

Universidad Estatal Amazónica

Decanato de postgrado

**Maestría en Silvicultura mención Manejo y Conservación de Recursos
Forestales**



**Proyecto de titulación con componentes de investigación y /o desarrollo
previo a la obtención del título de Magister en Silvicultura mención
Manejo y Conservación de Recursos Forestales**

Efecto de dos tipos de enmiendas de biocarbón sobre biomasa área y carbono almacenado
en el suelo de un bosque secundario en la Amazonía ecuatoriana

Autor:

Ing. Richard Javier Barroso Tagua

Director de trabajo de titulación:

Ing. Pedro Ríos Guayasamin, M.Sc., Ph.D. (c)

PUYO-ECUADOR

2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO
FORMATO DP-UT-013A

FORMATO DP-UT-013A: DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, BARROSO TAGUA RICHARD JAVIER, con cédula de identidad 1600627333, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo titulado **“Efecto de dos tipos de enmiendas de biocarbón sobre biomasa área y carbono almacenado en el suelo de un bosque secundario en la Amazonía ecuatoriana”**, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de titulación son de exclusiva responsabilidad de la autora; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.



Firmado electrónicamente por:
RICHARD JAVIER
BARROSO TAGUA

BARROSO TAGUA RICHARD JAVIER
NOMBRE DEL MAESTRANTE
CI. 1600627333

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO
FORMATO DP-UT-013B**

**FORMATO DP-UT-013B: CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE
EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN**

EL TRIBUNAL DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN

CERTIFICA QUE:

El presente trabajo “Efecto de dos tipos de enmiendas de biocarbón sobre biomasa área y carbono almacenado en el suelo de un bosque secundario en la Amazonía ecuatoriana”, bajo la responsabilidad del maestrante RICHARD JAVIER BARROSO TAGUA, ha sido meticulosamente revisado, autorizando su presentación:

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

**Dr. PARDO ENRIQUEZ DALTON MARCELO, PhD
PRESIDENTE DE TRIBUNAL EVALUADOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Dra. ARIAS GUTIERREZ RUTH IRENE, PhD
MIEMBRO 1**


**MSc. MANOBANDA PINTO PAUL MARCELO
MIEMBRO 2**

AVAL DE DIRECTOR



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO
FORMATO DP-UT-011

FORMATO DP-UT-011: AVAL DEL DIRECTOR DE TRABAJO TITULACIÓN

| | |
|---|--------------------------------------|
| MAESTRÍA EN SILVICULTURA MENCIÓN MANEJO Y CONSERVACION DE RECURSOS FORESTALES | |
| COHORTE: III | FECHA ELABORACIÓN: 08-07-2022 |
| INFORME FINAL Y AVAL | |
| <p>Quien suscribe, PEDRO DAMIAN RIOS GUAYASAMIN, portador de la cédula de identidad número: 1716132590, en calidad de Director del trabajo de titulación denominado: “Efecto de dos tipos de enmiendas de biocarbón sobre la biomasa área y carbono almacenado en el suelo de un bosque secundario en la Amazonía ecuatoriana”, opción (Proyecto de trabajo de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo), a cargo del maestrante RICHARD JAVIER BARROSO TAGUA, portador del número de cédula de identidad: 1600627333, certifico haber acompañado y revisado el documento entregado a mi persona, considero que cumple con los objetivos planteados, los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.</p> <p>Por lo antes expuesto se avala el trabajo de titulación para que sea presentado para la sustentación correspondiente.</p> | |
| ELABORADO POR: | |
|  Firmado electrónicamente por: PEDRO DAMIAN RIOS GUAYASAMIN | |
| Pedro Damián Ríos Guayasamín DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN | |

CERTIFICADO ANTI PLAGIO



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSGRADO
FORMATO DP-UT-013C

FORMATO DP-UT-013C: CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

Quien suscribe el presente MSc PEDRO DAMIAN RIOS GUAYASAMIN con CI: 1716132590, certifica que el Proyecto final de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo titulado: “Efecto de dos tipos de enmiendas de biocarbón sobre la biomasa área y carbono almacenado en el suelo de un bosque secundario en la Amazonía ecuatoriana” ha sido examinado a través del sistema Antiplagio Urkund y presenta un porcentaje de similitud del 0 %.

En Toronto, Canadá, a los 08 días del mes de julio del 2022.



firmado electrónicamente por:
PEDRO DAMIAN
RIOS
GUAYASAMIN

MSc. Pedro Damián Ríos Guayasamín
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Incluir la primera hoja del reporte de similitud de la herramienta antiplagio.

Document Information

| | |
|-------------------|------------------------------------|
| Analyzed document | URKUN 08.07.2022.docx (D141880093) |
| Submitted | 7/8/2022 9:40:00 PM |
| Submitted by | |
| Submitter email | rj.barrosot@uea.edu.ec |
| Similarity | 0% |
| Analysis address | prios.uea@analysis.orkund.com |

Sources included in the report

Entire Document

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Biomasa aérea de un bosque secundario enmendado con biocarbón manufacturado elaborado en caldera (B1), biocarbón artesanal elaborado por comerciantes (B2), y plots sin enmienda (C). La Biomasa Aérea expresada en megagramos por hectárea en la Parcela Alta (PA), no presenta diferencias significativas ($\chi^2(2, N=30) = 1,117, p < 0,572$) [tabla 5] entre los tratamientos en estudio: B1 ($\bar{X} 10,12 \pm 9,70$), B2 ($\bar{X} 11,41 \pm 7,96$), C ($\bar{X} 7,99 \pm 4,58$) [Anexo 9]. En la Parcela baja existe la misma tendencia ($\chi^2(2, N=36) = 0,882, p < 0,643$) [tabla 6], para los tratamientos estudiados B1 ($\bar{X} 9,75 \pm 5,08$), B2 ($\bar{X} 8,18 \pm 6,25$), C ($\bar{X} 8,18 \pm 4,11$), lo cual se observa en la figura 4 y Anexo 9. Los bosques tropicales poseen una cantidad de biomasa que se estima hasta los 350 Mg. ha⁻¹, (Keeling & Phillips, 2007), para los bosques andino-amazónicos, ubicados en la provincia de Napo, Ecuador, en una zona montañosa dominada por lomas altas y medias afiladas y cerros redondeados compuestos por rocas volcánicas y sedimentarias de origen reciente, (Torres et al., 2020), reporta valores de Biomasa aérea en un rango comprendido entre 200 a 300 Mg ha⁻¹, en relación 1378 especies de árboles distribuidas en 5 parcelas de 1000 m². En este estudio los valores presentados se encuentran en un promedio de 9,84 Mg. ha⁻¹ para la Parcela Alta y 8,70 Mg. ha⁻¹, determinando que las enmiendas de biocarbón no tuvo incidencia en la producción de biomasa aérea, con 311 especies de árboles analizadas, distribuidas en dos parcelas de 25m x 25m (PA-PB). En virtud de aquello, en el sur de la Amazonía ecuatoriana, (Gonzalez Sarango et al., 2021) determina que la enmienda de biocarbón no tuvo un efecto significativo en las tres medidas de crecimiento de los árboles durante los 4 años de aplicación del biochar.

4.2. Análisis del almacenamiento de carbono del suelo de un bosque secundario enmendado con biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes. Los datos de Carbono Orgánico Total (COT) expresada en megagramos por hectárea en la Parcela Alta (PA), evidencia valores más altos en el Control (C) en relación al Biocarbón 1 y Biocarbón 2, sin embargo, no tienen una variación significativa ($\chi^2(2, N=36) = 3,632, p < 0,163$) [tabla 7 y figura 5] entre los tratamientos establecidos B1 ($\bar{X} 24,78 \pm 4,75$), B2 ($\bar{X} 26,70 \pm 3,94$), C ($\bar{X} 28,93 \pm 5,16$) [Anexo 10].

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, autor principal de este proyecto, dador de sabiduría e inteligencia, en momentos de angustia me otorgó paz a mi corazón y buenos pensamientos para tomar las mejores decisiones, gracias a su voluntad estoy terminando una nueva etapa profesional.

Agradezco a mi esposa, mi compañera de vida Adriana, que estuvo a mi lado durante todo este proceso de titulación de maestría, por ese gran apoyo anímico que me brindó en cada momento.

Agradezco a mis padres terrenales Anita, Héctor y hermana Gabriela, que estuvieron pendientes en todo el proceso de titulación y sobre todo exhortándome para avanzar de manera satisfactoria en esta travesía.

Agradezco a mis hermanos en Cristo y amigos por su apoyo y oraciones para culminar con éxito este título de maestría.

Agradezco al Profesor Pedro Ríos, mi tutor del presente trabajo investigativo que me compartió sus conocimientos y la guía necesaria para realizar el estudio.

RICHARD JAVIER BARROSO TAGUA

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado especialmente a Dios por su infinita misericordia que me permite estar culminando este gran paso en mi carrera profesional, por ser mi Pastor que incondicionalmente está para socorrerme en todo momento, por ser fuente de vida, inteligencia y sabiduría.

A mi esposa Adriana, que estuvo junto a mi durante todo este proceso de titulación, acompañándome en las salidas de campo, en la tabulación de datos y en la redacción final del documento. Un apoyo incondicional, que lo llevo presente en mi corazón y admiraré por siempre.

A mis padres y hermana que estuvieron pendientes de todo el proceso de la maestría, brindándome sus ánimos.

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVE

El “biocarbón”, destinado a ser utilizado como enmienda del suelo, ha recibido gran atención en los últimos años como un medio para mejorar el secuestro de carbono y las propiedades del suelo en los sistemas agrícolas que sugieren propiedades para su aplicabilidad en un contexto de restauración forestal. Con el objeto de evaluar el efecto del biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes, sobre la biomasa aérea y carbono almacenado en el estrato suelo de un bosque secundario en la Amazonía ecuatoriana, en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA), se realizó un muestreo en bosque secundario, mediante un diseño experimental de cuadrado latino para plantaciones silvícolas (25m x 25m), con un modelo bifactorial de parcelas subdivididas que han sido enmendadas con biocarbón (B1), (B2) y un control (C), dentro de cada plantación con sus respectivos controles (10m x 10m). Los resultados evidenciaron que no existieron variaciones en la biomasa aérea en las Parcelas Alta y Baja, con 9,84 Mg. ha⁻¹ y 8,70 Mg. ha. ⁻¹ respectivamente, en función de la aplicación de las enmiendas con biocarbón manufacturado elaborado en caldera (B1), biocarbón artesanal elaborado por comerciantes (B2), y plots sin enmienda (C). De igual manera que la productividad de Carbono Orgánico Total en la Parcela Alta fue de 26, 80 Mg. ha⁻¹ y en la Parcela Baja de 25, 44 Mg. ha⁻¹, afirmando una vez más, que no tuvo efecto las enmiendas de biocarbón sobre las unidades experimentales de esta investigación.

Palabras Clave: Biochar, Carbono orgánico total, biomasa aérea, bosque secundario.

ABSTRACT AND KEYWORDS

Biochar", intended for use as a soil amendment, has received much attention in recent years as a means to improve carbon sequestration and soil properties in agricultural systems suggesting properties for its applicability in a forest restoration context. In order to evaluate the effect of manufactured biochar (B1) made in a boiler and artisanal biochar (B2) made by merchants, on the biomass and carbon stored in the soil stratum of a secondary forest in the Ecuadorian Amazon at the Experimental Research Center and Amazon Production (CEIPA), a sampled was carried out in secondary forest, through a Latin square experimental design for forestry plantations (25m x 25m), with a bifactorial model of subdivided plots that have been amended with biochar (B1), (B2) and a control (C), within each plantation with their respective controls (10m x 10m). The results showed that there were no variations in aerial biomass in the high and low plots, with 9.84 Mg.ha⁻¹ and 8.70 Mg.ha⁻¹ respectively, depending on the application of the amendments with manufactured biochar made in boiler (B1), artisanal biochar made by traders (B2), and plots without amendment (C). Likewise, the productivity of Total Organic Carbon in the high plot was 26, 80 Mg.ha⁻¹ and in the low plot 25, 44 Mg.ha⁻¹, affirming once again, that the biochar amendments had no effect on the experimental units of this research.

Keywords: Biochar, total organic carbon, aerial biomass, secondary forest.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| CAPITULO I: INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Problema científico..... | 2 |
| 1.2. Hipotesis de investigación..... | 2 |
| 1.3. Objetivos..... | 2 |
| 1.3.1. <i>Objetivo general</i> | 2 |
| 1.3.2. <i>Objetivo específico</i> | 2 |
| CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1. Bosque secundario | 3 |
| 2.2. Carbono del suelo | 3 |
| 2.3. Biomasa aérea | 4 |
| 2.4.. <i>Métodos para determinar la biomasa</i> | 4 |
| 2.4.1. <i>Método directo o destructivo</i> | 4 |
| 2.4.2. <i>Método indirecto</i> | 5 |
| 2.5. Modelos alométricos para la estimación de la biomasa..... | 5 |
| 2.6. Estimaciones de biomasa en bosques tropicales..... | 5 |
| 2.7. El suelo | 6 |
| 2.7.1. <i>Suelo aluvial</i> | 6 |
| 2.7.2. <i>Suelo coluvial</i> | 6 |
| 2.8. Parámetros químico del suelo | 7 |
| 2.8.1. <i>Potencial de hidrógeno (p)</i> | 7 |
| 2.8.2. <i>Materia orgánica (MO)</i> | 7 |
| 2.8.3. <i>Nitrógeno (N)</i> | 8 |
| 2.8.4. <i>Fósforo (P)</i> | 8 |
| 2.8.5. <i>Potasio (K)</i> | 8 |
| 2.9. Biocarbón..... | 8 |
| 2.10. Propiedades del biocarbón | 9 |
| CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS..... | 11 |
| 3.1. Localización..... | 10 |
| 3.2. Tipo de investigación..... | 11 |
| 3.3. Métodos de investigación | 11 |

| | | |
|--|---|----|
| 3.4. | Análisis químicos del suelo | 14 |
| 3.4.1. | <i>Preparación de muestras de suelo</i> | 14 |
| 3.5. | Cálculo de carbono orgánico del suelo | 16 |
| 3.6. | Cálculo de la biomasa aérea..... | 17 |
| 3.6.1. | <i>Diámetro a la altura del pecho (DAP)</i> | 17 |
| 3.6.2. | <i>Ecuación Alométrica</i> | 17 |
| 3.7. | Análisis estadístico | 18 |
| 3.8. | Recursos Humanos y Materiales..... | 20 |
| 3.8.1. | Recursos humanos..... | 20 |
| 3.8.2. | Materiales..... | 20 |
| CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | | 21 |
| 4.1. | Biomasa área de un bosque secundario enmendado con biocarbón manufacturado elaborado en caldera (B1), biocarbón artesanal elaborado por comerciantes (B2), y plots sin enmienda (C). | 21 |
| 4.2. | Análisis del almacenamiento de carbono del suelo de un bosque secundario enmendado con biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes..... | 22 |
| 4.3. | Efecto del biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes sobre las propiedades químicas del suelo. | 24 |
| 4.4. | Análisis de correlación entre la Biomasa Aérea, propiedades químicas del suelo y el Carbono Orgánico Total del suelo, enmendado con biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes. | 26 |
| CONCLUSIONES..... | | 29 |
| RECOMENDACIÓN..... | | 29 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 30 |
| ANEXOS | | 37 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Propiedades del biocarbón utilizado..... | 11 |
| Tabla 2. Número de especies y gradiente altitudinal..... | 17 |
| Tabla 3. Densidad de madera específica. | 18 |
| Tabla 4. Pruebas de normalidad | 19 |
| Tabla 5. Prueba de Kruskal-Wallis para Biomasa aérea, considerando los tratamientos en el Suelo coluvial (B1, B2, C) de la Parcela Alta. | 21 |
| Tabla 6. Prueba de Kruskal-Wallis para Biomasa aérea, considerando los tratamientos en el Suelo Aluvial (B1, B2, C) de la Parcela Baja..... | 21 |
| Tabla 7. Prueba de Kruskal-Wallis para Carbono Orgánico Total, considerando los tratamientos en el Suelo Coluvial (B1, B2, C) de la Parcela Alta..... | 23 |
| Tabla 8. Prueba de Kruskal-Wallis para Carbono Orgánico Total, considerando los tratamientos en el Suelo Aluvial (B1, B2, C) de la Parcela Baja | 23 |
| Tabla 9. Prueba de Kruskal-Wallis para Parámetros químicos del suelo, considerando los tratamientos en el Suelo Coluvial (B1, B2, C) de la Parcela Alta..... | 24 |
| Tabla 10. Prueba de Kruskal-Wallis para Parámetros químicos del suelo, considerando los tratamientos en el Suelo Aluvial (B1, B2, C) de la Parcela Baja | 25 |
| Tabla 11. Correlaciones de Spearman entre Biomasa aérea y Carbono Orgánico Total del suelo..... | 26 |
| Tabla 12. Correlación de Spearman de parámetros químicos del suelo..... | 27 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación del área de estudio | 10 |
| Figura 2. Unidad experimental ubicada en la Parcela Baja (PB) | 12 |
| Figura 3. Unidad experimental ubicada en la Parcela Alta (PA)..... | 13 |
| Figura 4. Biomasa aérea expresa en Mg. ha ⁻¹ , en referencia las Parcelas Altas y Bajas..... | 22 |
| Figura 5. Carbono Orgánico Total expresa en Mg. ha ⁻¹ , en referencia las Parcelas Altas y Bajas | 24 |
| Figura 6. Materia Orgánica en las Parcelas Baja y Alta..... | 25 |
| Figura 7. Carbono Orgánica Total en las parcelas Baja y Alta | 25 |

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La conversión de bosques naturales en campos agrícolas en los trópicos húmedos conduce a una reducción de almacenamiento de carbono en el ecosistema debido a la eliminación inmediata de la biomasa aérea y una reducción gradual subsiguiente del carbono orgánico del suelo (Van Noordwijk et al., 1997). A medida que los bosques primarios tropicales desaparecen arrasados por las actividades antrópicas, los bosques secundarios los remplazan en muchas de sus funciones ambientales y económicas (Del Valle et al., 2011).

