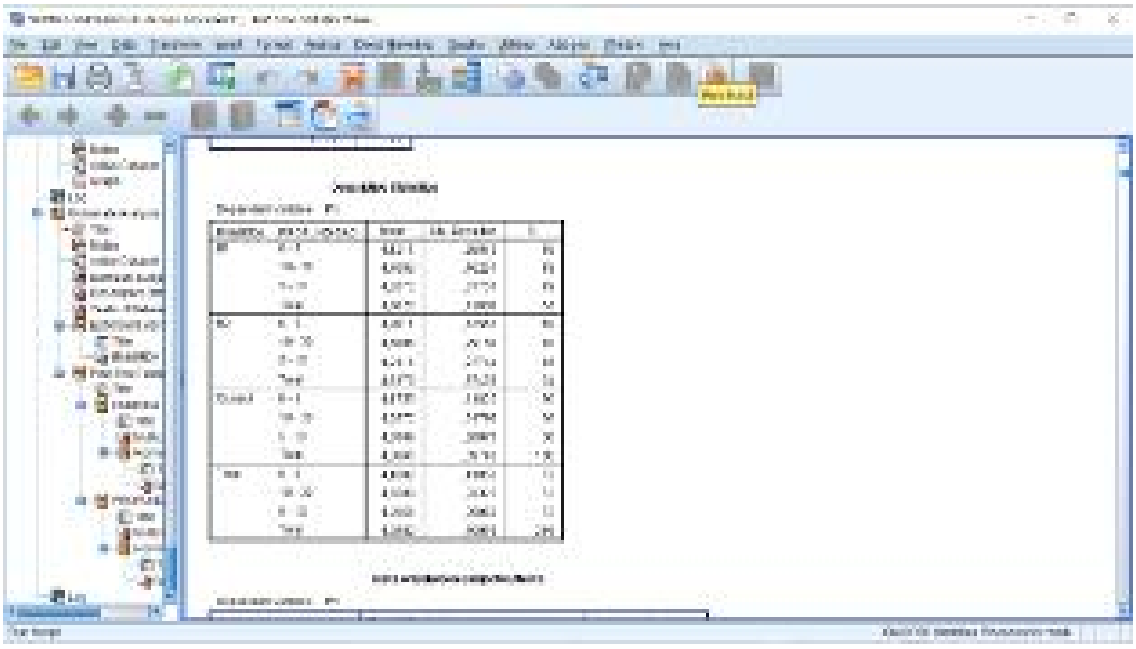
Venegas, C., & Venegas, G. (2010). *Dinámica de los suelos amazónicos: Procesos de degradación y alternativas para su recuperación.* Bogotá, Colombia.

Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., Van der Velde, M., & Diafas , I. (2010). Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. *European Commission*, 162.

ANEXOS



Anexo 1. Elaboración de la base de datos en el Sistema Operativo de Microsoft Excel.



Anexo 2. Análisis con el sistema de análisis factorial ANOVA.