



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOCARBÓN PRODUCIDO  
A TRAVÉS DE RESTOS DE PODAS DE TRES ESPECIES  
FORESTALES EN FUNDACION “LA IGUANA” UBICADO EN EL  
CANTÓN GUAYAQUIL PROVINCIA DEL GUAYAS”.**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentada para optar al grado académico de:

**INGENIERO FORESTAL**

**AUTORA:**

**ÁLVAREZ VARGAS SILVANA ELIZABETH**

Riobamba - Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL BIOCARBÓN PRODUCIDO  
A TRAVÉS DE RESTOS DE PODAS DE TRES ESPECIES  
FORESTALES EN FUNDACION “LA IGUANA” UBICADO EN EL  
CANTÓN GUAYAQUIL PROVINCIA DEL GUAYAS”.**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentada para optar al grado académico de:

**INGENIERO FORESTAL**

**AUTORA: ÁLVAREZ VARGAS SILVANA ELIZABETH**

**DIRECTORA: DRA. ROSA CASTRO DEL PILAR**

Riobamba - Ecuador

2021

**©2021, Silvana Elizabeth Álvarez Vargas**

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

Yo, Silvana Elizabeth Álvarez Vargas declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que proviene de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 12 de marzo del 2021



Silvana Elizabeth Álvarez Vargas

080401992-5



## **DEDICATORIA**

A mis padres Vicente Álvarez Orbea y Deysi Vargas Zambrano que lucharon por mi bienestar y educación. A mis amigos por su compañía en los momentos tenues de mi vida.

Silvana

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Identificación del problema.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Justificación de la investigación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Objetivos de la investigación .....</b>	<b>2</b>
<i>1.3.1 General .....</i>	<i>2</i>
<i>1.3.2 Específicos .....</i>	<i>2</i>
<b>1.4 Hipótesis.....</b>	<b>3</b>
<i>1.4.1 Hipótesis nula.....</i>	<i>3</i>
<i>1.4.2 Hipótesis alternante. ....</i>	<i>3</i>
<b>1.5 Marco conceptual.....</b>	<b>3</b>
<i>1.5.1 Biocarbón .....</i>	<i>3</i>
<i>1.5.1.1 Historia .....</i>	<i>3</i>
<i>1.5.1.2 Naturaleza del biocarbón.....</i>	<i>4</i>
<i>1.5.1.3 Pirólisis del biocarbón.....</i>	<i>5</i>
<i>1.5.1.4 Carbonización.....</i>	<i>5</i>
<i>1.5.1.7 Característica del reactor artesanal .....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.1.8 Importancia.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.1.9 Vinculación de biocarbón: comunidades - ambiente.....</i>	<i>8</i>
<b>1.5.2 Especies forestales.....</b>	<b>10</b>
<i>1.5.2.1 Triplaris cumingiana (Fernán Sánchez).....</i>	<i>10</i>
<i>1.5.2.1.1 Distribución geográfica .....</i>	<i>10</i>
<i>1.5.2.1.2 Descripción botánica .....</i>	<i>11</i>

1.5.2.1.3	Usos .....	11
1.5.2.2	<i>Samanea saman</i> (Samán) .....	12
1.5.2.2.1	Distribución geográfica .....	12
1.5.2.2.2	Descripción botánica .....	12
1.5.2.2.3	Usos .....	13
1.5.2.3	<i>Guazuma ulmifolia</i> (Guasmo) .....	13
1.5.2.3.1	Distribución geográfica .....	13
1.5.2.3.2	Descripción botánica .....	14
1.5.2.3.3	Usos .....	14

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Sitio del estudio.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.1</b>	<b><i>Localización del estudio</i> .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2</b>	<b><i>Características climáticas</i> .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.3</b>	<b><i>Clasificación ecológica</i> .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1</b>	<b><i>Proceso para elaboración del biocarbón.</i> .....</b>	<b>16</b>
2.2.1.1	<i>Recolección del material vegetativo.</i> .....	16
2.2.1.2	<i>Preparación del material vegetativo.....</i>	17
2.2.1.3	<i>Colocación de las muestras e inicio de la pirólisis.....</i>	18
2.2.1.4	<i>Recolección de las muestras procesadas de cada especie.....</i>	20
<b>2.2.2</b>	<b><i>Análisis del laboratorio para la evaluación del biocarbón</i> .....</b>	<b>21</b>
2.2.2.1	<i>Potencial de hidrógeno y Conductividad eléctrica.</i> .....	21
2.2.2.2	<i>Determinación de la humedad (%).....</i>	21
2.2.2.3	<i>Cuantificación de materia volátil (%).....</i>	21
2.2.2.4	<i>Cuantificación de la ceniza (%).....</i>	22
2.2.2.5	<i>Carbono total .....</i>	22
2.2.2.6	<i>Materia orgánica .....</i>	22
2.2.2.7	<i>Tabla de Munsell.....</i>	23
2.2.2.8	<i>Técnica para análisis químicos de macronutrientes: N, P, K.....</i>	24
<b>2.2.3</b>	<b><i>Análisis económico de la mejor especie en relación al biocarbón.....</i></b>	<b>28</b>
2.2.3.1	<i>Cálculo de análisis de producción.....</i>	28

## CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Análisis físicos y químicos.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.1</b>	<i>Análisis del potencial de hidrógeno (pH) .....</i>	<i>30</i>
<b>3.1.2</b>	<i>Análisis de conductividad eléctrica mS/cm.....</i>	<i>31</i>
<b>3.1.3</b>	<i>Determinación de la humedad. ....</i>	<i>31</i>
<b>3.1.4</b>	<i>Cuantificación de la materia volátil (%), cuantificación de la ceniza (%) y materia orgánica. ....</i>	<i>32</i>
<b>3.1.5</b>	<i>Análisis químicos-macronutrientes N, P, K .....</i>	<i>33</i>
<b>3.1.6</b>	<i>Análisis del % de materia orgánica. ....</i>	<i>34</i>
<b>3.1.7</b>	<i>Análisis del color de la tabla de Munsell.....</i>	<i>34</i>
<b>3.2</b>	<b>Evaluación de la calidad de biocarbón.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4</b>	<b>Análisis económico de la producción del biocarbón.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4.1</b>	<i>Análisis del cálculo de producción. ....</i>	<i>36</i>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>38</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2.</b>	Clima de la provincia del Guayas .....	16
<b>Tabla 2-2.</b>	Clasificación ecológica .....	16
<b>Tabla 3-2.</b>	Tiempo de combustión de cada especie forestal dentro del reactor .....	19
<b>Tabla 4-3.</b>	Análisis del potencial de hidrógeno (pH).....	30
<b>Tabla 5-3.</b>	Análisis de conductividad eléctrica <i>mS/cm</i> .....	31
<b>Tabla 6-3.</b>	Determinación de la humedad.....	31
<b>Tabla 7-3.</b>	Cuantificación de la materia volátil (%), cuantificación de la ceniza (%) y materia orgánica.....	32
<b>Tabla 8-3.</b>	Análisis de macronutrientes .....	33
<b>Tabla 9-3.</b>	Análisis del % de materia orgánica.....	34
<b>Tabla 10-3.</b>	Análisis del color de la tabla de Munsell .....	34
<b>Tabla 11-3.</b>	Tabla comparativa de los datos obtenidos.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b>	Bioreactor artesanal de la fundación “La Iguana”, Guayaquil .....	7
<b>Figura 2-1.</b>	Principales aportaciones del biocarbón en el suelo .....	8
<b>Figura 3-1.</b>	Impacto del biochar sobre el ciclo de C (reducción de las emisiones de CO <sub>2</sub> hacia la atmósfera). .....	9
<b>Figura 4-1.</b>	<i>Triplaris cumingiana</i> (Fernán Sánchez).....	11
<b>Figura 5-2.</b>	<i>Samanea saman</i> (Samán) .....	12
<b>Figura 6-1.</b>	<i>Guazuma ulmifolia</i> (Guasmo) .....	13
<b>Figura 7-2.</b>	Mapa de ubicación de la fundación "La Iguana" .....	15
<b>Figura 8-2.</b>	Recolección de las muestras vegetativas.....	17
<b>Figura 9-2.</b>	Reactor artesanal .....	18
<b>Figura 10-2.</b>	Proceso de la pirolisis captada por una cámara termográfica.....	20
<b>Figura 11-2.</b>	Muestras procesadas de las especies .....	20
<b>Figura 12-2.</b>	Muestras de biocarbón y la guía de los colores de la Tabla de Munsell.....	23
<b>Figura 13-2.</b>	Interpretaciones de los colores .....	24
<b>Figura 14-2.</b>	Contenido de N, P, K Soil Kit (3-5880) .....	24