En la última década, los efectos de la incorporación de material pirolizado sobre las propiedades del suelo han sido objeto de numerosas investigaciones, entre otras cosas, con mejoras en la calidad y fertilidad de los suelos e incrementos en el almacenamiento de Carbono y de la productividad de los cultivos y bosques (Dominchin et al., 2019).

Una alternativa para establecer un proceso de restauración forestal es la adición de biocarbón o biochar; estudios recientes sobre las respuestas al biocarbón en plantas leñosas, indican un potencial aumento del 41 % de biomasa, especialmente en los trópicos (Thomas & Gale, 2015b), a su vez, el Biocarbón ha sido identificado como una estrategia prometedora para: el secuestro de carbono (C), producir energía, aumentar la productividad del suelo y mejorar la calidad del suelo y del medio ambiente (Wang et al., 2020). El biocarbón de grado comercial y de laboratorio puede mejorar la salud del suelo y el crecimiento de las plantas y puede usarse como enmienda del suelo para mejorar la producción de bosques, paisajes forestales talados o en proceso de recuperación (Brockamp & Weyers, 2021). La integración de los componentes biológicos, químicos y físicos en el suelo es la base para medir la salud del suelo y las investigaciones han demostrado que el biocarbón puede mejorar los siguientes aspectos: biota del suelo; disponibilidad de nutrientes, intercambio catiónico y pH; así como densidad aparente, incremento de agregados y mejora en la retención de agua. Actuando juntos, estos componentes definen los mecanismos subyacentes que sustentan la fertilidad del suelo y sustentan la producción y la cosecha de productos agrícolas (Brockamp & Weyers, 2021).

Por tal motivo, el presente trabajo propone evaluar el efecto del biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes sobre la biomasa aérea y carbono almacenado en el suelo de un bosque secundario en la Amazonía ecuatoriana.

1.1. Problema científico

¿Cómo inciden el Biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y Biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes sobre la biomasa aérea y carbono almacenado en el suelo de un bosque secundario en la Amazonía ecuatoriana?

1.2. Hipótesis de la investigación

El biocarbón altera la composición química y física del suelo, al mismo tiempo, dada la forma de aplicación, el biochar incrementa el stock de carbono en el suelo, favoreciendo la producción de biomasa forestal en un bosque secundario de la Amazonia ecuatoriana.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes sobre la biomasa aérea y carbono almacenado en el estrato suelo de un bosque secundario en la Amazonía ecuatoriana.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la biomasa aérea de un bosque secundario enmendado con biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes.
- Estipular el almacenamiento de carbono del suelo de un bosque secundario enmendado con biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes.

CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Bosque secundario

Según Finegan & Gordon (1993) los bosques secundarios se originan a través de procesos de regeneración natural y constituyen la vegetación leñosa en tierras donde el bosque original ha sido destruido y las tierras se abandonan, o se dejan en descanso, después de un periodo de uso agrícola o ganadero. De igual manera se definen como el crecimiento forestal que se produce naturalmente después de un disturbio, perturbación al ecosistema o modificación drástica del bosque, causada por catástrofes naturales o por intervención humana (Brown & Lugo, 1990). Hoy en día, los bosques secundarios constituyen un componente importante y creciente del uso de la tierra y proporcionan diversos beneficios ambientales, económicos y sociales, debido a que suministran bienes como madera, fibras y otros productos forestales madereros y no madereros y desempeñan una función importante en el mantenimiento de los valores sociales y culturales. Asimismo, protegen las cuencas hidrográficas, regulan el clima y conservan la diversidad biológica. En cambio, la pérdida de bosques conlleva a una reducción de bienes y servicios ambientales, tales como regulación de temperatura, producción de alimentos y materias primas, captura de dióxido de carbono (CO₂), conservación de biodiversidad, uso como hábitat, producción y regulación del agua en las cabeceras de cuenca y la relación cultural que muchas sociedades han establecido con los bosques alrededor del mundo (Gómez-Lora et al., 2021).

Los bosques secundarios son una gran oportunidad para iniciativas como el Desafío de Bonn, que representan la restauración en la acción o incluso mejor, la restauración productiva y también son también importantes contribuyentes al secuestro de carbono (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2016).

2.2. Carbono del suelo

El suelo se ha convertido en uno de los recursos más vulnerables del mundo frente al cambio climático, la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad. El suelo es una importante reserva de carbono, conteniendo más carbono que la atmósfera y la vegetación terrestre en conjunto. El carbono orgánico del suelo (COS) es dinámico, no obstante, los impactos antropogénicos sobre el suelo pueden convertirlo en un sumidero o fuente neta de gases de efecto invernadero (GEI). Una vez el carbono entra en el suelo en forma de material orgánico gracias a la fauna y flora del suelo, puede persistir en el suelo durante décadas, siglos o incluso milenios (Lefèvre et al., 2017).

El carbono orgánico en el suelo es un importante componente en los ciclos biogeoquímicos, el carbono en la biosfera abarca un 69,8%, el suelo puede efectuar el papel de reservorio para este elemento. El carbono orgánico se puede encontrar en el suelo en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, o en forma de humus (Martínez et al., 2008). En tal sentido, para restaurar o preservar la biodiversidad y el carbono orgánico de los suelos se necesita aumentar los insumos de materia orgánica o reducir las pérdidas de carbono, o ambas a la vez. Es particularmente importante mantener el carbono orgánico del suelo (COS), y siempre que sea posible, aumentarlo (Laban et al., 2018).

2.3. Biomasa aérea

Los bosques tropicales tienen una alta producción de biomasa y representan una fracción significativa de las existencias totales de carbono y nutrientes. La biomasa aérea representa más de 40% del carbono total almacenado en los bosques a nivel mundial (Hernández-Moreno et al., 2020). Estimar las reservas de biomasa de los bosques es una herramienta útil para valorar la cantidad de carbono que se almacena en las estructuras vivas en un momento dado, razón contundente para realizar estimaciones de biomasa en bosques tropicales (Cabrera Quezada et al., 2020). De igual manera, permite aumentar las reservas de carbono, así como mantener los servicios ecosistémicos y la biodiversidad (García Quintana et al., 2021).

La acumulación de biomasa aérea refleja la productividad en un sitio determinado, para evaluar la sustentabilidad por efecto del sistema silvícola, y para entender la dinámica y funcionamiento de los ecosistemas forestales (Hernández-Moreno et al., 2020).

En la actualidad los estudios de acumulación de biomasa en la Amazonía ecuatoriana son muy importantes para comprender el ciclo del carbono y su papel en los cambios climáticos, hay un limitado conocimiento de las familias botánicas y especies arbóreas que más contribuyen a las reservas de carbono. Como se ha dicho, tener disponible este conocimiento incide en el éxito de los programas de restauración al aportar información valiosa sobre la captura de carbono como herramienta para mitigar el empobrecimiento de los bosques amazónicos de la región (García Quintana et al., 2021).

2.4. Métodos para determinar la biomasa

2.4.1. Método directo o destructivo

El método destructivo consiste en medir los parámetros básicos de un árbol entre los más importantes el diámetro a la altura del pecho DAP, altura total HT, diámetro de copa y longitud de copa; derribarlo y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes

tales como el fuste, ramas y follaje (González, 2008). Adicionalmente, el método permite formular relaciones funcionales entre la biomasa y las variables del rodal de fácil medición como el diámetro a la altura del pecho, altura comercial, altura total entre otras, proporcionando un valor exacto de la biomasa (López, 2006).

2.4.2. Método Indirecto

Este método es utilizado cuando existen árboles de grandes dimensiones y en casos en los que se requiere conocer el carbono de un bosque sin necesidad de derribar los árboles. En este método se ubica y estima el volumen de las trozas con fórmulas dendrométricas, el volumen total del fuste o de las ramas gruesas se obtiene con la suma de estos volúmenes parciales (López, 2006). Se toman muestras de madera del componente del árbol y se pesan en el campo, luego se calcula en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad específica verde y la gravedad específica seca o densidad básica en gramos por centímetro cúbico (González, 2008).

2.5. Modelos alométricos para la estimación de la biomasa

La alometría es una de las metodologías más usadas para la estimación de la biomasa arbórea, más aún cuando se trata de estimar carbono en rodales forestales y permite hacer estimaciones indirectas de la biomasa (Jauregui, 2016).

Estos modelos tienen mucha aplicación en el campo forestal, porque presentan mucha flexibilidad en su uso; las variables más usadas son: el diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro a la altura del tocón (DAT), altura comercial (HC), altura total (HT) y combinaciones de ellas (Fernández, 2015).

2.6. Estimaciones de biomasa en bosques tropicales

El cambio climático es un tema del que se habla con mucha frecuencia en la actualidad. Una gran cantidad de instituciones científicas, universidades, gobiernos y otras entidades se preocupan por este fenómeno debido a que el cambio que se está experimentando afecta no solo las dinámicas propias de los ecosistemas sino también las dinámicas de las poblaciones humanas (Chou & Gutiérrez-Espeleta, 2013).

La biomasa aérea (AGB) de un bosque está directamente influenciado por la complejidad de la estructura del bosque en dimensiones tanto horizontales como verticales. Esta complejidad está relacionada con la intensidad de la perturbación, la historia y las variaciones espaciales influenciadas por condiciones edáficas del bosque (Saatchi et al., 2011a).

El aumento de la biomasa en parcelas amazónicas equivale a una captación neta de $0,62 + 0,37 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Carbono (Phillips et al., 1998). La región occidental de la cuenca del

Amazonas que cubre una gran área de las tierras bajas de Perú, Ecuador, Colombia y Bolivia tiene una biomasa que varía de 200 a 300 Mg.ha⁻¹. Esta región se extiende hasta el submontano y bosques de transición cerca de las montañas andinas y está cubierta por bosques con dosel abierto, una baja densidad de árboles grandes, mezclados con semicaducifolios, árboles de hoja caduca, bambú y liana (Saatchi et al., 2007).

El conocimiento de la estructura forestal y su biomasa puede proporcionar información sobre la magnitud del carbono almacenado en los bosques, y se puede utilizar para cuantificar el flujo de carbono causado por la deforestación o la perturbación natural y para modelar el intercambio de energía y materia entre la atmósfera y los bosques (Saatchi et al., 2011b).

2.7. El suelo

El origen y evolución del suelo se identifica como las modificaciones o cambios que han ocurrido durante su proceso progresivo de desarrollo, es una capa superficial de la corteza terrestre, resulta de la descomposición de rocas gracias a la acción del agua y el viento además de la acción de los seres vivos sobre él. Dicho proceso hace que las rocas se meteoricen o fragmenten en pedazos pequeños, luego del proceso de meteorización estos subproductos se combinan con arcilla, agua, aire y elementos orgánicos de plantas o animales (humus) hasta llegar a un estado estable (Sánchez y Rubiano. 2015).

2.7.1. Suelo aluvial

Los Suelos Aluviales son suelos cuyos materiales han sido transportados o depositados en las planicies costeras y valles interiores, poseen textura variable. Son suelos recientes y carecen de modificaciones por agentes externos como el agua o el clima. Su ubicación está en áreas de ligera inclinación o valles interiores en los que el nivel freático se localiza cerca de la superficie y hay poco drenaje; pueden estar constituidos por fragmentos de rocas frescas y materiales meteorizados que se transforman en arcillas u óxidos (Besoain, 1985). En el caso de este tipo de suelos el factor que influye en ellos es el agua que los van transportando a grandes distancias y se van depositando en determinado sitio por degradación de tamaños que van desde arcillas hasta gravas gruesas y bloques, es decir, estos suelos están relacionados a granulometría y por ende incidencia en la permeabilidad (González, 2004).

2.7.2. Suelo coluvial

Estos suelos son materiales transportados por gravedad por acción principalmente del agua, el hielo (o deshielo), la gravedad y el viento, es el resultado de la alteración in situ de las rocas que se transportan luego a manera de derrumbes de laderas o depósitos de solifluxión,

por ello su asociación a masas inestables, su composición está en dependencia del tipo de roca de la cual procede, generalmente son de tamaño grueso, englobados en una matriz de limo y arcillosa (lodosa), son poco resistentes en contacto con el sustrato rocoso y en su desarrollo a altas presiones por lluvias intensas (Gonzales, 2004)

2.8. Parámetros químicos del suelo

La calidad del suelo, el agua y el aire son los componentes de la calidad ambiental, pero si nos enfocamos claramente en los recursos del suelo, la calidad es más compleja de definir debido a su variedad de componentes, y la enorme cantidad de interrelaciones entre ellos. Las propiedades químicas se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas, entre ellas, cabe resaltar: pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y P, N y, K aprovechables (Calderón-Medina et al., 2018). De igual manera existe basicidad en el suelo cuando hay escasez de agua y los coloides presentan un mayor o alto grado de saturación de las bases, teniendo grandes sucesos a las aportaciones orgánicas de los suelos, con, la disminución de la actividad microbiana debido a la nula humedad y aportación vegetal (Navarro & Navarro, 2013).

2.8.1. *Potencial de Hidrógeno (pH)*

Es una de las propiedades físico-químicas más importante en los suelos, de él depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, determinando su solubilidad y la actividad de los microorganismos. El factor químico pH, corresponde a un indicador que mide la acidez o alcalinidad de un suelo, los cuales permiten estudiar la situación presente, disponibilidad de nutrientes, identificando los puntos críticos de un tipo de suelo como sistema productivo y recurso natural importante para la biodiversidad de las especies (Romero et al., 2009).

La reacción del pH ayuda a la mayor o menor asimilación de los elementos químicos que a su vez son esenciales para la planta, y los microorganismos actúan mejor en suelos con valores de pH intermedio, dado que la actividad microbiana se reduce cuando el pH es menor a 5,5 (Navarro & Navarro, 2013).

2.8.2. *Materia Orgánica (MO)*

Es un indicador de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Evalúa las proporciones, estructura y la distribución en el perfil suelo. La cantidad de materia orgánica en el suelo actúa en casi todas las propiedades referentes a la calidad del suelo (Lozano et al., 2011)

Actualmente a la materia orgánica se le considera el indicador por excelencia para medir la sostenibilidad de los agroecosistemas y su importancia reside en su contribución al desarrollo de las plantas y su influencia en las propiedades del suelo (Soto-Mora et al., 2016).

2.8.3. Nitrógeno (N)

El elemento químico Nitrógeno es el nutriente más limitante para el desarrollo de los cultivos, se encuentra en forma natural en la atmósfera como un gas a un 79% en su forma elemental N₂, por lo que para su obtención las plantas actúan en simbiosis con algunas bacterias, para que sea más fácil su obtención y cumplan con su desarrollo productivo (Celaya-Michel & Castellanos-Villegas, 2011).

Recientemente el N ha tomado importancia por su incidencia en los problemas de impacto ambiental, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados provoca desnitrificación que contribuye a las emisiones terrestres de N₂O, así como lixiviación que contamina acuíferos (Cristóbal-Acevedo et al., 2011).

2.8.4. Fósforo (P)

El fósforo (P) es un nutriente esencial y factor limitante del crecimiento de las plantas en suelos con contenido bajo de este elemento y que pueden ser fertilizados con abonos fosfatados o estiércol animal. La cantidad total de P en la capa arable del suelo puede oscilar entre 200 y 5 000 mg kg⁻¹, pero sólo menos de 1 % está disponible para la planta (Afif et al., 2013).

2.8.5. Potasio (K)

El potasio es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, siendo superado sólo por el N (Nitrógeno) y, a veces por el Ca (Calcio). Es el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta, en general, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable. Es así, que el potasio es absorbido por las plantas en cantidades sólo superadas por nitrógeno, incluso superando la concentración de nitrógeno en las hojas de algunas especies. Aunque la cantidad total de potasio presente en la mayoría de los suelos es bastante grande, es probablemente el nutriente que es el tercero o cuarto (después de N, P y probablemente S) para limitar la productividad de la planta (Weil & Brady, 2017).

Desde un punto de vista general, la calidad de los suelos de la Amazonía ecuatoriana tiene alto contenido de MO de baja calidad, baja fertilidad y pH ácido que limita la disponibilidad de nutrientes, como el fósforo y la lixiviación de bases cambiables (potasio, calcio y magnesio) (Huera-Lucero, 2020).

2.9. Biocarbón

El origen de este método tiene lugar en culturas amazónicas de Brasil donde se han evidenciado suelos con bio-carbón o ‘terra preta do índio’, con horizontes orgánicos que

poseen abundantes restos de pirolisis inclusive a 2 metros de profundidad a diferencia de suelos naturales, cuya capa orgánica no pasa de 20 centímetros, dichas tierras tienen hasta 70 veces más carbón que las tierras en estado natural característica que les permite resistir más años en el ambiente sin sufrir alteraciones significativas (Vélez & Verona, 2018).