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A** TABLA DE ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO PH.
- ANEXO B** TABLA DE ANÁLISIS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA MS/CM
- ANEXO C** TABLA DE DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD.
- ANEXO D** TABLA DE CUANTIFICACIÓN DE LA MATERIA VOLÁTIL (%),  
CUANTIFICACIÓN DE LA CENIZA (%) Y MATERIA ORGÁNICA.
- ANEXO E** TABLA DE ANÁLISIS DEL % DE FÓSFORO.
- ANEXO F** TABLA DE ANÁLISIS DEL % DE POTASIO.
- ANEXO G** TABLA DE ANÁLISIS DEL % DE NITRÓGENO.
- ANEXO H** TABLA DE ANÁLISIS DEL % DE MATERIA ORGÁNICA.
- ANEXO I** VISUALIZACIÓN DEL MANEJO DEL LABORATORIO
- ANEXO J** APRECIACIÓN DE LAS MUESTRAS DE BIOCARBÓN.
- ANEXO K** RECOPIACIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la calidad de biocarbón (biocarbono o biochar, producto de calentar la biomasa arbórea) a través de restos de podas de tres especies vegetales que tuvo lugar en la Fundación La Iguana, provincia del Guayas, organización sin fines de lucro, cuyo objetivo es recuperar y reforestar con árboles nativos nuestras ciudades, siendo una solución inmediata para contrarrestar los efectos del cambio climático. Los desechos de la planta se convierten en biocarbón a través de un proceso llamado pirólisis dentro de hornos especiales, el resultado puede ser usado para enriquecer las tierras de cultivo, incrementando el contenido de carbono, ayudando a retener la humedad y a la vez proporciona ciertos componentes químicos; luego el producto fue llevado a laboratorio para el análisis de distintas propiedades como: potencial Hidrogeno (pH), conductividad eléctrica, porcentaje de humedad, porcentaje de ceniza y carbono total, entre otros. La investigación determinó que el biocarbón de las tres especies es óptimo para la incorporación al suelo debido a que sus propiedades son similares entre sí, es decir ninguno de los individuos es mejor a otro, pero los tres son útiles para el mejoramiento del suelo en cuanto a: equilibrar el pH, aumentar la conservación de humedad, favorecer a la actividad microbiana, reducir la salinidad, al desarrollo de la porosidad y ayudar al crecimiento de las plantas. Asimismo, es viable la mezcla del biocarbón con fertilizante para aportar macronutrientes al suelo. También se calcula un costo de producción de alrededor de 62,37 USD al día, para la producción de 85,88 kg de biocarbón. Y se recomienda efectuar estudios en la incorporación del biocarbón en el suelo para investigaciones futuras de desarrollo de cultivos.

**Palabras clave:** <BIOCARBONO>, <PIRÓLISIS>, <POTENCIAL HIDRÓGENO>, <HUMEDAD>, <CENIZA>, <CARBONO TOTAL>, <ACTIVIDAD MICROBIANA>.



Firmado electrónicamente por:  
JHONATAN RODRIGO  
PARREÑO UQUILLAS



10-05-2021

1117-DBRA-UTP-2021

## **ABSTRACT**

This research aimed to evaluate the quality of biochar (biocarbon or biochar, product of heating tree biomass) through pruning remains of three plant species. This study took place at the La Iguana Foundation, Guayas province, which is an organization without ends of profit, whose objective is to recover and reforest our cities with native trees, being an immediate solution to counteract the effects of climate change. The waste from the plant is used in biochar through a process called pyrolysis inside special furnaces. The result can be used to enrich the farmland, increasing the carbon content, helping to retain moisture and at the same time providing certain chemicals components. After this, the product was taken to the laboratory for the analysis of different properties such as: potential of Hydrogen (pH), electrical conductivity, percentage of humidity, percentage of ash and total carbon, among others. The research determined that the biochar of the three species was optimal for incorporation into the soil because their properties were similar to each other, it means that none of the individuals was better than another one, but all three were useful for soil improvement in terms of: balance the pH, increase humidity conservation, favor microbial activity, reduce salinity, develop porosity and help plant growth. Likewise, it was feasible to mix biochar with fertilizer to provide macronutrients to the soil. A production cost of around USD 62.37 per day was also calculated for the production of 85.88 kg of biochar. Finally, it was recommended to carry out studies on the incorporation of biochar in the soil for future research on crop development.

**Keywords:** <BIOCARBON>, <POTENTIAL OF HYDROGEN>, <HUMIDITY>, <ASH>, <TOTAL CARBON>, <MICROBIAL ACTIVITY>.

## INTRODUCCIÓN

El calentamiento Global de origen antrópico ha provocado el aumento de 1°C de la temperatura terrestre, si las cosas continúan así el pronóstico para el 2030 es que la temperatura aumentara 1.5 °C (OMM & PNUMA, 2018, p.6). Dicho fenómeno representa una grave amenaza para los sectores estratégicos del mundo como la agricultura que es afectada principalmente por la degradación del suelo (IPCC, 2019a, p.8). El suelo es un recurso indispensable para el desarrollo de la población por lo cual es necesario contrarrestar su degradación a partir de nuevas tecnologías sostenibles que ayuden a recuperar su fertilidad, estructura y composición (IPCC, 2019b, p.14). Es necesario adoptar medidas sostenibles para poder mitigar los efectos de estos cambios pudiendo ser disposiciones políticas como prácticas (IPCC, 2019b, p.17). Un correcto manejo forestal sostenible es importante para revertir el deterioro de la tierra proporcionando un menor impacto sobre el cambio climático. (IPCC, 2019b, p.14). El biocarbón (Biochar) de residuos vegetales es una de las medidas que se está adoptando para combatir la degradación del suelo, éste es el resultado de la transformación termoquímica de un material vegetativo, a través de un proceso llamado pirólisis en un medio con oxígeno limitado. (Escalante *et al.*, 2016, p.370).

Una de las medidas que se está adoptando es el manejo adecuado de los desechos de residuos vegetales que representa una alternativa de aprovechamiento de dichos residuos para la elaboración de este material obtenido llamado biocarbón o biochar puede ser usado aplicándolo en el suelo como un agente de enmienda y a su vez como una alternativa para la disminución del efecto de gases de invernadero (IBI, 2015). Las materias primas para la elaboración del biocarbón se las puede encontrar en considerables formas entre ellas podemos mencionar: residuos de cosechas, plantas secas, biomasa de árboles y desperdicios orgánicos de la vida urbana (Balta, 2019, p. 16).

La aplicación de biocarbón en el suelo genera un mejor cultivo y a su vez una recuperación del suelo, por esta razón esta práctica está generando nuevas investigaciones como una nueva tecnología del suelo (Escalante *et al.*, 2016, p.368).

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 Identificación del problema

Los suelos están siendo degradados por la sobre explotación provocando la pérdida de su fertilidad, esto ha generado iniciativas de nuevas investigaciones con la finalidad de rehabilitar los suelos degradados, secuestro de carbono y nuevas alternativas de ingresos económicos. Presentando resultados prometedores como el mejoramiento del suelo: químico, físico y propiedades biológicas (Niswati, 2009, p.11).

### 1.2 Justificación de la investigación

La elaboración de biocarbón a través de la materia prima por medio del material vegetativo a través de los desechos de poda de especies forestales, en fundación “La Iguana” tuvo finalidad la obtención de un subproducto conocido como biocarbón o biochar.

La elaboración y aplicación de biocarbón o biochar tiene un futuro favorable no sólo en; la mitigación del cambio climático, en la recuperación de suelos sino también en el desarrollo económico rural. (Schahczenski, 2010, p.1)

### 1.3 Objetivos de la investigación

#### 1.3.1 General

- Evaluar el biocarbón producido a través de restos de podas de tres especies forestales en fundación “la iguana” ubicado en el cantón Guayaquil provincia del Guayas.

#### 1.3.2 Específicos

- Evaluar la calidad en base a los análisis físicos y químicos.
- Realizar un análisis económico de la mejor especie en biocarbón.

## **1.4 Hipótesis**

### ***1.4.1 Hipótesis nula***

Las tres especies evaluadas no son aptas para su uso como biocarbón.

### ***1.4.2 Hipótesis alternante.***

Al menos una de las tres especies evaluadas es útil como biocarbón.

## **1.5 Marco conceptual**

### ***1.5.1 Biocarbón***

#### ***1.5.1.1 Historia***

Considerada como una práctica de 2000 años dónde los desechos vegetales se convierten en un impulsador de biodiversidad del suelo mejorando la salud del mismo. Este proceso a través de la pirólisis crea el carbón vegetal de grano fino y altamente poroso ayudando a la retención de nutrientes y agua (IBI, 2006).

El origen tuvo lugar en las tierras negras de los indios amazónicos de Brasil tomando como nombre Terra preta (Tierra negra). Se considera que los desarrollos de estas tierras fueron a través de los depósitos de desechos de materiales orgánicos de los indios, derivado de la quema de la biomasa entre ellos restos de esqueletos de pescado que aportaron ciertas cantidades de nutrientes, sumado a las altas concentraciones de carbón de cocina y a los incendios, dando origen a suelos fértiles (Escalante *et al.*, 2016, p.372).

La fertilidad de los suelos llamados “Terra preta” se manifiesta por los altos niveles de materia orgánica del suelo, capacidad de retención de nutrientes y la presencia de elementos como nitrógeno, fósforo, calcio y potasio, además valores de pH más altos al igual que la capacidad de retención de humedad presente en el suelo. Muchas investigaciones señalan que esta clase de suelos abarcan hasta

70 veces más carbono lo cual significa una estructura química y microbianamente más estable que persiste en el medio ambiente durante siglos (Glaser *et al.*, 2001, p.37).

Los inicios de la formación de este tipo de “terra preta” de indio es aproximadamente en los últimos tiempos del periodo pre – colombino en la Amazonia. Se creía que la amazonia era la única parte donde se podría encontrar este tipo de tierra, pero recientemente se localizó en México y África. Asimismo, existe evidencias en Borneo y Estados Unidos de América, desde hace más de 10.000 años que serían la consecuencia por incendios generados naturales como inducidos (Escalante *et al.*, 2016, p.372).

Los estudios de estos suelos con altas concentraciones de carbón han demostrado que presentan propiedades ideales entre ellas tenemos; materia orgánica, alto contenido de humedad y nutrientes, buen intercambio catiónico y mayor estímulo en la actividad microbiana del suelo de importancia agrícola (Thies y Rillig, 2009, p.85).

#### *1.5.1.2 Naturaleza del biocarbón.*

Una de las características que posee el biocarbón es dependiendo a la materia prima ya que va obtener diferentes composiciones y a su vez macro y micronutrientes diversos, pero con el mismo carbono orgánico recalcitrante (Escalante *et al.*, 2016, p.374).

El biocarbón es el subproducto de la biomasa vegetal como resultado de la quema a temperaturas relativamente bajas inferiores a los 700°C, empleado en el uso agrícola lo cual marca la diferencia al carbón usado como combustible (Escalante *et al.*, 2016, p.369).

Una de las características similares del biocarbón en relación con el carbón para combustible es su composición química y su única diferencia sería la finalidad de su uso. Sin embargo, el biocarbón ha demostrado presentar relaciones de O/C más altas en comparación con carbones minerales que también tiene origen en la biomasa, pero que sus formaciones fueron ocasionadas por procesos geológicos con el pasar del tiempo (Escalante *et al.*, 2016, p.370).

La producción del biocarbón otorga varios beneficios como una fuente de bioenergía renovable que proviene principalmente por su naturaleza recalcitrante, que minimiza la velocidad a la que el carbono fotosintéticamente fijado regresa a la atmósfera, además mejora la productividad agrícola recuperando la fertilidad en los suelos. Reduciendo la pérdida de los nutrientes y evitando el uso de

productos químicos agrícolas (Woolf *et al.*, 2010, p.2).

La incorporación del biocarbón en el suelo aumenta la permeabilidad en el agua reduciendo la escorrentía y minimizando los costos de riego. Además, su aplicación mejora la aireación del suelo provocando un mejoramiento en el manejo del laboreo (Escalante *et al.*, 2016, p.376).

#### *1.5.1.3 Pirólisis del biocarbón*

La pirólisis es una tecnología que se basa en la termoquímica el cual convierte la biomasa en un subproducto conocido como biocarbón este procedimiento implica temperaturas de alrededor de 400°C con ausencia de oxígeno, provocando la descomposición de los residuos vegetativos hasta la obtención del material sólido residual llamado biocarbón (Escalante *et al.*, 2016, p.374).

Los procesos de la pirólisis pueden ser rápidos y lentos refiriéndose a la velocidad que se altere la biomasa. La pirólisis rápida genera más aceite y menos biocarbón que la lenta, de esto dependerá su permanencia que puede ser de horas a días (Woolf *et al.*, 2010, p.2).

Una pirólisis de temperatura alta  $\geq 550$  °C produce biocarbones estables y altamente aromáticos mientras que la pirólisis de temperatura baja  $< 550$  °C es una producción menos costosa, pero con una menos condensación estructural del biocarbón del cual se espera que sea biodegradable (Balta, 2019, p. 28).

#### *1.5.1.4 Carbonización*

Dentro de este proceso es necesario estar pendiente de la chimenea con respecto a la salida del humo y la presencia de las llamas, cuando las llamas hayan disminuido y sólo este la disposición del humo notaremos que todo el reactor la coloración va cambiando por la disminución de la temperatura. De acuerdo con Escalante, et al. (2016, p.369 - 370), con temperaturas inferiores a los 700 °C se puede lograr la carbonización del material que es sometido a la pirólisis lo que asegura más del 90% del peso de biocarbón de las materias primas.

#### *1.5.1.5 Tecnología del Biocarbón*

Los residuos vegetales se pirolizan con tecnología moderna o artesanal evitando la descomposición inmediata de los restos vegetales impidiendo emisiones de gases de efecto invernadero. La lenta

descomposición del biocarbón en los suelos relacionados con las actividades de labranza sólo devuelve una pequeña cantidad de CO<sub>2</sub> (Woolf *et al.*, 2010, p.3).

Es importante reconocer que el biochar es un material fácil en su obtención, debido a la disponibilidad de la biomasa por ejemplo el subproducto lo podemos encontrar en las actividades agroforestales o residuos orgánicos urbanos que serán utilizados como materia prima. Este tipo de producción y la aplicación en el suelo son consideradas como tecnologías nuevas empleadas en varias partes del mundo en la actualidad (Balta, 2019, p. 27).

Algunos estudios demuestran que los alcances que puede obtener el biocarbón en relación a la productividad de los cultivos puede ser diversos debido a diferentes factores que intervienen como: los procesos biofísicos en la aplicación del biocarbón en el suelo, tipo de suelo, clima, cultivos y el material vegetativo para su pirólisis (Sohi *et al.*, 2009, p.5).

#### *1.5.1.6 Estabilidad del biocarbón en el suelo*

El biocarbón derivado con el fuego natural en relación a la actividad antropogénica antigua muestra una estabilidad a escala milenaria, por lo contrario, en la actualidad tiene una dificultad en determinar la vida media del biocarbón actual debido a la complejidad de algún método artificial para envejecer el biocarbón dado que no existe (Sohi *et al.*, 2009, p.4).