La gran resistencia que tienen las tierras pretas, su materia orgánica y ambiental proporcionan un vínculo entre la geosfera, biosfera, hidrosfera y la atmósfera (por la interacción del carbono orgánico con ella); entonces, es clave para la sostenibilidad del ecosistema. El carbono almacenado en el suelo es casi cuatro veces mayor, lo que aumenta la fertilidad del suelo especialmente en condiciones tropicales (Novotny et al., 2009).

El “biocarbón”, o carbón vegetal destinado a ser utilizado como enmienda del suelo, ha recibido gran atención en los últimos años como un medio para mejorar el secuestro de carbono y las propiedades del suelo en los sistemas agrícolas. El biocarbón de desecho de madera tienen un conjunto inusual de propiedades que sugieren su aplicabilidad en un contexto de restauración forestal, que promueve efectos duraderos, retención de cationes, aniones y agua en el suelo, propiedades absorbentes que pueden reducir la biodisponibilidad de una amplia gama de materiales tóxicos y relativa facilidad de producción a partir de materias primas disponibles localmente (Thomas & Gale, 2015).

2.10. Propiedades del biocarbón

El biocarbón (biochar) es un subproducto de la pirolisis de biomasa residual, se dice que este material puede retener temporalmente el nitrógeno y liberarlo lentamente en los productos inorgánicos incrementando su eficiencia y aumentando la productividad en los diversos tipos de cultivos (Escalante et al., 2016).

El biocarbón se obtiene de la pirolisis lenta : madera, estiércol o residuos de cultivos con escasa o limitada disponibilidad de oxígeno a temperaturas menores a 700 °C (Escalante et al., 2016). La composición del biocarbón es heterogénea, pero conserva sus propiedades como pH neutro, aromaticidad, y su elevada concentración de carbono, y de ahí el efecto positivo en la optimización de la actividad agrícola alcalinizando suelos ácidos, mejorando la capacidad de infiltración, es una alternativa para la retención de agua en los suelos y disminución del uso de fertilizantes convencionales, dando una alta calidad de los cultivos por la mayor disposición de nutrientes. El aumento de temperatura en el suelo también es un punto a favor del biocarbón, provocando que la superficie oscura de los suelos suministrados con este elemento reduzca el albedo y absorban más radiación, este hecho ayuda a la germinación de plántulas y la actividad microbiana (Vélez & Verona, 2018).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

Las parcelas permanentes experimentales del proyecto Restauración Forestal e Identificación de Indicadores Biológicos Conexos a la Amazonía Ecuatoriana (ReFIIBic), parte del programa Ecosistemas, Biodiversidad y Conservación de Especies, Invertebrados y sus interacciones (MAE-DNB-CM-2018-0087), se encuentran en la Amazonía ecuatoriana, en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA) ubicado en el cantón Arosemena Tola de la provincia del Napo, en el kilómetro 44 vía Puyo-Tena. El CEIPA posee una extensión de 2848,20 hectáreas, parte de la cuales destinadas a pastos (300 ha), infraestructura (aprox. 25 ha), bosque primario (aprox. 2000 ha) entre otras. Presenta un ambiente tropical con precipitaciones anuales que alcanza los 4000 mm, la humedad relativa es del 80% y la temperatura varía entre 15 a 25 °C (Universidad Estatal Amazónica (UEA), 2021). Las parcelas silvícolas permanentes se localizan en un bosque secundario en las siguientes coordenadas WGS 84 18S: PB: X: 177326; Y: 9862438 y PA: X: 178094; Y: 9862556, dividido en parcela alta y baja. (Figura 1).

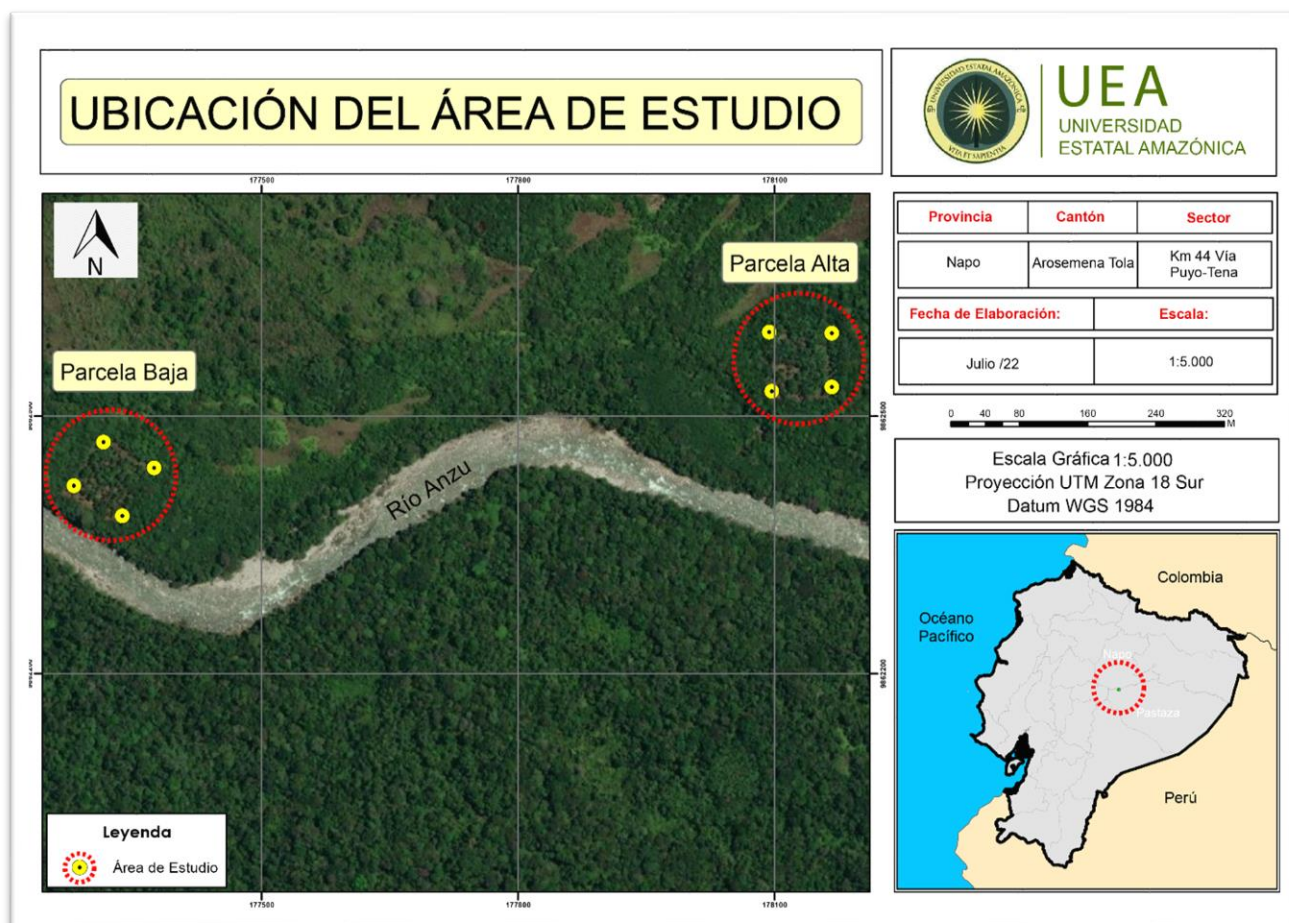


Figura 1
Ubicación del área de estudio

3.2. Tipo de investigación

El proyecto se enmarcó en el programa de investigación “Gestión y conservación Ambiental” de la Universidad Estatal Amazónica, con tres tipos de investigación entre ellas: **documental** porque se apoya en fuentes de carácter documental para profundizar en el marco teórico referencial, **de campo** debido a que se apoya en medición e identificación de especies forestales, y **experimental**, porque se realizaron análisis químicos de suelo en laboratorio.

3.3. Métodos de investigación

La recolección de la información de campo se realizó en un bosque secundario, implementando un diseño experimental de cuadrado latino para plantaciones silvícolas (25m x 25m), con un modelo bifactorial de parcelas que han sido subdivididas (10m x 10m) y enmendadas con biocarbón. Dentro de cada tipo de suelo se poseen 9 repeticiones de B1, 9 de B2 y 18 parcelas control, como lo indica en las figuras 2 y 3.

Se aplicaron dos tipos de enmiendas: la primera enmienda corresponde al carbón elaborado en caldera, con condiciones controladas denominado carbón 1 (B1), el siguiente corresponde a un tipo de carbón que fue comprado y sus comerciantes lo elaboraron de manera tradicional con métodos tradicionales de montículo cubierto de tierra (B2), los dos tipos de carbón fueron elaborados a partir de Pigue- (*Piptocoma discolor*). Cada tipo de biocarbón se acompañó de una parcela control, que en conjunto son el doble de las enmiendas realizadas para cada tipo de biocarbón (Figura 2 y 3).

A continuación (Tabla 1), se muestran las características de los dos tipos de biocarbón aplicadas en cada parcela.

Tabla 1
Propiedades del biocarbón utilizado

| ÍTEM | FUENTE DE BIOCHAR | CÓDIGO | PH | EC ($\mu\text{S}.\text{CM}^{-3}$) | MAX T ($^{\circ}\text{C}$) | HUMEDAD (%) |
|------|-------------------------|--------|-------|-------------------------------------|------------------------------|-------------|
| 1 | Elaboración en caldera | B1 | 10.17 | 1579.09 | >550 | 54 |
| 2 | Elaboración tradicional | B2 | 8.80 | 190.58 | | 48 |

Nota:

PH: Potencial de Hidroge

EC ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-3}$): Conductividad Eléctrica expresada en microSiemens/cm³

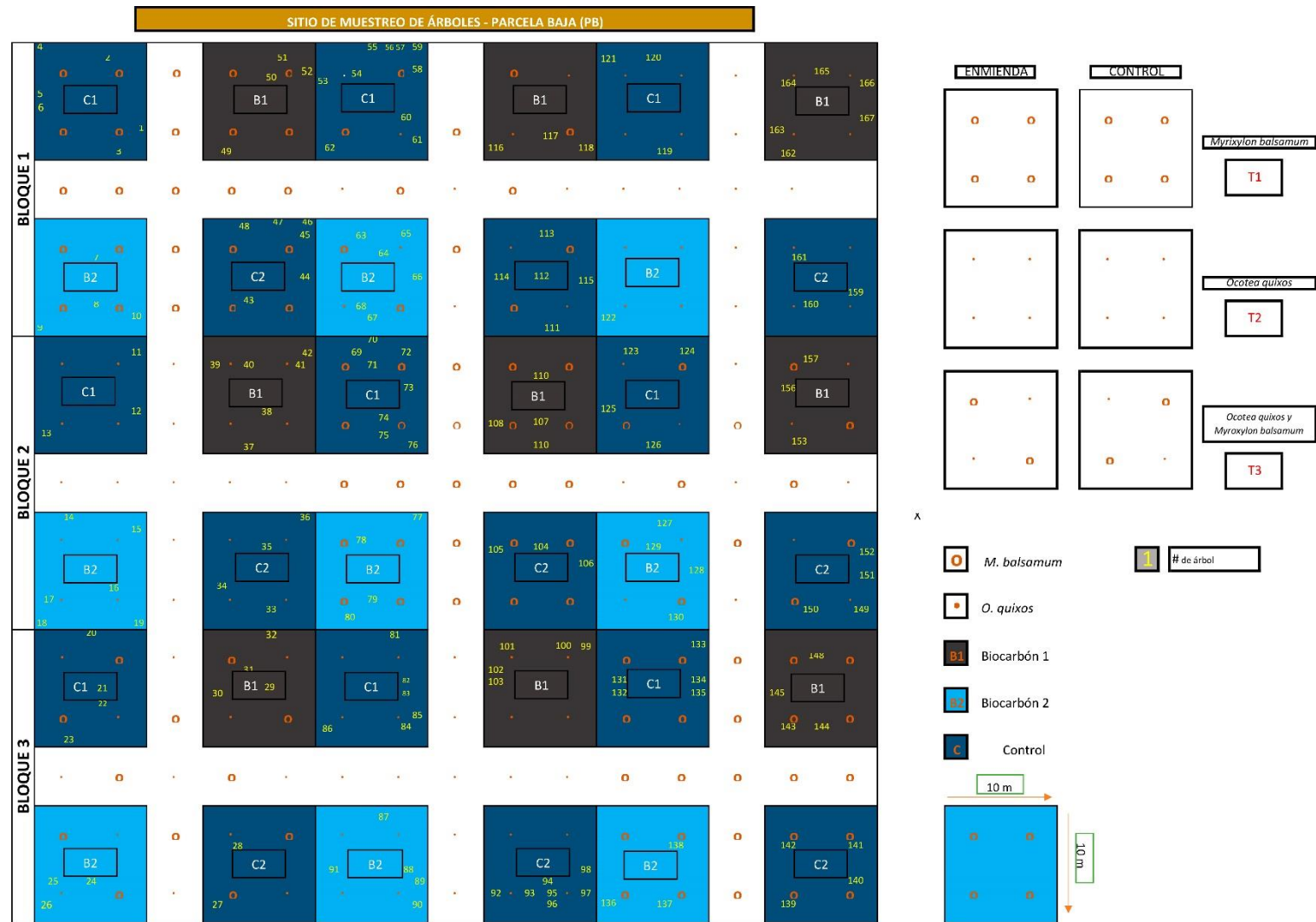


Figura 2.
 Unidad experimental ubicada en la Parcela Baja (PB)

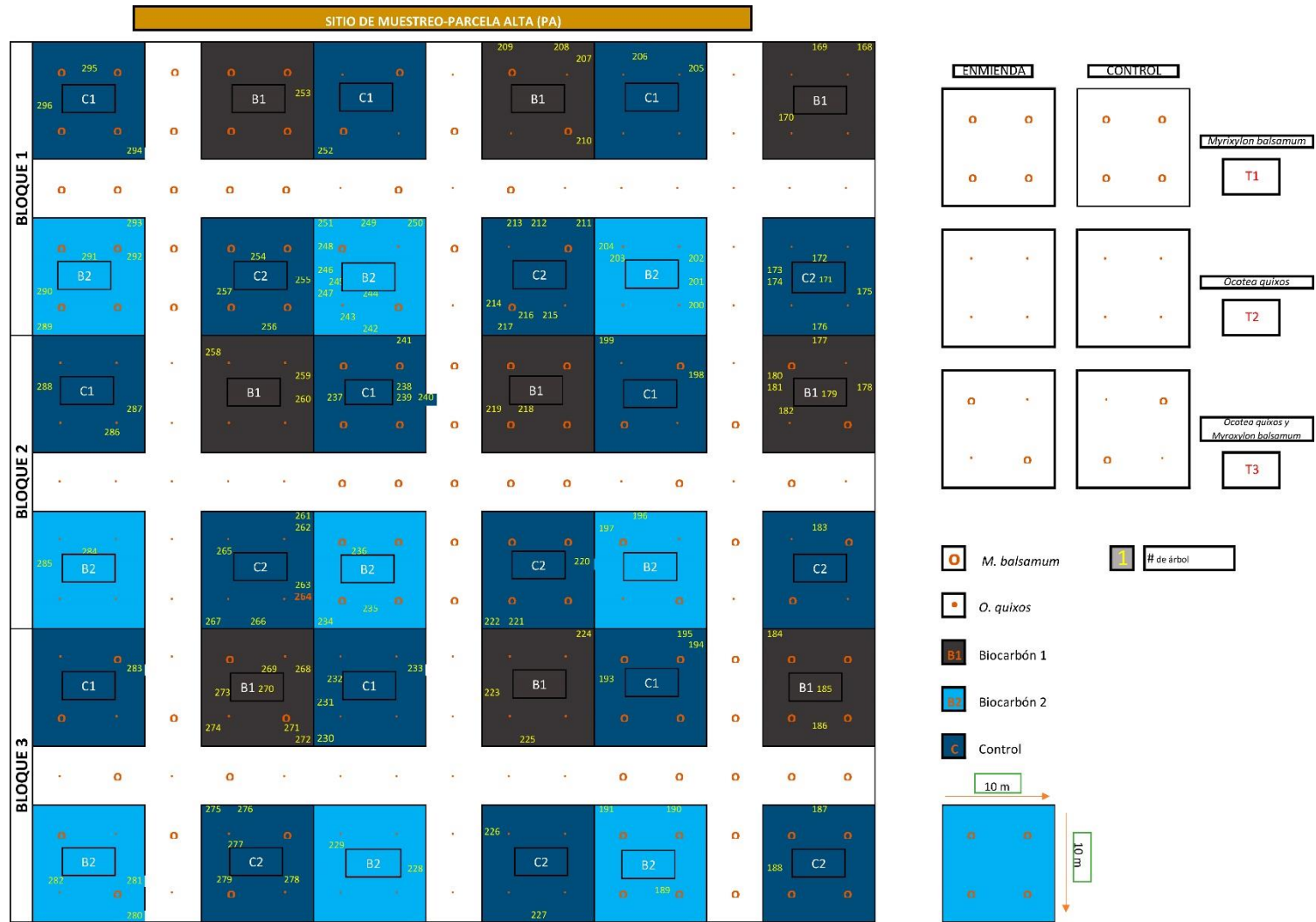


Figura 3
Unidad experimental ubicada en la Parcela Alta (PA)

3.4. Análisis químicos del suelo

Para la recolección de la información de campo se utilizó un esquema de muestreo sistemático que cubrirá toda la variabilidad de los usos del suelo (Bravo-Medina et al., 2021).