Estudios han demostrado el incremento de la fertilidad de los suelos, mejoramiento de la estabilidad del C orgánico del suelo, CIC, P disponible entre otros elementos intercambiables mediante la porosidad del biocarbón (Niswati, 2009, p.12).

Una de las estabilidades del biocarbón en el suelo en su aplicación, es necesario tener presente el tipo de suelo para evitar cantidades excesivas en su incorporación así prevenir la disminución de la productividad del suelo (Sohi *et al.*, 2009, p.5).

Al incorporarse el biocarbón en el suelo no proporciona fuentes de nutrientes relevantes para las plantas, pero ayuda a la asimilación de nutrimentos de los cultivos. También disminuye la movilidad de metales pesados como Cu y Zn (Niswati, 2009, p.12).

### *1.5.1.7 Característica del reactor artesanal*

El horno o reactor artesanal utilizado para la elaboración de biocarbón o carbón vegetal es de material metálico en forma esférica como muestra en la Fig. 1-1.



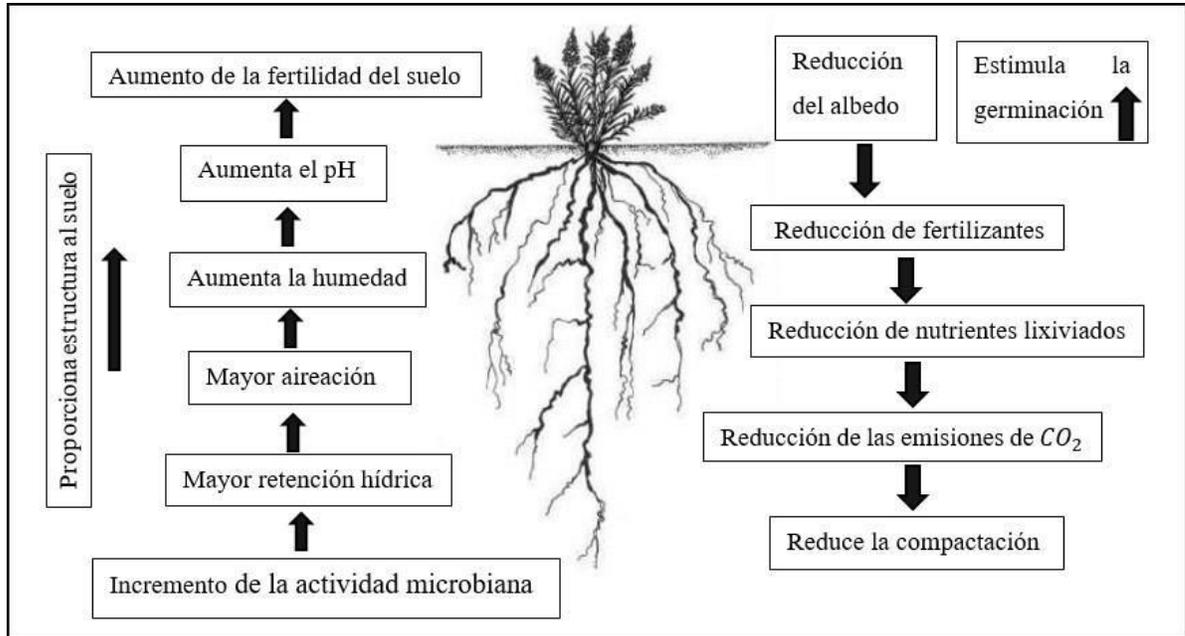
**Figura 1-1.** Bioreactor artesanal de la fundación “La Iguana”, Guayaquil.

**Realizado por:** Álvarez, S. 2019

La base posee varios huecos para permitir la aireación y así la pirolisis se desarrolle de manera adecuada. Además, se encuentra sobre bloques sirviendo de apoyo para la circulación del aire. En la parte superior tiene un agujero llamado chimenea la cual permite la salida de aire, esta parte puede ser removida e incorporada, asimismo posee alrededor agujeros con la misma finalidad.

### *1.5.1.8 Importancia*

El biocarbón no sólo recupera la fertilidad del suelo, también reduce el uso de fertilizantes, por consiguiente, disminuye los costos de los cultivos. Por lo general el biocarbón posee poco nutrimento vegetal, pero se relacionada como un acondicionador del suelo al inducir que los nutrientes estén más disponibles a las plantas mejorando por ende la estructura del suelo (Schahczenski, 2010, p.2).



**Figura 2-1.** Principales aportaciones del biocarbón en el suelo.

Realizado por: Álvarez, S. 2020

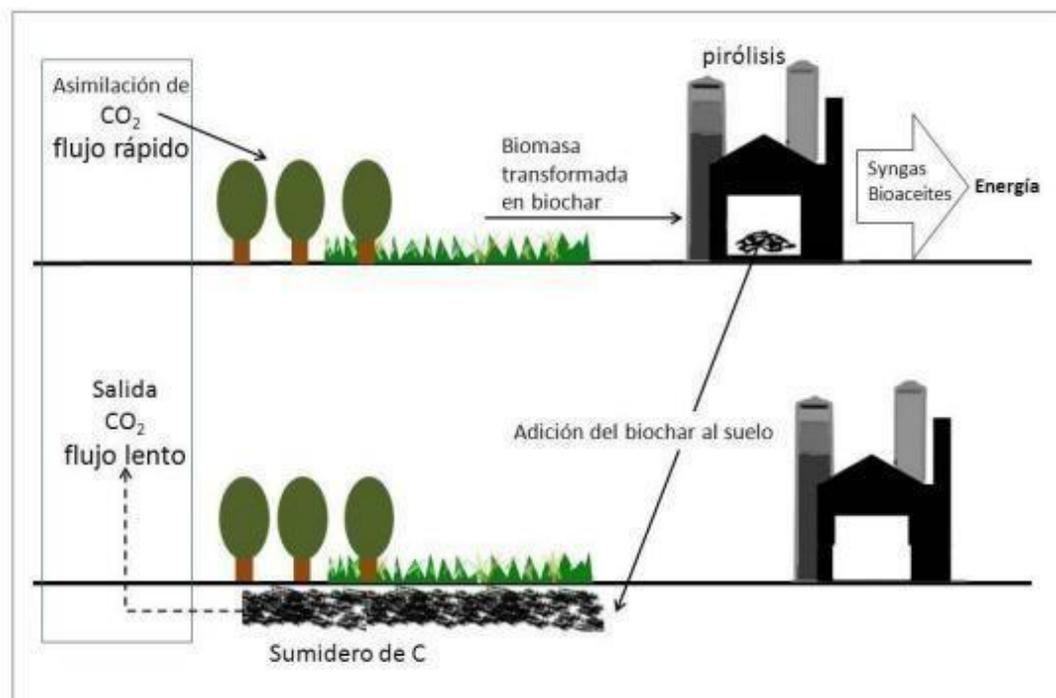
Uno de los intereses del biocarbón en el suelo es la disminución de los fertilizantes por ende la reducción de los costos de los cultivos. El biocarbón tiene bajos nutrimento vegetal, pero ejerce más como un acondicionador para asimilación de los nutrientes disponible para las plantas además restablece la estructura del mismo.

Biochar ayuda de forma indirecta el efecto nutritivo al suelo disminuyendo la lixiviación de nutrientes, también es necesario tener presente que la aplicación excesiva del biocarbón en el suelo puede tener impactos negativos relacionado a la calidad del aire y agua. Pero por lo contrario el biocarbón mejora la retención de humedad, amortiguando zonas con influencias de sequías permitiendo el desarrollo de los cultivos. Existe una discusión sobre la capacidad de retención de la humedad en relación a la materia prima utilizada para la elaboración del biocarbón (Schahczenski, 2010, p.3).

#### 1.5.1.9 Vinculación de biocarbón: comunidades - ambiente.

Presenta una alternativa de desarrollo económico con respecto a la elaboración de biocarbón, por lo general la mayoría de las comunidades se encuentra cerca de varias fuentes de biomasa para su obtención. El aprovechamiento de estos residuos vegetales puede ser un medio para la creación de

empresas que desarrollen no sólo la elaboración de biocarbón y la venta del mismo como suelo de enmienda, sino también impulsar la fabricación de equipos para su producción (Schahczenski, 2010, p.370).



**Figura 3-1.** Impacto del biochar sobre el ciclo de C (reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera).

Realizado por: Olmo, M. 2016

La producción de biocarbón puede variar desde escalas industriales hasta una producción artesanal logrando una adaptación a situaciones socioeconómica. Su elaboración por medio de la pirólisis está disponible comercialmente de varias formas dependiendo de la cantidad de biocarbón a obtener (Woolf et al., 2010, p.2).

El biocarbón proporciona a la agricultura una enmienda del suelo para un mejoramiento en la productividad de sus cultivos desarrollando mercados de compensación de carbono, además esta práctica proporciona ingresos económicos a los agricultores y ganaderos que lo emplean en el secuestro de carbono del suelo (Schahczenski, 2010, p.1).

La agricultura sostenible en los trópicos presenta uno de los principales problemas que es la descomposición de la materia orgánica de manera muy acelerada inducido por las altas temperaturas, precipitaciones y la falta de minerales estabilizantes (Glaser et al., 2001, p.37).

El empleo del biocarbón disminuye las presiones del suelo con respecto a un cultivo. Además, se espera que entre los beneficios ambientales del biocarbón sea la rehabilitación de humedales contaminados (Sohi et al., 2009, p.4).

Entre todas las ventajas del uso del biocarbón también cumple la función como un agente que aumenta la absorción compuestos ya sea orgánicos como inorgánicos como herbicidas, pesticidas, enzimas aplicadas al suelo. De este modo se aprovecha su alta capacidad de adsorción, estos elementos resultan muy limitados en cuanto a su disponibilidad en las plantas (Balta, 2019, p.15).

Se considera que la labranza es el principal medio por el cual el biocarbón puede llegar a incorporarse de manera más rápida influyendo en un movimiento natural del suelo donde descompone el biocarbón reduciendo su tamaño (Sohi et al., 2009, p.24).

## ***1.5.2 Especies forestales.***

### *1.5.2.1 Triplaris cumingiana* (Fernán Sánchez)

#### 1.5.2.1.1 Distribución geográfica

Su nombre científico es *Triplaris cumingiana* también conocido como: *Triplaris ariculata* Meisn.; *Triplaris guayaquilensis* Wedd.; *Tiplaris lindeniana* Wedd. Pertenece a la Familia Poligonaceae. Es una especie endémica de zonas subtropicales, además habita en laderas de bosques secos y premontanos. Se desarrolla entre los 0 – 1500 m.s.n.m., podemos encontrarlo distribuido en la costa, amazonía y algunas provincias de la sierra como son: Bolívar, Chimborazo, El Oro, Esmeraldas, Galápagos, Guayas, Loja, Los Ríos, Manabí, Morona y Pichincha. Tipo de bosque: Bosque seco pluviestacional, bosque seco andino y bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonia (Aguirre, 2012, p.32).



**Figura 4-1.** *Triplaris cumingiana* (Fernán Sánchez)

Realizado por: Álvarez, S. 2020

#### 1.5.2.1.2 Descripción botánica

*Triplaris cumingiana*, su altura se encuentra entre los 10 a 18 metros con un DAP de 60 a 80cm. La corteza externa presenta lenticelas con un color pardo claro con ritidoma exfoliable en placas grandes, corchosas. es un árbol de copa redonda, ramas huecas, anilladas. El tallo es cilíndrico y limpio de 17 a 18 m de altura, su corteza es de color grisáceo e internamente de color café claro con un sabor amargo. Flores agrupadas en racimos (espigadas) de 5-35 cm de longitud, rojo carmín cuando son jóvenes y luego amarillentas. La aparición de las hormigas asociadas a los tallos es una característica importante para su identificación (Aguirre, 2012, p.32).

#### 1.5.2.1.3 Usos

Se emplea para construir viviendas, como leña, carbón, aglomerados y en también en la elaboración de muebles. El árbol en pie se destina en el área ornamental dada la arquitectura del árbol, belleza y su combinación de sus flores, además protege a las cuencas hidrográficas (Aguirre, 2012, p.32).

### 1.5.2.2 *Samanea saman* (Samán)

#### 1.5.2.2.1 Distribución geográfica

Su nombre científico es *Samanea saman*, también conocido como *Mimosa saman Jacq*, *Albizia saman (Jacq.) F.* Pertenece a la familia Mimosaceae es una especie de origen del trópico seco americano se expande desde Guatemala a Ecuador. Se encuentra cultivado en la costa seca y húmeda del Ecuador. Se desarrolla entre los 0 – 800 m.s.n.m., opta por suelos pocos profundos, lo encontramos en las provincias de: El Oro, Guayas y Manabí. Tipo de bosque: Bosque seco pluviestacional (Aguirre, 2012, p.124).



**Figura 5-2.** *Samanea saman* (Samán)

Realizado por: Álvarez, S. 2020

#### 1.5.2.2.2 Descripción botánica

*Samanea saman* es un árbol perennifolio de gran tamaño, su altura se encuentra entre los 20 – 25 m con un DAP de 70 cm. Su fuste es cilíndrico, recto y sus ramificaciones son de baja altura. Su copa es ensanchada, aparasolada, densa, con follaje verde intenso. Su corteza es negra agrietada en tabiques irregulares, sus hojas compuestas, bipinnadas, alternas. Sus flores con estambres rosados o púrpuras con la base crema agrupadas en una umbela (Aguirre, 2012, p.124).

### 1.5.2.2.3 Usos

Sus hojas, flores y frutos sirven como forraje para el ganado. Sus hojas pueden ser empleados como laxante a través de infusiones. La pulpa del fruto se utiliza para la elaboración de un alcohol parecido al de cerezas. En el uso ornamental se emplea en las avenidas y plazas. Especie apta para el SAFs (Aguirre, 2012, p.124).

### 1.5.2.3 *Guazuma ulmifolia* (Guasmo)

#### 1.5.2.3.1 Distribución geográfica

Su nombre científico es *Guazuma ulmifolia*, también conocido como: *Guazuma guazuma* Cockerell, *Guazuma invira* (Willdenow) G. Don, *Guazuma polybotrya* Cav., *Guazuma tomentosa* Kunth, *Guazuma utilis* Poepp & Endl, *Theobroma guazuma* L. Pertenece a la familia Sterculiaceae es una especie que se encuentra en planicies y hondonadas comprende los bosques secos natural o intervenido. Se desarrolla entre los 0 – 2500 m.s.n.m., se localizan en las provincias de; El Oro, Esmeraldas, Guayas, Loja, Los Ríos, Napo y Pastaza. Tipo de bosque: Bosque seco pluviestacional, bosque seco andino (Aguirre, 2012, p.38).



**Figura 6-1.** *Guazuma ulmifolia* (Guasmo)

Realizado por: Álvarez, S. 2020

#### 1.5.2.3.2 Descripción botánica

*Guazuma ulmifolia* es un árbol caducifolio que puede alcanzar una altura entre los 8 – 15 m con un DAP de 30 – 40 cm. Fuste torcido, con ramificaciones desde 2,5 a 2 metros de altura del suelo, su copa es irregular, redondeada, frondosa, con ramas muy extendidas, horizontales y colgantes que pueden llegar hasta el suelo. Presenta una corteza externa de color pardo-grisáceo, fisurada el cuál se puede ir desprendiéndose en pequeños pedazos, fibrosa, de sabor dulce a astringente. Hojas simples, alternas, en dos hileras, lanceoladas, con el margen aserrado, ápice agudo, muy ásperas el haz y sedosas por el envés, manifiesta un color verde-azuladas a grisáceas, y al envejecer se tornan amarillas (Aguirre, 2012, p.38).

#### 1.5.2.3.3 Usos

La madera se utilizada como leña, postes, construcciones rurales y artesanías. Sus hojas, flores y frutos son forrajeras. Sus frutos son comestibles, de igual modo se elabora mermeladas y coladas. Sus frutos en cocción alivian la tos, bronquitis y gripe. Adicionalmente esta especie es apta para implementar en el SAFs por la presencia de sombra y forraje que produce (Aguirre, 2012,p.38).