3.4.1. Preparación de muestras de suelo

- Recepción de las muestras en el laboratorio de Suelos de la Universidad Estatal Amazónica.
- Secado del suelo.
- Molido y tamizado en el laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica, para su posterior análisis en el mismo.
- Codificación de muestras para el análisis de parámetros químicos del suelo.

Para los distintos análisis químicos se siguió el manual de procedimiento del laboratorio de suelos de la Universidad Estatal Amazónica.

3.4.2. Determinación de pH

El pH (en agua o KCl) suministra la información básica para realizar un diagnóstico general del estado nutricional del suelo, con su medida es posible estimar el comportamiento que tendrán la mayoría de los elementos minerales en el suelo (Méndez & Bertsch, 2012) y fue medido por potenciometría (relación suelo-agua 1:2:5). El equipo utilizado fue Orion Star 125-Thermo Scientific, agitador Max Q 2000, balanza Pionner Ohaus. A continuación, se detalla el proceso:

1. Pesaje 10 gramos (g) de suelo.
2. Adición de 25 ml de agua destilada en un recipiente.
3. Agitación de muestras con un tiempo de 5 minutos a 400 rpm, posterior un reposo de 30 minutos de la muestra.
4. Calibración del peachimetro.
5. Análisis de la muestra (agitación durante la lectura)
6. Lavado y secado del electrodo para cada muestra.

3.4.3. Determinación de Acidez Intercambiable

La acidez y aluminio intercambiable, se determinaron por medio del desplazamiento de los iones ácidos (Al^{+3} y H^+) extraído a través de una solución de KCl 1N y titulado con NaCl y HCL. A continuación, se detalla el proceso:

1. Pesaje 2,5g de suelo
2. Adición de 25 ml de cloruro de potasio (KCl) 1N

3. Agitación de muestras por 10 minutos a 400 rpm
4. Filtración las muestras en papel filtro N1.
5. Adición de alícuota de 10 ml de filtrado
6. Adición de 10 ml de agua destilada, 3 gotas de fenolftaleína por muestra
7. Titulación con Hidróxido de Sodio (NaOH) 0,1N (color rosado tenue)

Si el pH es $<5,5$ se determinó Acidez intercambiable.

Si la Acidez intercambiable da un valor de $>1,1$ se determinó aluminio intercambiable.

3.4.4. Determinación de Aluminio Intercambiable

1. Pesaje 2,5 gramos de suelo.
2. Adición de 25 ml de KCL1N
3. Agitación la muestra por 10 minutos a 400 rpm
4. Filtración de muestras a través del papel Whatman #1
5. Adición de alícuota de 10 ml de filtrado
6. Adición de 10 ml de agua destilada y 3 gotas de rojo metilo
7. Titulación con NaOH 0.1N (color amarillo opaco)

3.4.5. Determinación de Nitrógeno Total

El nitrógeno total se midió por el método de (Kjeldahl, 1883), a través del siguiente proceso de laboratorio:

Digestión de muestras:

1. Pesaje de 0,2 gramos de suelo y 1,1 gramos de catalizador.
2. Adición en la muestra 3 ml de ácido de sulfúrico (H_2SO_4) en la Sorbona y posterior fueron colocadas las muestras en la plancha de calentamiento (precalentada a 100 °C).
3. Cada 45 minutos se agita las muestras e incrementa la temperatura de 50 °C hasta 400 °C (color verde azulado)
4. Enfriar y se agregar 25 ml de agua destilada en cada muestra.

Destilación de muestras

1. Las muestras digestadas se trasvasan a tubos de digestión y se coloca en el destilador automático.
2. Se verifica que los recipientes de NaOH 10N, ácido bórico (H_3BO_3) al 2% y Agua destilada estén llenos.
3. Seleccionar el método de lavado (2), previo a la destilación de las muestras.
4. Recoger de 100 a 150 ml de destilado (color verde claro).

5. Adición de 10 ml de ácido bórico mas 3 gotas de indicador (color vino).
6. Verificación que la máquina dispense NaOH en el tubo de digestión y H3BO3.
7. Selección el método 1, para destilar las muestras.
8. Titulación con H2SO4 0,01 N, hasta que regrese a color original (violeta pálido).

3.4.6. Determinación de Fósforo (P)

El Fósforo (P) se determinó utilizando la solución de extracción de Olsen y se midió colorimétricamente con el método azul de molibdeno (Bertsh, 1995). A continuación, se detalla el proceso:

1. Preparación de muestras
2. Adición de alícuota de 1 ml de filtrado de Olsen
3. Adición de 4 ml de agua destilada
4. Incorporación de 5 ml de solución B (Reactivo de color para fósforo)
5. Agitación y reposo de cada muestra por una hora bajo sombra
6. Determinación de absorbancia a una longitud de onda de 680 nm.

3.5. Cálculo de carbono orgánico del suelo

La cuantificación de MO por LOI (calcinación) se siguió el método propuesto por Schulte & Hopkins (1996), que consiste en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a elevadas temperaturas a través del siguiente procedimiento. Se pesó 5g de muestra en crisoles de 15mL, posteriormente se colocó en estufa durante 24 h a 105 °C. Las muestras fueron secadas y pesadas, colocadas durante 2h en una mufla a 360 °C, y posterior depositadas en un desecador y se registró el peso nuevamente.

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

$$\%MO = ((\text{peso } 105 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{peso } 360 \text{ }^{\circ}\text{C}) * 100) / \text{peso } 105 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

$$\% \text{ CO} = \%MO * 0,58 \quad (2)$$

Donde:

MO= Materia Orgánica

CO= Carbono orgánico

*0,58: factor de conversión de MO % a COT %

3.6. Cálculo de la biomasa aérea

3.6.1. Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Esta medida se tomó a los 1,30 m de altura desde el suelo para cada uno de los individuos, debido a que mide el perímetro de la sección siguiendo la línea convexa que la encierra. El instrumento utilizado fue una cinta diamétrica flexible (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2004). El estudio comprendió el análisis de 296 especies de árboles. (Tabla 2).

Tabla 2
Número de especies y gradiente altitudinal

| Altitud | Tipo de Parcela | Coordenadas | Número de árboles |
|--------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| 582-588 | PB | 18 S 177326 9862438 | 167 |
| 588-589 | PA | 18 S 178094 9862556 | 129 |
| TOTAL | | | 296 |

3.6.2. Ecuación Alométrica

Para estimar la biomasa aérea se utilizó diferentes especies arbóreas con un DAP mayor a 10 cm, de acuerdo con Brown (2002), los árboles de diámetros menores contribuyen poco a la biomasa y carbono de un bosque. Se utilizará una ecuación alométrica de (Chave et al., 2005):

$$BA = \rho \times \exp(-1.499 + 2.148 \ln(DBH) + 0.207(\ln(DBH))^2 - 0.0281(\ln(DBH))^3) \quad (3)$$

Donde:

ρ : Densidad específica de la madera en g/cm³

DBH: Todos los árboles \geq 10 cm de diámetro a la altura del pecho

BA: Biomasa en kg de masa seca.

Se manejaron datos de densidad específica de madera registrada en Global wood density database (Zanne et al., 2009) para cada especie identificada en el inventario forestal en las parcelas Alta y baja, de igual forma, para las especies no registradas en Global Wood density, se estableció un promedio para América del Suelo (ρ) para cada género y las no identificadas se utilizó la media global (ρ) para América del Sur tropical (0,632 g/cm³) (Chave et al., 2009). En la tabla 3, se visualiza el resumen de especies repetitivas del presente estudio:

Tabla 3
Densidad de madera específica.

| Nombre científico | Familia | # de Referencia Densidad específica | Densidad específica de madera g/cm ³ |
|-------------------------------|-----------------|--|---|
| <i>Aegiphila integrifolia</i> | Lamiaceae | 15 | 0,860 |
| <i>Baccharis latifolia</i> | Asteraceae | 48 | 0,561 |
| <i>Bellucia pentamera</i> | Melastomataceae | 44 | 0,540 |
| <i>Cecropia angustifolia</i> | Urticaceae | Prom South Ame | 0,330 |
| <i>Cecropia ficifolia</i> | Urticaceae | 198 | 0,266 |
| <i>Cecropia marginalis</i> | Urticaceae | Prom South Ame | 0,330 |
| <i>Cecropia obtusifolia</i> | Urticaceae | 66 | 0,260 |
| <i>Cecropia sciadophylla</i> | Urticaceae | 198 | 0,474 |
| <i>Cecropia sp</i> | Urticaceae | Prom South Ame | 0,330 |
| <i>Cedrela odorata</i> | Meliaceae | 20 | 0,420 |
| <i>Dacryodes sp</i> | Burseraceae | Prom South Ame | 0,561 |
| <i>Inga sp</i> | Fabaceae | Prom South Ame | 0,580 |
| <i>Jacaranda copaia</i> | Bignoniaceae | 198 | 0,402 |
| <i>Noid</i> | <i>Noid</i> | Media Global | 0,632 |
| <i>Piptocoma discolor</i> | Asteraceae | 44 | 0,470 |
| <i>Psidium guajava</i> | Myrtaceae | 30 | 0,629 |
| <i>Solanum sp</i> | Solanaceae | Prom South Ame | 0,368 |
| <i>Vismia baccifera</i> | Clusiaceae | 44 | 0,430 |

Nota: **Fuente:** (Zanne et al., 2009), **Noid:** No identificada, **Prom South Ame:** Las especies no registradas en el Worldwide Wood, se realizó un promedio por género que se encuentran distribuido para South America en la Towards a worldwide. **Media Global:** Las especies no identificadas se utilizó la media global (ρ) para América del Sur tropical (0,632 g/cm³).

De igual manera, se estableció la biomasa aérea acumulada en Mg/ha y se realizó una extrapolación a Mg/100 m² de acuerdo a la unidad experimental, por cada tipo de biocarbón. (Tabla 15)

3.7. Análisis estadístico

Las medidas estadísticas o parámetros estadísticos aplicados en la investigación son valores representativos de una colección de datos y que resumen en unos pocos valores la información del total de datos a través del software estadístico IBM SPSS STATICS 25. Una vez validado el análisis exploratorio, se procedió a comparar e inferir conclusiones a partir de las muestras. En primera instancia se acepta o se refuta si los datos provienen de una distribución normal o no normal para establecer las técnicas a emplear.

Dado que el estudio no supera los 50 datos por parcela (36 Parcela Alta y 36 Parcela Baja), se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, con la cual, se evidencia que la mayoría de los parámetros estudiados (Ba -Mg. ha⁻¹-, Ba -Mg.plot⁻¹-, pH, Al+H, Al⁺³, NT) no siguen

una distribución normal. Aunque, COT ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), COT ($\text{Mg}\cdot\text{plot}^{-1}$), Ba_Cot ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), P, si poseen distribución normal (tabla 2). Por tanto, se procede a trabajar con pruebas no paramétricas en las cuales se basan los resultados que se muestran a continuación (tabla 3).

Tabla 4
Pruebas de normalidad

| | Pruebas de normalidad | | | | | |
|------------------------|---------------------------------------|-----------|-------------|---------------------|-----------|-------------|
| | Kolmogorov-Smirnov^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Ba (Mg/ha) | ,173 | 66 | ,000 | ,880 | 66 | ,000 |
| Ba (Mg/plot) | ,199 | 66 | ,000 | ,879 | 66 | ,000 |
| COT (Mg/ha) | ,084 | 66 | ,200* | ,982 | 66 | ,443 |
| COT (Mg/plot) | ,099 | 66 | ,181 | ,981 | 66 | ,385 |
| Ba_COT (Mg/ha) | ,095 | 66 | ,200* | ,968 | 66 | ,086 |
| pH | ,125 | 66 | ,012 | ,895 | 66 | ,000 |
| Al+H | ,162 | 66 | ,000 | ,963 | 66 | ,048 |
| Al⁺³ | ,237 | 66 | ,000 | ,799 | 66 | ,000 |
| NT | ,141 | 66 | ,002 | ,949 | 66 | ,009 |
| P | ,069 | 66 | ,200* | ,973 | 66 | ,156 |
| MO % | ,107 | 66 | ,058 | ,965 | 66 | ,056 |
| COT % | ,107 | 66 | ,058 | ,965 | 66 | ,056 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: **Ba ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)** = Biomasa aérea expresada en Mega gramo por hectárea, **Ba ($\text{Mg}\cdot\text{plot}^{-1}$)** = Biomasa aérea expresada en Mega gramo por la unidad experimental (100 m^2), **Cot ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)** = Carbono Orgánico Total del suelo expresado en Mega gramo por hectárea, **Cot ($\text{Mg}\cdot\text{plot}^{-1}$)** = Carbono Orgánico Total del suelo expresado en Mega gramo por la unidad experimental (100 m^2), **Ba_Cot ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)** = Sumatoria de Biomasa aérea y Carbono Orgánico Total del Suelo expresada en Mega gramo por hectárea, **pH**: Concentración de iones de hidrógeno, **Al+H**: Acidez intercambiable, **Al⁺³**: Aluminio intercambiable, **NT**: Nitrógeno total, **P**: Fósforo, **MO%**: Materia Orgánica, **COT %**: Carbono Orgánico Total.

Posterior, realizó la prueba de Kruskal-Wallis (de William Kruskal y W. Allen Wallis), que es un método no paramétrico para probar si un grupo de datos proviene de la misma población, intuitivamente es idéntico al ANOVA con los datos reemplazados por categorías, a su vez, no asume normalidad en los datos, en oposición al tradicional ANOVA, con los siguientes pasos:

1) Planteamiento de hipótesis:

H₀: No existen diferencias significativas entre las variables estudiadas

H₁: Si existen diferencias significativas entre las variables estudiadas

2) Nivel de significancia:

$$\alpha = 0,05 \rightarrow \text{"95\% de confiabilidad"}$$

3) Estadístico de prueba:

Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis

4) Regla de decisión:

5) Toma de decisión

$$p < 0,05 \rightarrow H1 \text{ SE ACEPTA}$$

$$p > 0,05 \rightarrow H0 \text{ SE ACEPTA}$$

3.8. Recursos humanos y materiales

3.8.1. Recursos humanos

Durante la fase de campo, se contó con el apoyo de un asistente de campo para la obtención de muestras de suelo y la medición de variables dasométricas. En la fase de laboratorio y procesamiento de resultados, participó un técnico del laboratorio de suelos de la UEA y el director de tesis respectivamente.

3.8.2. Materiales

Entre los principales se determinaron:

- Laptop
- GPS GARMIN
- Cinta diamétrica
- Cuaderno de campo
- Equipos de laboratorio de suelos de la UEA
- Cámara fotográfica
- Fundas ziploc
- Paquete estadístico IBM SPSS STATICS 25

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Biomasa área de un bosque secundario enmendado con biocarbón manufacturado elaborado en caldera (B1), biocarbón artesanal elaborado por comerciantes (B2), y plots sin enmienda (C).

La Biomasa Aérea expresada en megagramos por hectárea en la Parcela Alta (PA), no presenta diferencias significativas ($\chi^2(2, N=30) = 1,117, p > 0,572$) [tabla 5] entre los tratamientos en estudio: B1 ($\bar{X} 10.12 \pm 9.70$), B2 ($\bar{X} 11.41 \pm 7.96$), C ($\bar{X} 7.99 \pm 4.58$) [Anexo 9].

Tabla 5

Prueba de Kruskal-Wallis para Biomasa aérea, considerando los tratamientos en el Suelo coluvial (B1, B2, C) de la Parcela Alta.

| Estadísticos de prueba ^{a, b, c} | | |
|--|------------|--------------|
| | Ba (Mg/ha) | Ba (Mg/plot) |
| H de Kruskal-Wallis | 1,117 | 1,124 |
| gl | 2 | 2 |
| Sig. asintótica | ,572 | ,570 |
| a. Tipo de Parcela = PA | | |
| b. Prueba de Kruskal Wallis | | |
| c. Variable de agrupación: Tipo de Biocarbón | | |

Nota: BA (Mg/ha⁻¹) = Biomasa aérea expresada en Mega gramo por hectárea, Ba (Mg/plot⁻¹) = Biomasa aérea expresada en Mega gramo por la unidad experimental (100 m)

En la Parcela baja existe la misma tendencia ($\chi^2(2, N=36) = 0.882, p > 0,643$) [tabla 6], para los tratamientos estudiados B1 ($\bar{X} 9.75 \pm 5.08$), B2 ($\bar{X} 8.18 \pm 6.25$), C ($\bar{X} 8.18 \pm 4.11$), lo cual se observa en la figura 4 y Anexo 9.