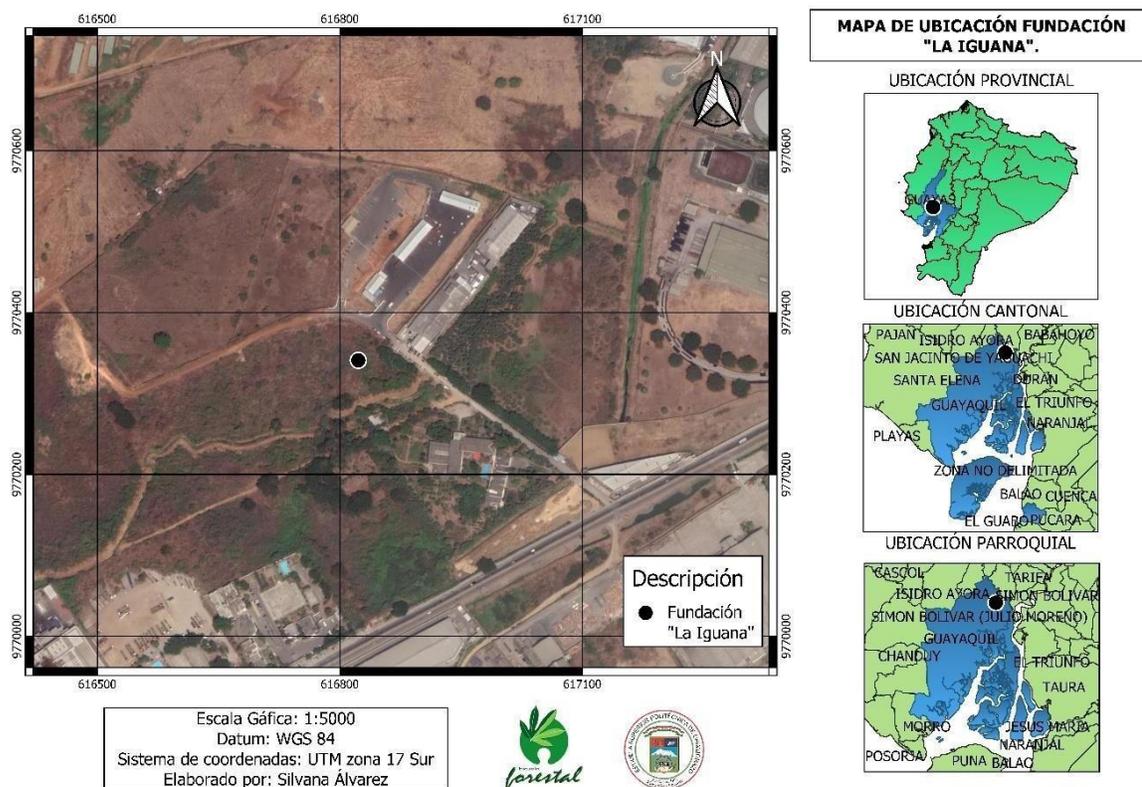
## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Sitio del estudio

##### 2.1.1 Localización del estudio

La presente Investigación se realizó en Guayaquil, provincia del Guayas en la Fundación la Iguana, es una organización sin fines de lucro. Se localiza en las siguientes coordenadas:  $2^{\circ}04'38.81''S$ ,  $79^{\circ}51'00.07''O$ , elevación de 5m.



**Figura 7-2.** Mapa de ubicación de la fundación "La Iguana"

Realizado por: Álvarez, S. 2020

### 2.1.2 Características climáticas

**Tabla 1-2.** Clima de la provincia del Guayas.

Temperatura media anual	Precipitación media anual	Humedad
25,7 °C	791 mm	85%

**Fuente:** CLIMATE-DATA, ca. 2020

**Realizado por:** Álvarez, S. 2020

### 2.1.3 Clasificación ecológica

**Tabla 2-2.** Clasificación ecológica

Clasificación	Formación vegetal /ecosistema
“Ministerio del ambiente. 2013”	BsTc05 Manglar del Jama-Zapotillo

**Fuente:** MAE, 2013

**Realizado por:** Álvarez, S.2020

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Proceso para elaboración del biocarbón.

#### 2.2.1.1 Recolección del material vegetativo.

La recolección de muestras se obtuvo exclusivamente de restos de podas dentro de la ciudad de Guayaquil como parte del manejo silvicultural de la fundación, las especies utilizadas son nativas como parte del programa de recuperación y reforestación de la misma.

El material vegetativo para la elaboración del biocarbón proviene de restos de podas en la provincia del Guayas de las cuales fueron las siguientes especies: *Triplaris cumingiana* (Fernán Sánchez), *Samanea saman* (Samán), *Guazuma ulmifolia* (Guasmo). Antes del proceso de la pirolisis es necesario cortar los residuos vegetales de tal manera que sean aplicados dentro de los espacios del reactor para una buena combustión y así tener un mejor aprovechamiento del mismo. Una vez que el reactor tenga todos los residuos vegetales bien colocados en su interior se procede al encendido y al iniciar esto se procede a tapar el reactor y colocar la chimenea.



**Figura 8-2.** Recolección de las muestras vegetativas

**Realizado por:** Álvarez, S. 2019

#### *2.2.1.2 Preparación del material vegetativo*

Las muestras estuvieron siete días al ambiente en un lugar abierto, pero con cubierta para estimular el secado al natural. Aproximadamente una semana después de la obtención, los desechos vegetativos de grandes tamaños como las ramas fueron sometidas con la ayuda de una sierra circular eléctrica a cortes adecuados para aprovechar los espacios del reactor artesanal posteriormente se inició con el proceso llamado pirólisis para la producción del biocarbón.

### 2.2.1.3 Colocación de las muestras e inicio de la pirólisis

Las trozas de las muestras son alrededor 5cm de diámetro y 45 cm de altura con un volumen de 253.429,2 cm<sup>3</sup> fueron colocadas dentro del reactor artesanal (cilindro metálico vertical, la base elevada con agujeros que permite la entrada de aire, tapa con agujeros alrededor incorporada con la chimenea la cual permite la salida del humo) de tal forma que ocupe el mayor espacio, una vez realizado el arreglo de las trozas también podemos incluir el resto de residuos vegetativos como son las hojas, ramitas y ciertas flores, la idea es aprovechar todo material considerado “desperdicio”.



**Figura 9-2.** Reactor artesanal

Realizado por: Álvarez, S. 2019

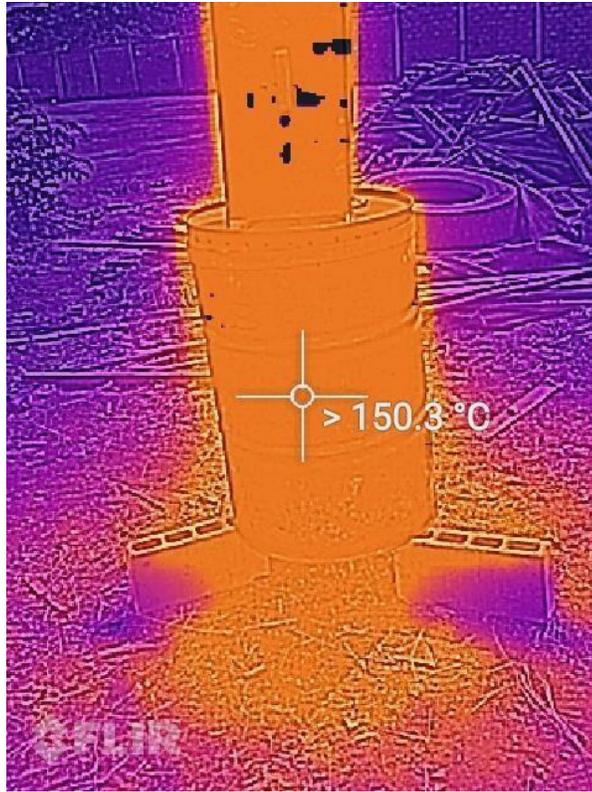
El inicio de la pirolisis es sencillo, sólo es necesario retirar un pedazo de troza ubicado en el centro del reactor artesanal, el espacio se llena de un material combustible en este caso pedazos de cartones y papel para dar inicio al encendido, se repite este procedimiento hasta confirmar que el fuego se haya propagado, este procedimiento se reitera para todas las muestras del material vegetativo.