Tabla 6. *Prueba de Kruskal-Wallis para Biomasa aérea, considerando los tratamientos en el Suelo Aluvial (B1, B2, C) de la Parcela Baja*

| Estadísticos de prueba ^{a, b, c} | | |
|--|---------------------------|-----------------------------|
| | Ba (Mg.ha ⁻¹) | Ba (Mg.plot ⁻¹) |
| H de Kruskal-Wallis | ,882 | ,827 |
| gl | 2 | 2 |
| Sig. asintótica | ,643 | ,661 |
| a. Tipo de Parcela = PB | | |
| b. Prueba de Kruskal Wallis | | |
| c. Variable de agrupación: Tipo de biocarbón | | |

Nota: BA (Mg/ha⁻¹) = Biomasa aérea expresada en Mega gramo por hectárea, Ba (Mg/plot⁻¹) = Biomasa aérea expresada en Mega gramo por la unidad experimental (100 m)

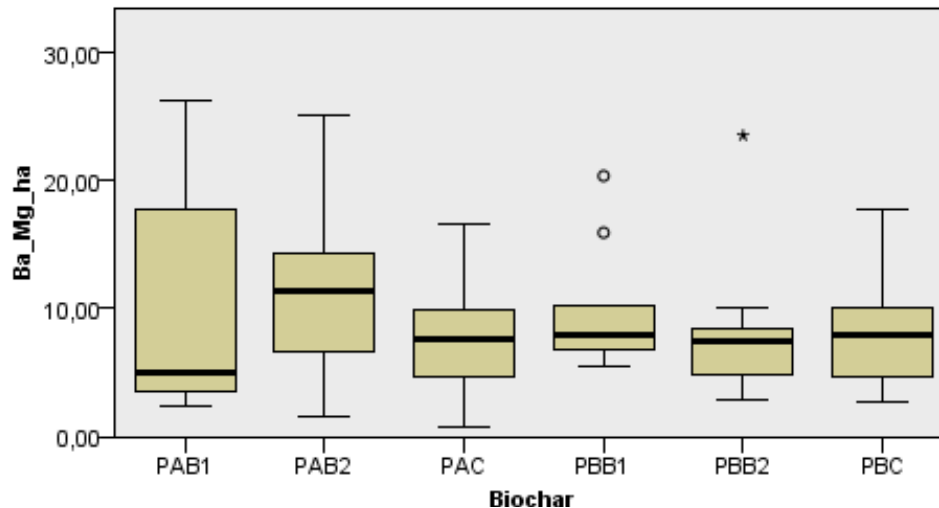


Figura 4
Biomasa aérea expresada en Mg. ha⁻¹, en referencia las Parcelas Altas y Bajas

Los

bosques tropicales poseen una cantidad de biomasa que se estima hasta los 350 Mg. ha⁻¹, (Keeling & Phillips, 2007), para los bosques andino-amazónicos, ubicados en la provincia de Napo, Ecuador, en una zona montañosa dominada por lomas altas y medias afiladas y cerros redondeados compuestos por rocas volcánicas y sedimentarias de origen reciente, (Torres et al., 2020), reporta valores de Biomasa aérea en un rango comprendido entre 200 a 300 Mg ha⁻¹, en relación 1378 especies de árboles distribuidas en 5 parcelas de 1000 m². En este estudio los valores presentados se encuentran en un promedio de 9,84 Mg. ha⁻¹ para la Parcela Alta y 8,70 Mg. ha. ⁻¹, determinando que las enmiendas de biocarbón no tuvo incidencia en la producción de biomasa aérea, con 311 especies de árboles analizadas, distribuidas en dos parcelas de 25m x 25m(PA-PB). En virtud de aquello, en el sur de la Amazonía ecuatoriana, (Gonzalez Sarango et al., 2021) determina que la enmienda de biocarbón no tuvo un efecto significativo en las tres medidas de crecimiento de los árboles durante los 4 años de aplicación del biochar.

4.2. Análisis del almacenamiento de carbono del suelo de un bosque secundario enmendado con biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes.

Los datos de Carbono Orgánico Total (COT) expresada en megagramos por hectárea en la Parcela Alta (PA), evidencia valores más altos en el Control (C) en relación al Biocarbón 1 y Biocarbón 2, sin embargo, no tienen una variación significativa ($\chi^2(2, N=36) = 3,632, p >$

0,163) [tabla 7 y figura 5] entre los tratamientos establecidos B1 (\bar{X} 24,78 \pm 4,75), B2 (\bar{X} 26,70 \pm 3,94), C (\bar{X} 28,93 \pm 5,16) [Anexo 10].

Tabla 7

Prueba de Kruskal-Wallis para Carbono Orgánico Total, considerando los tratamientos en el Suelo Coluvial (B1, B2, C) de la Parcela Alta

| Estadísticos de prueba^{a, b, c} | | |
|---|----------------------------------|------------------------------------|
| | Cot (Mg. ha⁻¹) | Cot (Mg. plot⁻¹) |
| H de Kruskal-Wallis | 3,632 | 3,380 |
| gl | 2 | 2 |
| Sig. asintótica | ,163 | ,184 |
| a. Tipo de Parcela = PA | | |
| b. Prueba de Kruskal Wallis | | |
| c. Variable de agrupación: Tipo de Biocarbón | | |

Nota: Cot (Mg/ha⁻¹) =Carbono Orgánico Total del suelo expresado en Mega gramo por hectárea, Cot (Mg/plot⁻¹) = Carbono Orgánico Total del suelo expresado en Mega gramo por la unidad experimental (100 m)

En referencia a la parcela Baja, se deriva que los valores entre los dos tipos de Biocarbón B1-B2 y el control (C), son casi similares, aun así, no tienen unas diferencias significativas ($\chi^2(2, N=36) = 1,218, p > 0,544$) [tabla 8 y figura 5], entre los distintos tratamientos B1 (\bar{X} 24,37 \pm 2,93), B2 (\bar{X} 25,26 \pm 5,94), C (\bar{X} 26,70 \pm 5,31) [Anexo 10].

Tabla 8

Prueba de Kruskal-Wallis para Carbono Orgánico Total, considerando los tratamientos en el Suelo Aluvial (B1, B2, C) de la Parcela Baja

| Estadísticos de prueba^{a, b, c} | | |
|---|----------------------------------|------------------------------------|
| | Cot (Mg. ha⁻¹) | Cot (Mg. plot⁻¹) |
| H de Kruskal-Wallis | 1,218 | 1,169 |
| gl | 2 | 2 |
| Sig. asintótica | ,544 | ,557 |
| a. Tipo de Parcela = PB | | |
| b. Prueba de Kruskal Wallis | | |
| c. Variable de agrupación: Tipo de Biocarbón | | |

Nota: Cot (Mg/ha⁻¹) =Carbono Orgánico Total del suelo expresado en Mega gramo por hectárea, Cot (Mg/plot⁻¹) = Carbono Orgánico Total del suelo expresado en Mega gramo por la unidad experimental (100 m)

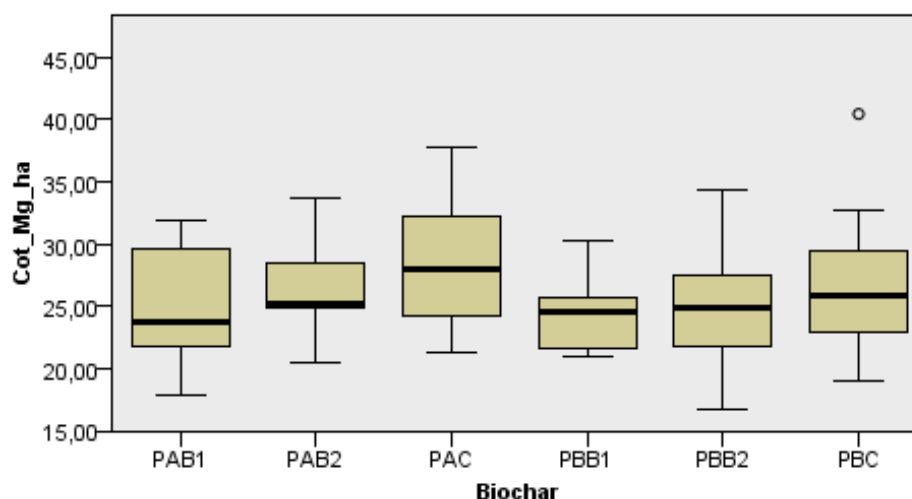


Figura 5
Carbono Orgánico Total expresada en Mg. ha⁻¹, en referencia las Parcelas Altas y Bajas

4.3. Efecto del biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes sobre las propiedades químicas del suelo.

En la tabla 9, se observa las variables químicas para la Parcela Alta y se determina que solo las variables MOT y COT, presentan diferencias significativas ($\chi^2(2, N=36) = 8,980, p < 0,011$ y $\chi^2(2, N=36) = 8,890, p < 0,011$ respectivamente), lo que se demuestra en la figura 6 y 7, entre los tratamientos establecidos para MO: B1 ($\bar{X} 13,56 \pm 12,82$), B2 ($\bar{X} 14,71 \pm 15,02$), C ($\bar{X} 15,98 \pm 15,81$).

En cuanto a las variables pH, Al+H, Al⁺³, NT, y P, tienen un pvalue > 0,05, estableciendo que no existe diferencia significativa, es decir, no presenta cambios en la composición de las propiedades químicas en relación a las distintas enmiendas de biocarbón aplicadas en la unidad experimental, a una confiabilidad del 95%.

Tabla 9
Prueba de Kruskal-Wallis para Parámetros químicos del suelo, considerando los tratamientos en el Suelo Coluvial (B1, B2, C) de la Parcela Alta

| Parcela Alta-Estadísticos de prueba ^{a, b, c} | | | | | | | |
|--|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | pH | Al+H | Al ⁺³ | NT | P | MO | COT |
| H de Kruskal-Wallis | 0,198 | 3,387 | 0,692 | 4,010 | 2,509 | 8,980 | 8,980 |
| gl | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Sig. asintótica | 0,906 | 0,184 | 0,708 | 0,135 | 0,285 | 0,011 | 0,011 |
| a. Tipo de Parcela = PA | | | | | | | |
| b. Prueba de Kruskal Wallis | | | | | | | |
| c. Variable de agrupación: Tipo de Biochar | | | | | | | |

Nota: pH: Concentración de iones de hidrógeno, Al+H: Acidez intercambiable, Al⁺³: Aluminio intercambiable, NT: Nitrógeno total, P: Fósforo, MO%: Materia Orgánica, COT %: Carbono Orgánico Total.

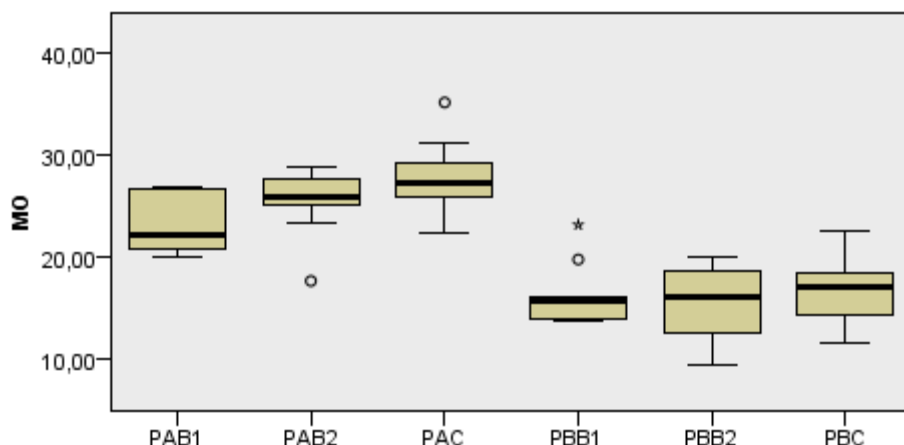


Figura 6
Materia Orgánica en las Parcelas Baja y Alta

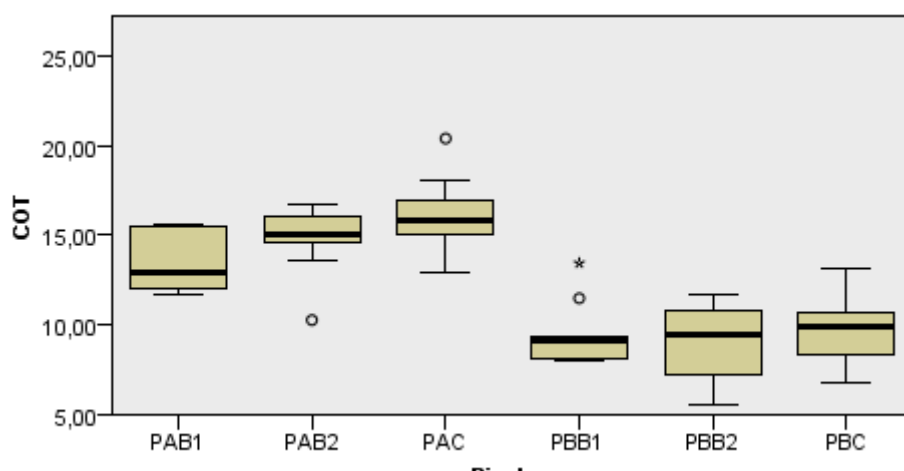


Figura 7
Carbono Orgánica Total en las parcelas Baja y Alta

En referencia a la Parcela Baja, no existe diferencias significativas entre las variables pH, Al+H, Al⁺³, NT, P, MO y COT, con un pvalue > 0,05, en respuesta a la aplicación de enmienda de biocarbón. (Tabla 10)

Tabla 10

Prueba de Kruskal-Wallis para Parámetros químicos del suelo, considerando los tratamientos en el Suelo Aluvial (B1, B2, C) de la Parcela Baja

| Parcela Baja-Estadísticos de prueba ^{a, b, c} | | | | | | | |
|--|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | pH | Al_H | Al ⁺³ | NT | P | MO | COT |
| H de Kruskal-Wallis | 0,667 | 0,293 | 1,028 | 0,582 | 3,285 | 0,318 | 0,318 |
| gl | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Sig. asintótica | 0,717 | 0,864 | 0,598 | 0,747 | 0,193 | 0,853 | 0,853 |
| a. Tipo de Parcela = PB | | | | | | | |
| b. Prueba de Kruskal Wallis | | | | | | | |
| c. Variable de agrupación: Tipo de Biocarbón | | | | | | | |

Nota: **pH:** Concentración de iones de hidrógeno, **Al+H:** Acidez intercambiable, **Al³⁺:** Aluminio intercambiable, **NT:** Nitrógeno total, **P:** Fósforo, **MO%:** Materia Orgánica, **COT %:** Carbono Orgánico Total.

Vijay et al., 2021, señala que la aplicación de biocarbón puede reducir la acidez del suelo debido a su alta alcalinidad y alta capacidad amortiguadora. En el presente estudio, se determina que el biocarbón no afectó a las propiedades químicas del suelo, en ningún tratamiento aplicados en la Parcela Baja, De igual forma, Anika et al., 2021, señala que los efectos positivos del Biocarbón también dependerá de la cantidad de biocarbón que se aplicó y del tipo de cultivo que se esté cultivado, a su vez, del grado de degradación del suelo y sus características tales como el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CEC), la textura del suelo y el contenido de C-orgánico.

4.4. Análisis de correlación entre la Biomasa Aérea, propiedades químicas del suelo y el Carbono Orgánico Total del suelo, enmendado con biocarbón manufacturado (B1) elaborado en caldera y biocarbón artesanal (B2) elaborado por comerciantes.

La matriz de correlación presenta por pares de variables el coeficiente de Spearman, el nivel de significancia obtenido y el número de muestras. En tal sentido, en la tabla 11 se determinan las variables con niveles de correlación entre parejas que resultaron significativos clasificados por rangos de asociación, en tal sentido se evidencia que Ba Mg.ha⁻¹ con Ba Mg. Plot⁻¹ y Cot (Mg.ha⁻¹) con Cot (Mg. plot⁻¹) presentan una correlación lineal directa muy fuerte (con coeficiente Spearman de 0,993** y 0,998** respectivamente), las variables Ba (Mg.ha⁻¹) con Ba_Cot (Mg.ha⁻¹) y Ba (Mg.plot⁻¹) con Ba_Cot (Mg.ha⁻¹) presentan una correlación lineal directa fuerte (con coeficiente Spearman de 0,715** y 0,706** respectivamente) y las variables Cot (Mg.ha⁻¹) con Ba_Cot (Mg. Ha⁻¹) y Cot (Mg.plot⁻¹) con Ba_Cot (Mg.ha⁻¹) presentan una correlación lineal directa moderada (con coeficiente Spearman de 0,525** y 0,529** respectivamente). Con respecto a la Parcela Alta (Anexo 5), se reiteran que las variables Cot (Mg.ha⁻¹) con Ba_Cot (Mg. Ha⁻¹) y Cot (Mg.plot⁻¹) con Ba_Cot (Mg.ha⁻¹), muestran una correlación lineal directa moderada (0 ,496** y 0 ,507**), respectivamente. y lo propio en la Parcela Baja (Anexo 6).

Tabla 11
Correlaciones de Spearman entre Biomasa aérea y Carbono Orgánico Total del suelo

| | | | Ba (Mg.ha⁻¹) | Ba (Mg.plot⁻¹) | Cot (Mg.ha⁻¹) | Cot (Mg.plot⁻¹) | Ba_Cot (Mg.ha⁻¹) |
|-----------------|------------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Rho de Spearman | Ba (Mg/ha) | Coeficiente de correlación | 1,000 | ,993** | -0,130 | -0,128 | ,715** |
| | | Sig. (bilateral) | | 0,000 | 0,298 | 0,305 | 0,000 |
| | | N | | 66 | 66 | 66 | 66 |

| | | | | | |
|-------------------|----------------------------|-------|---------------|---------------|---------------|
| Ba (Mg/plot) | Coeficiente de correlación | 1,000 | -0,139 | -0,136 | ,706** |
| | Sig. (bilateral) | | 0,267 | 0,275 | 0,000 |
| | N | | 66 | 66 | 66 |
| Cot (Mg/ha) | Coeficiente de correlación | 1,000 | ,998** | ,525** | |
| | Sig. (bilateral) | | | 0,000 | 0,000 |
| | N | | | 72 | 66 |
| Cot (Mg/plot) | Coeficiente de correlación | | | 1,000 | ,529** |
| | Sig. (bilateral) | | | | 0,000 |
| | N | | | | 66 |
| Ba_Cot (Mg/ha) | Coeficiente de correlación | | | | 1,000 |
| | Sig. (bilateral) | | | | |
| | N | | | | |

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota: **Ba (Mg/ha⁻¹)** = Biomasa aérea expresada en Mega gramo por hectárea, **Ba (Mg/plot⁻¹)** = Biomasa aérea expresada en Mega gramo por la unidad experimental (100 m²), **Cot (Mg/ha⁻¹)** = Carbono Orgánico Total del suelo expresado en Mega gramo por hectárea, **Cot (Mg/plot⁻¹)** = Carbono Orgánico Total del suelo expresado en Mega gramo por la unidad experimental (100 m²), **Ba_Cot (Mg/ha⁻¹)** = Sumatoria de Biomasa aérea y Carbono Orgánico Total del Suelo expresada en Mega gramo por hectárea

En el caso de las propiedades químicas del suelo (tabla 12), se puede observar que MO y COT tienen una correlación lineal directa fuerte positiva y significativa con P (**,646****), NT (**,645****) y acidez (**,623****), y una correlación lineal directa inversa negativa y significativa para pH (**-,563****). En cambio, no es igual en cada parcela, siendo en la parcela Alta una correlación lineal directa baja-moderada positiva y significativa la de COT y MO con Al+H y P (**,0382**** y **0,434**** respectivamente) [Anexo 7], mientras que, en la Parcela Baja, COT y MO presenta correlaciones lineales para Al+H (**0,594****-Moderada), Al+3 (**0,367***-baja), NT (**0,800****-fuerte) y P (**0,394***-baja) [Anexo 8].

Tabla 12
Correlación de Spearman de parámetros químicos del suelo.

| | | pH | Al+H | Al ⁺³ | NT | P | MO | COT | |
|-----------------|------------------|----------------------------|-------|------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Rho de Spearman | pH | Coeficiente de correlación | 1,000 | -,397** | 0,144 | -,460** | -,287* | -,563** | -,563** |
| | | Sig. (bilateral) | | 0,001 | 0,228 | 0,000 | 0,015 | 0,000 | 0,000 |
| | | N | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | Al+H | Coeficiente de correlación | | 1,000 | ,463** | ,554** | ,733** | ,623** | ,623** |
| | | Sig. (bilateral) | | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | | N | | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | Al ⁺³ | Coeficiente de correlación | | | 1,000 | -0,060 | 0,194 | 0,018 | 0,018 |
| | | Sig. (bilateral) | | | | 0,618 | 0,103 | 0,878 | 0,878 |
| | | N | | | | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | NT | Coeficiente de correlación | | | | 1,000 | ,623** | ,645** | ,645** |
| | | Sig. (bilateral) | | | | | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | | N | | | | | 72 | 72 | 72 |
| | P | Coeficiente de correlación | | | | | 1,000 | ,646** | ,646** |
| | | Sig. (bilateral) | | | | | | 0,000 | 0,000 |

| | | | |
|-----|-----------------------------|-------|---------|
| | N | 72 | 72 |
| MO | Coefficiente de correlación | 1,000 | 1,000** |
| | Sig. (bilateral) | | |
| | N | | 72 |
| COT | Coefficiente de correlación | | 1,000 |
| | Sig. (bilateral) | | |
| | N | | 72 |

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Nota: **Ba (Mg/ha⁻¹)** = Biomasa aérea expresada en Mega gramo por hectárea, **Ba (Mg/plot⁻¹)** = Biomasa aérea expresada en Mega gramo por la unidad experimental (100 m²), **Cot (Mg/ha⁻¹)** = Carbono Orgánico Total del suelo expresado en Mega gramo por hectárea, **Cot (Mg/plot⁻¹)** = Carbono Orgánico Total del suelo expresado en Mega gramo por la unidad experimental (100 m²), **Ba_Cot (Mg/ha⁻¹)** = Sumatoria de Biomasa aérea y Carbono Orgánico Total del Suelo expresada en Mega gramo por hectárea

En virtud de aquello, (El-Naggar et al., 2019), prevé que el impacto de la aplicación de biocarbón en la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos depende en gran medida de las condiciones experimentales, las características del biocarbón y los tipos de suelo y sugiere que los efectos negativos del biocarbón en el rendimiento de los cultivos se relacionan principalmente con efectos perjudiciales en la comunidad microbiana del suelo debido a un pH alto, la inducción de antagonismos de cationes (Ca/K) y compuestos orgánicos volátiles tóxicos.

Por otra parte, (Olmo, 2016), destaca como aspectos claves para asegurar la eficacia del biochar: i) adecuar las características del biochar a las propiedades del suelo y condiciones de cultivo; y ii) determinar qué factores condicionan una mayor disponibilidad de nutrientes en el sistema suelo-biochar-planta, especialmente aquellos nutrientes retenidos en el biochar. Sin embargo, para lograr objetivos significativos para la captura de carbono, como el 12 % de las emisiones antropogénicas actuales de CO₂, se tendrían que aplicar grandes cantidades de biochar a una porción significativa de la tierra cultivable de la tierra (Biederman & Harpole, 2013).

CONCLUSIONES

- En el presente estudio, se determinó que no existieron variaciones en la biomasa aérea en las Parcelas Alta y Baja, con $9,84 \text{ Mg. ha}^{-1}$ y $8,70 \text{ Mg. ha.}^{-1}$ respectivamente, en función de la aplicación de las enmiendas con biocarbón manufacturado elaborado en caldera (B1), biocarbón artesanal elaborado por comerciantes (B2), y plots sin enmienda (C).
- La productividad de Carbono Orgánico Total en la Parcela Alta fue de $26,80 \text{ Mg. ha}^{-1}$ y en la Parcela Baja de $25,44 \text{ Mg. ha}^{-1}$, afirmando una vez más, que no tuvo efecto las enmiendas de biocarbón sobre las unidades experimentales de esta investigación.
- Diferentes bibliografías estipulan que la aplicación de enmiendas de biochar produce o aumenta la fertilidad de los suelos y el crecimiento de las plantas, pero en esta investigación, se determina que no existió influencias en los distintos parámetros estudiados, y que se debe a las condiciones experimentales, las características del biocarbón y los tipos de suelo.

RECOMENDACIÓN

- Realizar muestreos del suelo en épocas no lluviosas, debido a que podría afectar el barrido de nutrientes del suelo y posterior afectar a los distintos análisis químicos-físicos que se realicen en el laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afif, E., Palencia, P., & Oliveira, J. A. (2013). Aplicación de fuentes de fósforo al suelo en diferentes cortes de césped cultivado. *Agrociencia*, 47(6), 553–566.
- Anika, N., Marpaung, D. S. S., & Bindar, Y. (2021). Analysis of The Impact of Biochar Application on Soil Fertility and Productivity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 830(1), 012062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/830/1/012062>
- Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencias del Suelos. Costa Rica
- Besoain, E. (1985). Mineralogía de arcillas de suelos. San José, Costa Rica: Editorial Bib.
- Biederman, L. A., & Harpole, W. S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 5(2), 202–214. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12037>
- Bravo-Medina, C., Goyes-Vera, F., Arteaga-Crespo, Y., García-Quintana, Y., & Changoluisa, D. (2021). A soil quality index for seven productive landscapes in the Andean-Amazonian foothills of Ecuador. *Land Degradation & Development*, 32(6), 2226–2241. <https://doi.org/10.1002/ldr.3897>
- Brockamp, R. L., & Weyers, S. L. (2021). Biochar amendments show potential for restoration of degraded, contaminated, and infertile soils in agricultural and forested landscapes. In *Soils and Landscape Restoration* (pp. 209–236). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813193-0.00008-4>
- Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116(3), 363–372. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00212-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00212-3)
- Brown, S., & Lugo, A. (1990). Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology*, 6(1), 1–32. <https://doi.org/10.1017/S0266467400003989>
- Cabrera Quezada, M., Segura Chávez, E., Sinche Chele, F., Maldonado Ortiz, L., & Tierres Mayorga, J. (2020). Estructura y estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo de un bosque siempreverde de tierras bajas: Caso Parque Ecológico Recreacional Lago Agrio, Sucumbíos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 13(1), 93–101. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i1.352>

- Calderón-Medina, C. L., Bautista-mantilla, G. P., & Rojas-González, S. (2018). *Propiedades químicas , físicas y biológicas del suelo , indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta Chemical , physical and biological soil properties , indicators of the status of different ecosystem in. 1(Cc)*, 141–157.
- Celaya-Michel, H., & Castellanos-Villegas, A. (2011). Mineralización De Nitrógeno En El Suelo De Zonas Áridas Y Semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343–356.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). (2016). Definición de Bosques secundarios y degradados en Centroamérica. *Forest and Climate Change Fund*, 25. <https://www.forestryandclimate.com/wp-content/uploads/2017/10/170918-Definition-Forest-Catie-Final-Spanish-version-electronic-version.pdf>
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., & Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12(4), 351–366. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>
- Chou, S. W., & Gutiérrez-Espeleta, E. E. (2013). Ecuación para estimar la biomasa arbórea en los bosques tropicales de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 26(2), 41. <https://doi.org/10.18845/tm.v26i2.1402>
- Cristóbal-Acevedo, D., Álvarez-Sánchez, M., Hernández-Acosta, E., & Améndola-Massiotti, R. (2011). Concentración de Nitrógeno en Suelo por Efecto de Manejo Orgánico y Convencional. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 325–332.
- Del Valle, J. I., Restrepo, H. I., & Londoño, M. M. (2011). Biomass recovery through secondary succession in the Cordillera Central de los Andes, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(3), 1337–1358.
- Dominchin, M. F., Verdenelli, R. A., Vargas Gil, S., Aoki, A., Marin, R. H., & Meriles, J. M. (2019). Efecto De La Aplicación De Biochar Avícola Sobre Las Propiedades Químicas Y Microbiológicas De Un Suelo Haplustol Típico Con Diferentes

Intensidades De Uso Effect of Poultry Biochar on Chemical and Microbiological Properties in a Typical Haplustol Soil Un. *Argentina*), 37(2), 315–327.

El-Naggar, A., Soo, S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A., Zimmerman, A., Ahmad, M., Shaheen, S., & Sik Ok, Y. (2019). Biochar application to low fertility soils : A review of current status , and future prospects. *Geoderma*, 337(May 2018), 536–554. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034>

Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil. *Terra Latinoamericana*, 34, 367–382. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2004). Inventario forestal nacional. Manual de campo. Programa de Evaluación de Los Recursos Forestales. Documento de Trabajo 94/S, 89.

Fernández, J. (2015). Energía de la biomasa. Recuperado de <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energiasrenovables-para-todos-biomasa.pdf>

Finegan, B. & Gordon, J. (1993). El manejo del bosque natural una opción atractiva para el productor de recursos limitados, Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

García Quintana, Y., Arteaga-Crespo, Y., Torres-Navarrete, B., Bravo-Medina, C., & Robles-Murillo, M. (2021). Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. *Colombia Forestal*, 24(1), 45–59. <https://doi.org/10.14483/2256201x.15939>

Gómez-Lora, J. W., Gallo-Ramos, V. H., & Camacho-Zorogastúa, K. D. C. (2021). Evaluación del bosque húmedo tropical mediante el análisis de la cobertura fraccional y técnicas SIG en la subcuenca del río Yuracyacu, Amazonía peruana. *Madera y Bosques*, 27(2), 1–20. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722109>

Gonzales, M. (2004). El terreno. Barcelona, España: Editorial ESIC

- Gonzalez Sarango, E. M., Valarezo Manosalvas, C., Mora, M., Villamagua, M. Á., & Wilcke, W. (2021). Biochar amendment did not influence the growth of two tree plantations on nutrient-depleted Ultisols in the south Ecuadorian Amazon region. *Soil Science Society of America Journal*, 85(3), 862–878. <https://doi.org/10.1002/saj2.20227>
- González, Z. M. (2008). Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. In *CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA*. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA.
- Hernández-Moreno, J. A., Velázquez-Martínez, A., Fierros-González, A. M., Gómez-Guerrero, A., Reyes Hernández, V. J., & Vera-Castillo, J. A. G. (2020). Estimación de biomasa aérea y carbono, en rodales con y sin manejo forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. *Madera y Bosques*, 26(1), 1–17. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611802>
- Huera-Lucero, T. (2020). Biological Quality of Soils for the Case of Ecuadorian Amazon. *Encyclopedia*, 2. <https://doi.org/10.32545/encyclopedia202004.0008.v2>
- Jauregui, K. (2016). *Ecuaciones alométricas para estimar volumen y biomasa aérea de Enterolobium cyclocarpum y Ceiba pentandra en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras* [Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5731/1/IAD-2016-T022.pdf>
- Keeling, H. C., & Phillips, O. L. (2007). The global relationship between forest productivity and biomass. *Global Ecology and Biogeography*, 16(5), 618–631. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00314.x>
- Kjeldahl, J. (1883). Kjeldahl: Nene Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Korpern. *Zeitschrift for Analytische Chemie*, 22(1), 366–382.
- Laban, P., Metternicht, G., & Davies, J. (2018). Bioversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas. In *Bioversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas*. IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.03.es>

- Lefèvre, C., Rekik, F., V, A., & Wiese, L. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo*.
www.fao.org/publications
- López, A. (2006). *ESTIMACIÓN DE FACTORES DE EXPANSIÓN DE VOLUMEN A BIOMASA Y CARBONO EN ECOSISTEMAS FORESTALES EN CHIHUAHUA, MÉXICO*. Universidad Autónoma Nueva León.
- Lozano, Z., Rivero, C., Bravo, C., & Hernández, R. (2011). Soil organic matter fractions on no-tillage and cover crops systems | Fracciones de la materia organica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de cobertura. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 28(1), 35–56.
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutricion Vegetal*, 8(1), 68–96.
<https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000100006>
- Méndez, J. C., & Bertsch, F. (2012). *Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica*. Asociación Costarricense de Ciencia del Suelo.
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). *Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas* (Mundi Pren, Vol. 1).
- Novotny, E. H., Hayes, M. H. B., Madari, B. E., Bonagamba, T. J., Azevedo, E. R. de, Souza, A. A. de, Song, G., Nogueira, C. M., & Mangrich, A. S. (2009). Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon region for the utilisation of charcoal for soil amendment. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 20(6), 1003–1010.
<https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000600002>
- Olmo, M. (2016). *Efectos del biochar sobre el suelo , las características de la raíz y la producción vegetal*. Universidad de Cordoba.
- Phillips, O. L., Malhi, Y., Higuchi, N., Laurance, W. F., Núñez, P. V., Vásquez, R. M., Laurance, S. G., Ferreira, L. V., Stern, M., Brown, S., & Grace, J. (1998). Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long- term plots. *Science*, 282(5388), 439–442. <https://doi.org/10.1126/science.282.5388.439>
- Romero, M., Santamiarúa, D., & Zafra, C. (2009). Bioingeniería y suelo: Abundancia microbiológica, pH y conductividad electrica bajo tres estratos de erosión. *Umbral Científico*, 15(1), 67–74.