**Tabla 3-2.** Tiempo de combustión de cada especie forestal dentro del reactor

Tiempo Especie	<i>Triplaris cumingiana</i> Fernán Sánchez	<i>Samanea saman</i> Samán	<i>Guazuma ulmifolia</i> Guasmo
T(inicial)	09:40 a. m.	11:20 a. m.	01:15 p. m.
T(final)	10:25 a. m.	12:00 p. m.	14:20 p. m.

**Realizado por:** Álvarez, S. 2019

La biomasa residual se acondicionó de tal manera para su aprovechamiento en la obtención del biocarbón, donde la temperatura y el tiempo tuvieron gran influencia. El tiempo promedio de las tres especies fue 1:40 min. para su completa combustión y su temperatura alcanzó alrededor de los 500°C. Se utilizó PerfectPrime IR0280, (IR) cámara de luz infrarroja con imagen térmica y visor 1024 Pixels para captar la temperatura en el cual se desarrolló.



**Figura 10-2.** Proceso de la pirólisis captada por una cámara termográfica  
Realizado por: Álvarez, S. 2019

#### *2.2.1.4 Recolección de las muestras procesadas de cada especie*

Como resultado de la pirólisis se recolectó sólo 1kg de cada muestra para el análisis en laboratorio que anteriormente fueron sometidas a un secado natural por 7 días adicionales debido a la humedad que se requirió para el apagado del reactor como se observa en la Figura 6-2. El material fue colocado en fundas para evitar cualquier tipo de contaminación.



**Figura 11-2.** Muestras procesadas de las especies  
Realizado por: Álvarez, S. 2019

### ***2.2.2 Análisis del laboratorio para la evaluación del biocarbón***

El trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de “Investigación y Desarrollo Ambiental” de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Utilizando las tres muestras de biocarbón se procedió a la realización de los siguientes análisis:

#### ***2.2.2.1 Potencial de hidrógeno y Conductividad eléctrica.***

El pH y la CE se determinaron en extracto acuoso en relación 1:1pH: Colocamos las muestras en un mortero, luego ubicamos en la balanza analítica (ADVENTURER® ANALÍTICA, modelo AX224), hasta obtener 20 gramos. En 100 ml de agua destilada disolvemos los 20 gramos de muestras de biocarbón por 10 minutos, posteriormente dejar reposar por 5 minutos las disoluciones en el pH-metro o potenciómetro y obtuvimos los resultados.

CE: Posteriormente con las disoluciones de las muestras dejamos reposar por 24 horas y posteriormente colocamos en el medidor de conductividad eléctrica de marca Accumet modelo AB150 (Balta, 2019, p. 19).

#### ***2.2.2.2 Determinación de la humedad (%)***

- a) Pesar 5 g de muestra (Pmhd) en nueve cápsulas de porcelana, se colocaron en una estufa y se secaron a 105 °C por 24 horas.
- b) Luego enfriar las muestras y pesar hasta obtener un peso seco constante (Pmse).

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Pmhd} - \text{Pmse}}{\text{Pmse}} \times 100$$

Donde;

Pmhd = Peso de la muestra

Pmse = Peso de la muestra seca

Humedad (%) = (Pmhd -Pmse) /Pmse ×100

peso de la muestra humedad relación al peso de la muestra seca (Balta, 2019, p. 19).

#### ***2.2.2.3 Cuantificación de materia volátil (%)***

- a) Estando el crisol tapado, el mismo que contiene la muestra seca (Pmse); se calcinó a 950°C por 15 minutos. Se dejó enfriar la muestra para posteriormente pesarla.

- b) Pesar la masa del crisol, la tapa y lo que quedó de la muestra calcinada ( $P_{mca}$ ). Teniendo en cuenta que la masa inicial fue de 5 gramos, determinar de material volátil.

Teniendo en cuenta que la masa inicial fue de 5 gramos, determinar de material volátil.

$$\text{Material volátil \%} = \frac{(P_{mse} - P_{mca})}{P_{mhd}} \times 100$$

Donde;

$P_{mhd}$  = Peso de la muestra

$P_{mse}$  = Peso de la muestra seca

$P_{mca}$  = Peso de la muestra calcinada

#### 2.2.2.4 Cuantificación de la ceniza (%)

- a) Destapar el crisol que contienen la muestra calcinada ( $P_{mca}$ ) y calcinar a 950 °C por 1 hora.  
b) Luego enfriar las muestras y pesar hasta obtener un peso constante de la ceniza ( $P_{ceniza}$ ).

$$\text{Ceniza \%} = \frac{(P_{mca} - P_{ceniza})}{P_{mhd}} \times 100$$

(Balta, 2019, p. 20).

#### 2.2.2.5 Carbono total

$$\text{Carbono total (\%)} = 100 - (\% \text{ Humedad} + \% \text{ Materia volátil} + \% \text{ Cenizas})$$

(Balta, 2019, p. 20).

#### 2.2.2.6 Materia orgánica

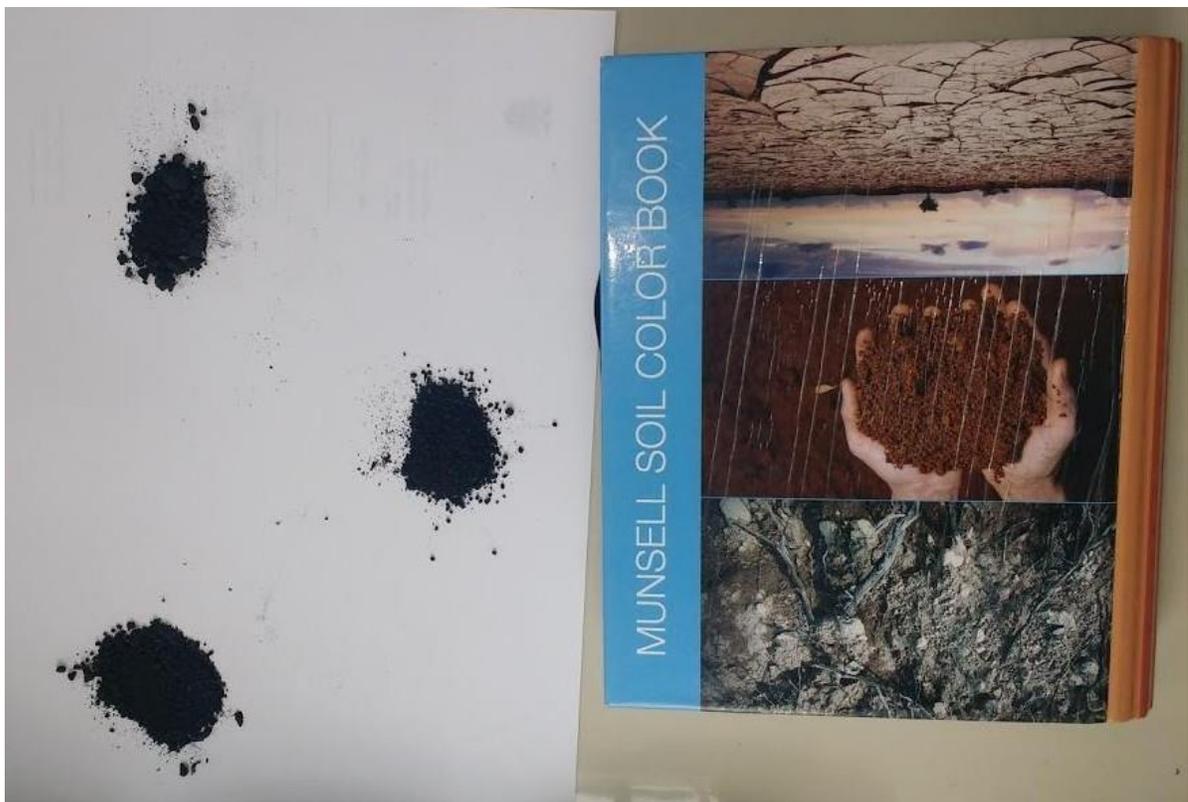
- a) Ya realizado el proceso de tarar crisoles  
b) Etiquetar el crisol en la base con el código de cada muestra  
c) Pesar el crisol y apuntar el peso  
d) Tarar y colocar 5 gramos de suelo de 425 $\mu$ m (Aplicar técnica de cuarteo para tomar los 5 gramos de suelo)  
e) Colocar en la estufa a 105°C por 24 horas.  
f) Colocar la muestra en el desecador esperar que se enfríe unos 30 min y pesar la muestra  
g) Colocar la muestra en la mufla a 360°C, durante 2 horas.  
h) Colocar la muestra en el desecador durante 30 min y pesar

i) Eliminar muestra (Balta, 2019, p. 20).