- Sánchez Espinosa, J. A., & Rubiano Sanabria, Y. (2015). PROCESOS ESPECÍFICOS DE FORMACIÓN EN ANDISOLES, ALFISOLES Y ULTISOLES EN COLOMBIA. *Revista EIA, SPE2*, 85–97
- Saatchi, S., Houghton, R. A., Dos Santos Alvalá, R. C., Soares, J. V., & Yu, Y. (2007). Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, 13(4), 816–837. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01323.x>
- Saatchi, S., Marlier, M., Chazdon, R. L., Clark, D. B., & Russell, A. E. (2011a). Impact of spatial variability of tropical forest structure on radar estimation of aboveground biomass. *Remote Sensing of Environment*, 115(11), 2836–2849. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.015>
- Saatchi, S., Marlier, M., Chazdon, R. L., Clark, D. B., & Russell, A. E. (2011b). Impact of spatial variability of tropical forest structure on radar estimation of aboveground biomass. *Remote Sensing of Environment*, 115(11), 2836–2849. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.015>
- Schulte, E.E. and Hopkins, B.G. (1996) Estimation of Organic Matter by Weight Loss-on-Ignition. In: Magdoff, F.R., et al., Eds., *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*, SSSA Special Publication Number 46, SSSA, Madison, 21-31.
- Soto-Mora, E., Hernández-Vázquez, M., Luna-Zendejas, H., Ortiz-Ortíz, E., & García-Gallegos, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(5), 8.
- Thomas, S. C., & Gale, N. (2015a). Biochar and forest restoration: a review and meta-analysis of tree growth responses. *New Forests*, 46(5–6), 931–946. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9491-7>
- Thomas, S. C., & Gale, N. (2015b). Biochar and forest restoration: a review and meta-analysis of tree growth responses. *New Forests*, 46(5–6), 931–946. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9491-7>
- Torres, B., Vasseur, L., López, R., Lozano, P., García, Y., Arteaga, Y., Bravo, C., Barba, C., & García, A. (2020). Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: case study in an Evergreen Andean Amazon forest, Ecuador. *Agroforestry Systems*, 94(4), 1235–1245. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-00342-8>

- Universidad Estatal Amazónica (UEA)*. (2021). https://www.uea.edu.ec/?page_id=2376
- Van Noordwijk, M., Cerri, C., Woomer, P. L., Nugroho, K., & Bernoux, M. (1997). Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma*, 79(1–4), 187–225. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00042-6)
- Vélez, A., & Verona, J. (2018). “*INFLUENCIA DE ENMIENDA ORGÁNICA ‘INKAN NEGRO’ A PARTIR DE BIOCARBÓN Y GALLINASA, EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE.*” Universidad Científica del Sur, Perú.
- Vijay, V., Shreedhar, S., Adlak, K., Payyanad, S., Sreedharan, V., Gopi, G., Sophia van der Voort, T., Malarvizhi, P., Yi, S., Gebert, J., & Aravind, P. V. (2021). Review of Large-Scale Biochar Field-Trials for Soil Amendment and the Observed Influences on Crop Yield Variations. *Frontiers in Energy Research*, 9(August), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.710766>
- Wang, D., Jiang, P., Zhang, H., & Yuan, W. (2020). Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review. *Science of the Total Environment*, 723. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137775>
- Weil, R., & Brady, N. (2017). Soil Phosphorus and Potassium. In *The Nature and Properties of soils* (Vol. 19, pp. 643–695). Pearson Education.
- Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C. and Chave, J. (2009) Global Wood Density Database. Dryad Identifier. <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de la Parcela Baja, considerando los tratamientos en el Suelo Aluvial (B1, B2, C), en consideración a la Biomasa aérea y Carbono Orgánico Total.

| Nº | Código | Tipo de Parcela | Tipo de Biocarbón | Parc-Bioc | BA (Mg.ha ⁻¹) | BA (Mg.plot ⁻¹) | COT (Mg.ha ⁻¹) | COT (Mg.plot ⁻¹) | BA_COT (Mg.ha ⁻¹) |
|----|----------|-----------------|-------------------|-----------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | PBB1T2S1 | PB | C | PBC | 4,65 | 0,05 | 23,93 | 0,24 | 28,58 |
| 2 | PBB1T2B2 | PB | B2 | PBB2 | 7,51 | 0,08 | 16,71 | 0,17 | 24,22 |
| 3 | PBB2T1S1 | PB | C | PBC | 12,87 | 0,13 | 22,92 | 0,23 | 35,79 |
| 4 | PBB2T1B2 | PB | B2 | PBB2 | 23,49 | 0,23 | 19,26 | 0,19 | 42,76 |
| 5 | PBB3T3S1 | PB | C | PBC | 4,69 | 0,05 | 20,20 | 0,20 | 24,89 |
| 6 | PBB3T3B2 | PB | B2 | PBB2 | 2,83 | 0,03 | 23,69 | 0,24 | 26,53 |
| 7 | PBB3T3S2 | PB | C | PBC | 4,15 | 0,04 | 29,51 | 0,30 | 33,66 |
| 8 | PBB3T3B1 | PB | B1 | PBB1 | 8,20 | 0,08 | 30,28 | 0,30 | 38,48 |
| 9 | PBB2T1S2 | PB | C | PBC | 7,96 | 0,08 | 25,79 | 0,26 | 33,75 |
| 10 | PBB2T1B1 | PB | B1 | PBB1 | 20,33 | 0,20 | 21,67 | 0,22 | 42,00 |
| 11 | PBB1T2S2 | PB | C | PBC | 11,62 | 0,12 | 27,75 | 0,28 | 39,38 |
| 12 | PBB1T2B1 | PB | B1 | PBB1 | 7,95 | 0,08 | 24,59 | 0,25 | 32,54 |
| 13 | PBB1T3S1 | PB | C | PBC | 17,71 | 0,18 | 20,46 | 0,20 | 38,17 |
| 14 | PBB1T3B2 | PB | B2 | PBB2 | 10,11 | 0,10 | 25,67 | 0,26 | 35,78 |
| 15 | PBB2T2S1 | PB | C | PBC | 15,20 | 0,15 | 19,00 | 0,19 | 34,20 |
| 16 | PBB2T2B2 | PB | B2 | PBB2 | 5,21 | 0,05 | 33,58 | 0,34 | 38,79 |
| 17 | PBB3T1S1 | PB | C | PBC | 10,10 | 0,10 | 25,86 | 0,26 | 35,96 |
| 18 | PBB3T1B2 | PB | B2 | PBB2 | 8,40 | 0,08 | 21,75 | 0,22 | 30,15 |
| 19 | PBB3T1S2 | PB | C | PBC | 7,90 | 0,08 | 31,66 | 0,32 | 39,56 |
| 20 | PBB3T1B1 | PB | B1 | PBB1 | 10,27 | 0,10 | 21,45 | 0,21 | 31,72 |
| 21 | PBB2T2S2 | PB | C | PBC | 6,40 | 0,06 | 24,47 | 0,24 | 30,87 |
| 22 | PBB2T2B1 | PB | B1 | PBB1 | 5,53 | 0,06 | 23,22 | 0,23 | 28,75 |
| 23 | PBB1T3S2 | PB | C | PBC | 8,31 | 0,08 | 40,46 | 0,40 | 48,76 |
| 24 | PBB1T3B1 | PB | B1 | PBB1 | 5,46 | 0,05 | 20,96 | 0,21 | 26,42 |

| | | | | | | | | | |
|----|----------|----|----|------|-------|------|-------|------|-------|
| 25 | PBB1T1S1 | PB | C | PBC | 3,01 | 0,03 | 25,29 | 0,25 | 28,30 |
| 26 | PBB1T1B2 | PB | B2 | PBB2 | 4,81 | 0,05 | 24,81 | 0,25 | 29,62 |
| 27 | PBB2T3S1 | PB | C | PBC | 9,34 | 0,09 | 22,88 | 0,23 | 32,22 |
| 28 | PBB2T3B2 | PB | B2 | PBB2 | 8,16 | 0,08 | 34,39 | 0,34 | 42,55 |
| 29 | PBB3T2S1 | PB | C | PBC | 8,15 | 0,08 | 32,77 | 0,33 | 40,92 |
| 30 | PBB3T2B2 | PB | B2 | PBB2 | 3,14 | 0,03 | 27,51 | 0,28 | 30,65 |
| 31 | PBB3T2S2 | PB | C | PBC | 5,86 | 0,06 | 32,11 | 0,32 | 37,97 |
| 32 | PBB3T2B1 | PB | B1 | PBB1 | 6,71 | 0,07 | 26,41 | 0,26 | 33,13 |
| 33 | PBB2T3S2 | PB | C | PBC | 6,63 | 0,07 | 28,65 | 0,29 | 35,28 |
| 34 | PBB2T3B1 | PB | B1 | PBB1 | 15,90 | 0,16 | 25,04 | 0,25 | 40,94 |
| 35 | PBB1T1S2 | PB | C | PBC | 2,70 | 0,03 | 26,97 | 0,27 | 29,67 |
| 36 | PBB1T1B1 | PB | B1 | PBB1 | 7,47 | 0,07 | 25,68 | 0,26 | 33,15 |

Anexo 2

Matriz de la Parcela Alta, considerando los tratamientos en el Suelo Coluvial (B1, B2, C), en consideración a la Biomasa aérea y Carbono Orgánico Total.

| Nº | Codigo | Tipo de suelo | Tipo de Biocarbón | Parc-Bioc | BA (Mg.ha ⁻¹) | BA (Mg.plot ⁻¹) | COT (Mg.ha ⁻¹) | COT (Mg.plot ⁻¹) | BA_COT (Mg.ha ⁻¹) |
|----|----------|---------------|-------------------|-----------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | PAB1T1B1 | PA | B1 | PAB1 | 2,31 | 0,02 | 21,72 | 0,22 | 24,03 |
| 2 | PAB1T1S2 | PA | C | PAC | 7,07 | 0,07 | 34,68 | 0,35 | 41,75 |
| 3 | PAB2T3B1 | PA | B1 | PAB1 | 11,32 | 0,11 | 17,83 | 0,18 | 29,15 |
| 4 | PAB2T3S2 | PA | C | PAC | NA | NA | 37,10 | 0,37 | NA |
| 5 | PAB3T2B1 | PA | B1 | PAB1 | 26,29 | 0,26 | 23,82 | 0,24 | 50,11 |
| 6 | PAB3T2S2 | PA | C | PAC | 0,75 | 0,01 | 32,29 | 0,32 | 33,04 |
| 7 | PAB3T2B2 | PA | B2 | PAB2 | 4,08 | 0,06 | 30,80 | 0,31 | 34,87 |
| 8 | PAB3T2S1 | PA | C | PAC | NA | NA | 24,26 | 0,24 | NA |
| 9 | PAB2T3B2 | PA | B2 | PAB2 | NA | NA | 20,53 | 0,21 | NA |
| 10 | PAB2T3S1 | PA | C | PAC | 2,93 | 0,03 | 23,55 | 0,24 | 26,49 |
| 11 | PAB1T1B2 | PA | B2 | PAB2 | 11,42 | 0,11 | 24,02 | 0,24 | 35,44 |
| 12 | PAB1T1S1 | PA | C | PAC | 4,44 | 0,04 | 27,33 | 0,27 | 31,77 |

| | | | | | | | | | |
|----|----------|----|----|------|-------|------|-------|------|-------|
| 13 | PAB1T3B1 | PA | B1 | PAB1 | 4,06 | 0,04 | 21,11 | 0,21 | 25,17 |
| 14 | PAB1T3S2 | PA | C | PAC | 15,58 | 0,16 | 30,68 | 0,31 | 46,26 |
| 15 | PAB2T2B1 | PA | B1 | PAB1 | 3,91 | 0,04 | 24,09 | 0,24 | 28,01 |
| 16 | PAB2T2S2 | PA | C | PAC | 7,98 | 0,08 | 27,81 | 0,28 | 35,80 |
| 17 | PAB3T1B1 | PA | B1 | PAB1 | 3,24 | 0,03 | 30,08 | 0,30 | 33,32 |
| 18 | PAB3T1S2 | PA | C | PAC | 7,89 | 0,08 | 21,34 | 0,21 | 29,23 |
| 19 | PAB3T1B2 | PA | B2 | PAB2 | 17,25 | 0,17 | 27,58 | 0,28 | 44,82 |
| 20 | PAB3T1S1 | PA | C | PAC | 9,10 | 0,09 | 26,73 | 0,27 | 35,83 |
| 21 | PAB2T2B2 | PA | B2 | PAB2 | 9,19 | 0,09 | 25,14 | 0,25 | 34,33 |
| 22 | PAB2T2S1 | PA | C | PAC | 4,98 | 0,05 | 22,90 | 0,23 | 27,87 |
| 23 | PAB1T3B2 | PA | B2 | PAB2 | 25,14 | 0,25 | 28,50 | 0,29 | 53,64 |
| 24 | PAB1T3S1 | PA | C | PAC | NA | NA | 37,77 | 0,38 | NA |
| 25 | PAB1T2B1 | PA | B1 | PAB1 | NA | NA | 29,64 | 0,30 | NA |
| 26 | PAB1T2S2 | PA | C | PAC | 10,55 | 0,11 | 27,51 | 0,28 | 38,05 |
| 27 | PAB2T1B1 | PA | B1 | PAB1 | 5,79 | 0,06 | 31,98 | 0,32 | 37,78 |
| 28 | PAB2T1S2 | PA | C | PAC | 16,58 | 0,17 | 22,37 | 0,22 | 38,95 |
| 29 | PAB3T3B1 | PA | B1 | PAB1 | 24,03 | 0,24 | 22,73 | 0,23 | 46,76 |
| 30 | PAB3T3S2 | PA | C | PAC | 7,43 | 0,07 | 28,14 | 0,28 | 35,57 |
| 31 | PAB3T3B2 | PA | B2 | PAB2 | 1,48 | 0,01 | 25,08 | 0,25 | 26,56 |
| 32 | PAB3T3S1 | PA | C | PAC | 3,45 | 0,03 | 29,83 | 0,30 | 33,28 |
| 33 | PAB2T1B2 | PA | B2 | PAB2 | NA | NA | 24,88 | 0,25 | NA |
| 34 | PAB2T1S1 | PA | C | PAC | 7,55 | 0,08 | 29,86 | 0,30 | 37,41 |
| 35 | PAB1T2B2 | PA | B2 | PAB2 | 11,28 | 0,11 | 33,74 | 0,34 | 45,02 |
| 36 | PAB1T2S1 | PA | C | PAC | 13,68 | 0,14 | 36,75 | 0,37 | 50,43 |

Anexo 3*Matriz de la Parcela Baja, considerando los tratamientos en el Suelo Aluvial y parámetros químicos del suelo (B1, B2, C)*

| Nº | Código | Tipo de suelo | Tipo de Biocarbón | Parc-Bioc | PH | AL+H | AL ⁺³ | NT | P | M.O % | CO % |
|----|----------|---------------|-------------------|-----------|------|------|------------------|------|------|-------|--------|
| 1 | PBB1T2S1 | PB | C | PBC | 4,65 | 1,1 | 0,6 | 0,58 | 6,3 | 12,5 | 7,25 |
| 2 | PBB1T2B2 | PB | B2 | PBB2 | 4,09 | 1,6 | 0,4 | 0,44 | 4,3 | 11,3 | 6,554 |
| 3 | PBB2T1S1 | PB | C | PBC | 4,55 | 2,1 | 0,9 | 0,54 | 7,2 | 15,2 | 8,816 |
| 4 | PBB2T1B2 | PB | B2 | PBB2 | 4,71 | 2,2 | 0,7 | 0,74 | 6 | 16,2 | 9,396 |
| 5 | PBB3T3S1 | PB | C | PBC | 4,74 | 1,5 | 0,6 | 0,46 | 8 | 12,9 | 7,482 |
| 6 | PBB3T3B2 | PB | B2 | PBB2 | 4,83 | 1 | 0,4 | 0,36 | 4,9 | 9,5 | 5,51 |
| 7 | PBB3T3S2 | PB | C | PBC | 4,84 | 1,7 | 0,5 | 0,65 | 9,2 | 18,5 | 10,73 |
| 8 | PBB3T3B1 | PB | B1 | PBB1 | 4,74 | 2,6 | 0,8 | 0,95 | 12,6 | 23,2 | 13,456 |
| 9 | PBB2T1S2 | PB | C | PBC | 4,88 | 2,7 | 1,5 | 0,63 | 9,6 | 15,6 | 9,048 |
| 10 | PBB2T1B1 | PB | B1 | PBB1 | 4,74 | 1,6 | 0,7 | 0,66 | 7,2 | 15,9 | 9,222 |
| 11 | PBB1T2S2 | PB | C | PBC | 4,48 | 1,6 | 0,8 | 0,56 | 4,3 | 17,4 | 10,092 |
| 12 | PBB1T2B1 | PB | B1 | PBB1 | 4,72 | 1,4 | 0,6 | 0,53 | 5,6 | 13,9 | 8,062 |
| 13 | PBB1T3S1 | PB | C | PBC | 4,66 | 1,7 | 0,9 | 0,60 | 6,2 | 16,8 | 9,744 |
| 14 | PBB1T3B2 | PB | B2 | PBB2 | 4,68 | 1,5 | 0,5 | 0,59 | 6 | 17,7 | 10,266 |
| 15 | PBB2T2S1 | PB | C | PBC | 4,62 | 0,9 | 0,3 | 0,4 | 5,8 | 12,6 | 7,308 |
| 16 | PBB2T2B2 | PB | B2 | PBB2 | 4,7 | 1,8 | 0,7 | 0,66 | 6,9 | 19,3 | 11,194 |
| 17 | PBB3T1S1 | PB | C | PBC | 4,82 | 1,5 | 0,6 | 0,62 | 8,1 | 18,2 | 10,556 |
| 18 | PBB3T1B2 | PB | B2 | PBB2 | 4,78 | 1,3 | 0,6 | 0,53 | 5,8 | 12,5 | 7,25 |
| 19 | PBB3T1S2 | PB | C | PBC | 4,75 | 2,1 | 0,6 | 0,75 | 6,9 | 20,6 | 11,948 |
| 20 | PBB3T1B1 | PB | B1 | PBB1 | 4,78 | 1,7 | 0,9 | 0,63 | 7,4 | 13,7 | 7,946 |
| 21 | PBB2T2S2 | PB | C | PBC | 5,34 | 1,6 | 0,5 | 0,50 | 7,2 | 14,3 | 8,294 |
| 22 | PBB2T2B1 | PB | B1 | PBB1 | 4,72 | 3,3 | 1,3 | 0,73 | 11,2 | 15,4 | 8,932 |
| 23 | PBB1T3S2 | PB | C | PBC | 5,07 | 2,6 | 1 | 0,83 | 9,4 | 22,5 | 13,05 |
| 24 | PBB1T3B1 | PB | B1 | PBB1 | 4,45 | 1,4 | 0,5 | 0,49 | 4,2 | 13,9 | 8,062 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|----------|----|----|------|------|-----|-----|------|-----|------|--------|
| 25 | PBB1T1S1 | PB | C | PBC | 4,32 | 2,2 | 1 | 0,6 | 5,6 | 17,8 | 10,324 |
| 26 | PBB1T1B2 | PB | B2 | PBB2 | 4,71 | 1,2 | 0,5 | 0,50 | 3,6 | 14,5 | 8,41 |
| 27 | PBB2T3S1 | PB | C | PBC | 5,91 | 0,9 | 0,5 | 0,44 | 5,2 | 11,6 | 6,728 |
| 28 | PBB2T3B2 | PB | B2 | PBB2 | 4,71 | 1,7 | 0,8 | 0,63 | 5,1 | 20,1 | 11,658 |
| 29 | PBB3T2S1 | PB | C | PBC | 4,72 | 1,5 | 0,5 | 0,72 | 8,1 | 22,6 | 13,108 |
| 30 | PBB3T2B2 | PB | B2 | PBB2 | 4,68 | 1,9 | 0,9 | 0,75 | 9,2 | 18,6 | 10,788 |
| 31 | PBB3T2S2 | PB | C | PBC | 4,54 | 1,6 | 0,6 | 0,56 | 4,9 | 17,3 | 10,034 |
| 32 | PBB3T2B1 | PB | B1 | PBB1 | 4,7 | 1,9 | 0,6 | 0,71 | 6,7 | 19,8 | 11,484 |
| 33 | PBB2T3S2 | PB | C | PBC | 4,69 | 1,7 | 0,7 | 0,65 | 6,5 | 19 | 11,02 |
| 34 | PBB2T3B1 | PB | B1 | PBB1 | 5,44 | 1,1 | 0,5 | 0,57 | 4,7 | 15,7 | 9,106 |
| 35 | PBB1T1S2 | PB | C | PBC | 4,84 | 1,6 | 0,8 | 0,59 | 6,7 | 15 | 8,7 |
| 36 | PBB1T1B1 | PB | B1 | PBB1 | 4,25 | 1,6 | 0,5 | 0,52 | 4,9 | 16,1 | 9,338 |

Anexo 4

Matriz Parcela Alta, considerando los tratamientos en el Suelo Coluvial y parámetros químicos del suelo (B1, B2, C).

| N° | Código | Tipo de suelo | Tipo de Biocarbón | Parc-Bioc | PH | AL+H | AL ⁺³ | NT | P | M.O % | CO % |
|----|----------|---------------|-------------------|-----------|------|------|------------------|------|------|-------|--------|
| 1 | PAB1T1B1 | PA | B1 | PAB1 | 4,69 | 1,6 | 0,5 | 0,77 | 5,6 | 20,8 | 12,064 |
| 2 | PAB1T1S2 | PA | C | PAC | 4,33 | 2,4 | 0,4 | 1,02 | 11,2 | 26 | 15,08 |
| 3 | PAB2T3B1 | PA | B1 | PAB1 | 4,18 | 2,7 | 1,3 | 1,07 | 9,4 | 21,2 | 12,296 |
| 4 | PAB2T3S2 | PA | C | PAC | 4,35 | 2,8 | 0,3 | 1,24 | 18,8 | 31,2 | 18,096 |
| 5 | PAB3T2B1 | PA | B1 | PAB1 | 4,94 | 1,5 | 0,5 | 0,93 | 6,7 | 22,2 | 12,876 |
| 6 | PAB3T2S2 | PA | C | PAC | 4,49 | 3 | 1,4 | 0,27 | 9,9 | 29,3 | 16,994 |
| 7 | PAB3T2B2 | PA | B2 | PAB2 | 4,4 | 3,1 | 1,6 | 0,36 | 7,4 | 25,9 | 15,022 |
| 8 | PAB3T2S1 | PA | C | PAC | 4,66 | 2,1 | 0,6 | 0,98 | 9 | 23,9 | 13,862 |
| 9 | PAB2T3B2 | PA | B2 | PAB2 | 4,44 | 1,8 | 0,7 | 0,89 | 7,4 | 17,7 | 10,266 |
| 10 | PAB2T3S1 | PA | C | PAC | 4,39 | 1,6 | 0,5 | 1,14 | 8 | 26,2 | 15,196 |
| 11 | PAB1T1B2 | PA | B2 | PAB2 | 4,25 | 1,7 | 0,5 | 0,92 | 8,1 | 25,1 | 14,558 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|----------|----|----|------|------|-----|-----|------|------|------|--------|
| 12 | PAB1T1S1 | PA | C | PAC | 4,22 | 1,9 | 0,6 | 1,01 | 9,8 | 24,8 | 14,384 |
| 13 | PAB1T3B1 | PA | B1 | PAB1 | 4,27 | 1,5 | 0,5 | 0,91 | 6,1 | 20,8 | 12,064 |
| 14 | PAB1T3S2 | PA | C | PAC | 4,44 | 2,1 | 0,5 | 1,02 | 8,3 | 25,8 | 14,964 |
| 15 | PAB2T2B1 | PA | B1 | PAB1 | 4,45 | 2,1 | 0,7 | 1,04 | 8,8 | 26,8 | 15,544 |
| 16 | PAB2T2S2 | PA | C | PAC | 4,07 | 2,5 | 0,7 | 1,05 | 8,5 | 27,4 | 15,892 |
| 17 | PAB3T1B1 | PA | B1 | PAB1 | 4,28 | 2,4 | 0,6 | 1,07 | 12,5 | 24,7 | 14,326 |
| 18 | PAB3T1S2 | PA | C | PAC | 4,66 | 2,7 | 1,9 | 0,81 | 5,1 | 22,3 | 12,934 |
| 19 | PAB3T1B2 | PA | B2 | PAB2 | 4,54 | 0,9 | 0,5 | 0,21 | 6,3 | 25,7 | 14,906 |
| 20 | PAB3T1S1 | PA | C | PAC | 4,47 | 2,7 | 0,6 | 1,06 | 11,9 | 28,8 | 16,704 |
| 21 | PAB2T2B2 | PA | B2 | PAB2 | 4,2 | 2,6 | 0,6 | 1,25 | 9,9 | 28,9 | 16,762 |
| 22 | PAB2T2S1 | PA | C | PAC | 4,41 | 2 | 0,4 | 1,12 | 8,3 | 28,2 | 16,356 |
| 23 | PAB1T3B2 | PA | B2 | PAB2 | 4,66 | 1,7 | 0,7 | 0,94 | 9,2 | 23,4 | 13,572 |
| 24 | PAB1T3S1 | PA | C | PAC | 4,11 | 2,3 | 0,8 | 0,96 | 10,7 | 29,6 | 17,168 |
| 25 | PAB1T2B1 | PA | B1 | PAB1 | 3,97 | 1,8 | 0,5 | 0,88 | 5,4 | 26,9 | 15,602 |
| 26 | PAB1T2S2 | PA | C | PAC | 4,47 | 2,5 | 0,7 | 0,51 | 9,9 | 27,1 | 15,718 |
| 27 | PAB2T1B1 | PA | B1 | PAB1 | 4,27 | 2,3 | 0,6 | 1,16 | 9,6 | 26,9 | 15,602 |
| 28 | PAB2T1S2 | PA | C | PAC | 4,18 | 2,5 | 0,2 | 1,17 | 8,3 | 26,6 | 15,428 |
| 29 | PAB3T3B1 | PA | B1 | PAB1 | 4,38 | 2,8 | 0,8 | 1,11 | 10,7 | 20,1 | 11,658 |
| 30 | PAB3T3S2 | PA | C | PAC | 4,58 | 2,4 | 1,6 | 1,15 | 9,4 | 29,4 | 17,052 |
| 31 | PAB3T3B2 | PA | B2 | PAB2 | 4,69 | 1,7 | 0,7 | 0,43 | 7,6 | 27,9 | 16,182 |
| 32 | PAB3T3S1 | PA | C | PAC | 4,32 | 2,6 | 0,5 | 1,24 | 12,6 | 27,8 | 16,124 |
| 33 | PAB2T1B2 | PA | B2 | PAB2 | 4,14 | 2,3 | 0,5 | 1,13 | 10,3 | 26 | 15,08 |
| 34 | PAB2T1S1 | PA | C | PAC | 4,34 | 2,1 | 0,5 | 1,08 | 8,1 | 26,4 | 15,312 |
| 35 | PAB1T2B2 | PA | B2 | PAB2 | 4,28 | 2,5 | 0,7 | 0,61 | 10,1 | 27,7 | 16,066 |
| 36 | PAB1T2S1 | PA | C | PAC | 4,29 | 2,6 | 0,6 | 1,1 | 9,4 | 35,2 | 20,416 |

Anexo 5

Correlaciones de Spearman entre Biomasa aérea y Carbono Orgánico Total del suelo-PA

| | | Ba (Mg.ha ⁻¹) | Ba (Mg.plot ⁻¹) | Cot (Mg.ha ⁻¹) | Cot (Mg.plot ⁻¹) | Ba_Cot (Mg.ha ⁻¹) |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Rho de Spearman | | 1,000 | ,995** | -0,045 | -0,038 | ,798** |
| | Ba (Mg.ha⁻¹) | | 0,000 | 0,813 | 0,841 | 0,000 |
| | | N | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Ba (Mg.plot⁻¹) | | | 1,000 | -0,026 | -0,017 | ,812** |
| | | | | 0,893 | 0,927 | 0,000 |
| | | | | 30 | 30 | 30 |
| Cot (Mg.ha⁻¹) | | | | 1,000 | ,997** | ,496** |
| | | | | | 0,000 | 0,005 |
| | | | | | 36 | 30 |
| Cot (Mg.plot⁻¹) | | | | | 1,000 | ,507** |
| | | | | | | 0,004 |
| | | | | | | 30 |
| Ba_Cot (Mg.ha⁻¹) | | | | | | 1,000 |
| | | | | | | |
| | | N | 30 | 30 | 30 | 30 |

****.** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

a. Tipo de Parcela = PA

Anexo 6

Correlaciones de Spearman entre Biomasa aérea y Carbono Orgánico Total del suelo-PB

| | | Ba (Mg.ha ⁻¹) | Ba (Mg.plot ⁻¹) | Cot (Mg.ha ⁻¹) | Cot (Mg.plot ⁻¹) | Ba_Cot (Mg.ha ⁻¹) | |
|-----------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------|
| Rho de Spearman | Ba (Mg.ha⁻¹) | Coeficiente de correlación | 1,000 | ,990** | -0,252 | -0,257 | ,648** |
| | | Sig. (bilateral) | | 0,000 | 0,138 | 0,131 | 0,000 |
| | | N | | 36 | 36 | 36 | 36 |
| | Ba (Mg.plot⁻¹) | Coeficiente de correlación | | 1,000 | -0,277 | -0,280 | ,628** |
| | | Sig. (bilateral) | | | 0,102 | 0,098 | 0,000 |
| | | N | | | 36 | 36 | 36 |
| | Cot (Mg.ha⁻¹) | Coeficiente de correlación | | | 1,000 | ,997** | ,469** |
| | | Sig. (bilateral) | | | | 0,000 | 0,004 |
| | | N | | | | 36 | 36 |
| | Cot (Mg.plot⁻¹) | Coeficiente de correlación | | | | 1,000 | ,465** |
| | | Sig. (bilateral) | | | | | 0,004 |
| | | N | | | | | 36 |
| | Ba_Cot (Mg.ha⁻¹) | Coeficiente de correlación | | | | | 1,000 |
| | | Sig. (bilateral) | | | | | |
| | | N | | | | | 36 |

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

a. Tipo de Parcela = PB

Anexo 7

Correlaciones de Spearman de las Propiedades Químicas del suelo-PA

| | | pH | Al+H | Al ³⁺ | NT | P | MO | COT |
|----------------------------|----------------------------|-------|--------|------------------|--------|--------|---------|--------|
| Coeficiente de correlación | | 1,000 | -0,195 | 0,181 | -,387* | -0,281 | -0,177 | -0,177 |
| pH | Sig. (bilateral) | | 0,256 | 0,291 | 0,020 | 0,097 | 0,301 | 0,301 |
| | N | | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| | Coeficiente de correlación | 1,000 | ,403* | 0,275 | ,574** | ,382* | ,382* | |
| Al+H | Sig. (bilateral) | | | 0,015 | 0,105 | 0,000 | 0,022 | 0,022 |
| | N | | | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| | Coeficiente de correlación | | 1,000 | -,326 | 0,061 | 0,000 | 0,000 | |
| Al+3 | Sig. (bilateral) | | | | 0,052 | 0,724 | 0,998 | 0,998 |
| | N | | | | 36 | 36 | 36 | 36 |
| | Coeficiente de correlación | | | 1,000 | ,480** | 0,301 | 0,301 | |
| Rho de Spearman NT | Sig. (bilateral) | | | | | 0,003 | 0,074 | 0,074 |
| | N | | | | | 36 | 36 | 36 |
| | Coeficiente de correlación | | | | 1,000 | ,434** | ,434** | |
| P | Sig. (bilateral) | | | | | | 0,008 | 0,008 |
| | N | | | | | | 36 | 36 |
| | Coeficiente de correlación | | | | | 1,000 | 1,000** | |
| MO | Sig. (bilateral) | | | | | | | |
| | N | | | | | | | 36 |
| | Coeficiente de correlación | | | | | | 1,000 | |
| COT | Sig. (bilateral) | | | | | | | |
| | N | | | | | | | 36 |

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

a. Tipo de Parcela = PA

Anexo 8

Correlaciones de Spearman de las Propiedades Químicas del suelo-PB

| | | pH | Al+H | Al ³⁺ | NT | P | MO | COT | |
|-----------------|------------------------|-----------------------------|-------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Rho de Spearman | pH | Coefficiente de correlación | 1,000 | -0,050 | 0,012 | 0,162 | ,422* | -0,036 | -0,036 |
| | | Sig. (bilateral) | 0,774 | 0,946 | 0,347 | 0,010 | 0,835 | 0,835 | |
| | | N | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | |
| | Al+H | Coefficiente de correlación | 1,000 | ,762** | ,745** | ,570** | ,594** | ,594** | |
| | | Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| | | N | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | |
| | Al³⁺ | Coefficiente de correlación | 1,000 | ,601** | ,495** | ,367* | ,367* | | |
| | | Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,002 | 0,028 | 0,028 | | | |
| | | N | 36 | 36 | 36 | 36 | | | |
| | NT | Coefficiente de correlación | 1,000 | ,662** | ,800** | ,800** | | | |
| | | Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | | | |
| | | N | 36 | 36 | 36 | | | | |
| | P | Coefficiente de correlación | 1,000 | ,394* | ,394* | | | | |
| | | Sig. (bilateral) | 0,017 | 0,017 | | | | | |
| | | N | 36 | 36 | | | | | |
| | MO | Coefficiente de correlación | 1,000 | 1,000** | | | | | |
| | | Sig. (bilateral) | | | | | | | |
| | | N | | | | | | 36 | |
| | COT | Coefficiente de correlación | | | | | | 1,000 | |
| | | Sig. (bilateral) | | | | | | | |
| | | N | | | | | | 36 | |

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

a. Tipo de Parcela = PB

Anexo 9

Medidas de tendencia central y dispersión, en consideración a la Biomasa aérea para el suelo Coluvial y Aluvial en referencia a los tratamientos (B1, B2 y C).

| | BA (Mg,ha ⁻¹) | | | | | |
|----------------|---------------------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|
| | B1 | | B2 | | C | |
| | $\bar{X} \pm SD$ | Med | $\bar{X} \pm SD$ | Med | $\bar{X} \pm SD$ | Med |
| Válidos | 8 | | 7 | | 15 | |

| Perdidos | 1 | | 2 | | 3 | |
|----------------------|--------------|------|--------------|-------|-------------|------|
| Coluvial (PA) | 10,12 ± 9,70 | 4,93 | 11,41 ± 7,96 | 11,28 | 7,99 ± 4,58 | 7,55 |
| Válidos | 9 | | 9 | | 18 | |
| Perdidos | 0 | | 0 | | 0 | |
| Aluvial (PB) | 9,75 ± 5,08 | 7,95 | 8,18 ± 6,25 | 7,51 | 8,18 ± 4,11 | 7,93 |

Nota:

X̄: Media

Med: Mediana

SD: Desviación estándar

B1: Enmienda que corresponde al carbón elaborado en caldera, con condiciones controladas,

B2: Enmienda de carbón que fue comprado y los comerciantes lo elaboraron de manera tradicional.

C: Control

Anexo 10

Medidas de tendencia central y dispersión, en consideración al Carbono Orgánico Total para el suelo Coluvial y Aluvial en referencia a los tratamientos (B1, B2 y C).

| COT (Mg.ha⁻¹) | | | | | | |
|---------------------------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | B1 | | B2 | | C | |
| | X̄ ± SD | Med | X̄ ± SD | Med | X̄ ± SD | Med |
| Válidos | 9 | | 9 | | 18 | |
| Perdidos | 0 | | 0 | | 0 | |
| Coluvial (PA) | 24,78 ± 4,75 | 23,82 | 26,70 ± 3,94 | 25,14 | 28,93 ± 5,16 | 27,96 |
| Válidos | 9 | | 9 | | 18 | |
| Perdidos | 0 | | 0 | | 0 | |
| Aluvial (PB) | 24,37 ± 2,93 | 24,95 | 25,26 ± 5,94 | 24,81 | 26,70 ± 5,31 | 25,83 |

Nota:

X̄: Media

Med: Mediana

SD: Desviación estándar

B1: Enmienda que corresponde al carbón elaborado en caldera, con condiciones controladas,

B2: Enmienda de carbón que fue comprado y los comerciantes lo elaboraron de manera tradicional.

C: Control



Anexo 11
Recolección de muestras de suelo, tanto en la Parcela Alta y Baja



Anexo 12
Medición del DAP para la estimación de Biomasa aérea



Anexo 13
Secado e etiquetado de muestras de suelo recolectadas en campo



Anexo 14
Ingreso de muestras de suelo al laboratorio de suelos (UEA)



Anexo 15
Análisis de las muestras en el laboratorio de suelos (UEA)