#### 2.2.2.7 *Tabla de Munsell*

Se utilizó la tabla de Munsell el cual tiene 199 colores de interpretaciones distribuidas por Hue, Value y Chroma (matiz, brillo y saturación) que son variables simples que al combinarse dan todos los colores (Andrade et al., 2015: pp. 13-14).

Se realizó con la toma de muestras de biocarbón procurando un lugar dónde la luz no se refleje directamente en las mismas, posteriormente con la guía de la Tabla de Munsell se describe el color.



**Figura 12-2.** Muestras de biocarbón y la guía de los colores de la Tabla de Munsell

Realizado por: Álvarez, S. 2019



**Figura 13-2.** Interpretaciones de los colores

Realizado por: Álvarez, S. 2020

### 2.2.2.8 Técnica para análisis químicos de macronutrientes: N, P, K.

Se utilizó un kit para la realización de estas técnicas.

Contenido del kit		
Cantidad	Descripción	Código
100	*Floc-Ex TesTabs®	*5504A-J
50	*Nitrate Wide Range TesTabs®	*3703A-H
50	Phosphorus TesTabs®	5422A-H
50	*Potassium TesTabs®	*5424A-H
1	Tubo de plástico, redondo, con tapón	0725
3	Tubo de ensayo, 2,5-5-10 ml, con tapón	0106
2	Funda protectora	0106-FP
1	Pipeta, plástico	30444
1	Escala colorimétrica, N-P-K	1382

Si quiere volver a hacer un pedido de reactivos o componentes de kits de prueba, use el código numérico especificado.

**Figura 14-2.** Contenido de N, P, K Soil Kit (3-5880)

Realizado por: Álvarez, S. 2020

**ESTANDARIZACIÓN DE RANGOS PARA ANALISIS EN EL ESPECTROFOTÓMETRO.**

Para obtener los valores estándar para la lectura de cada elemento (N, P, K.) trabajar con Fosfato Monopotásico y Nitrato de Potasio.

- Para Fósforo y Potasio trabajar con  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
- Pesar 0.2195g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
- Calcular la ppm de P y para K

0,2195 g $\text{KH}_2\text{PO}_4$	30,974g P	100mg	1000ml	99,93ppmm → 100ppmm de P
500ml	136,072g $\text{KH}_2\text{PO}_4$	1g	1L	

0,2195 g $\text{KH}_2\text{PO}_4$	39,098g K	100mg	1000ml	126,14ppmm → 126ppmm de k
500ml	136,072g $\text{KH}_2\text{PO}_4$	1g	1L	

- Sacar factores de dilución para los rangos de Absorbancia para fósforo

ppm	Abs
12,5	0,106
25	0,182
50	0,383
100	0,762

Leer a 795 nm en el espectrofotómetro UV-VIS

- Sacar factores de dilución para los rangos de Absorbancia para Potasio

ppm	Abs
7,88	0,105
15,75	0,424
31,50	1,161
63,00	2,265

Leer a 860 nm en el espectrofotómetro UV-VIS

- Para nitrógeno trabajar con KNO<sub>3</sub>
- Pesar 0,7219 g de KNO<sub>3</sub>
- Calcular los ppm de N.

0,7218g KNO <sub>3</sub>	14g N	100mg	1000ml	199,91 ppm → 200ppm de N
500ml	101,098g KNO <sub>3</sub>	1g	1L	

- Sacar factores de dilución para los rangos de Absorbancia para Nitrógeno

Ppm	Abs
6,25	0,211
12,5	0,398
25	0,771
50	1,500
100	2,883

Leer a 500 nm en el espectrofotómetro UV-VIS

**IMPORTANTE.** Con las tres tablas de valores de ppm y absorbancia con fórmulas de Excel obtener la línea de tendencia y la ecuación de la recta para tener el detalle de la intersección y la pendiente. Para analizar en el espectrofotómetro

## 1. EXTRACCIÓN

Para la extracción de la muestra realizar lo siguiente:

- 1.1. Llenar el tubo de extracción redondo (0725) hasta llegar a 30ml con agua destilada.
- 1.2. Añadir dos tabletas FLOC-EX – TESTABS (5504).
- 1.3. Tapar el tubo y mezclar hasta que las pastillas se hayan disuelto.
- 1.4. Retirar el tapón y agregar 0.5 g de muestra.
- 1.5. Tapar el tubo y agitar por 1 minuto.
- 1.6. Dejar reposar hasta que la muestra se asiente.
- 1.7. La solución transparente obtenida utilizar para realizar los análisis potasio, fosforo y nitrato.

## 2. FÓSFORO

- 2.1. Utilizar la pipeta (30444), y transferir 25 gotas de la solución transparente al tubo cuadrado de ensayo (0106).
- 2.2. Colocar agua destilada en el tubo hasta llegar al hombro del mismo.
- 2.3. Añadir una pastilla de PHOSPHORUS TESTAB (5422A).
- 2.4. Tapar y mezclar hasta que la pastilla de disuelva.
- 2.5. Esperar 5 minutos.
- 2.6. Leer en el espectrofotómetro.

## 3. POTASIO

- 3.1. Utilizar la pipeta (30444), para transferir la solución transparente obtenida en la extracción al tubo cuadrado (0106) hasta el hombro del mismo.
- 3.2. Añadir una pastilla de POTASSIUM TESTAB (5424A).
- 3.3. Tapar y agitar hasta que la pastilla disuelva.
- 3.4. Dejar reposar por 5 minutos.
- 3.5. Leer en el espectrofotómetro.

**NOTA:** Si se desea conocer los valores asimilables se puede realizar directamente sin el proceso de digestión acida para lo que su extracción sería la siguiente.

## 4. NITRÓGENO

- 4.1. Utilizar la pipeta (30444), para transferir la solución transparente obtenida en la extracción al tubo cuadrado (0106) hasta el hombro del mismo.
- 4.2. Añadir una pastilla de NITRATE WIDE RANGE TESTAB (3703A).
- 4.3. Tapar el tubo y colocarlo en la bolsa protectora (0106-FP).

**Nota:** *NITRATE WIDE RANGE TESTAB (3703A) es muy sensible a la luz ultravioleta, la bolsa protectora (0106-FP) protegerá la reacción que produce la luz ultravioleta, si el proceso es realizado dentro de un lugar no es necesario dicho procedimiento.*

- 4.4. Mezclar invirtiendo el tubo por un tiempo de dos minutos, hasta q la pastilla colocada disuelva.  
Pueden quedar trozos de la pastilla en la mezcla.
- 4.5. Dejar reposar durante 5 minutos.

4.6. Leer en el espectrofotómetro.

### **Cálculos**

Con los datos obtenidos aplicar la siguientes formulas.

$$ppm = \frac{(Abs - Int)}{Pend} * FD * \frac{V.E}{Int}$$
$$\% = \frac{ppm}{10000}$$

Dónde:

Abs= absorbancia

Int= intersección

Pend= pendiente

FD= Factor de Dilución

V.E= Volumen de Extracto

### **2.2.3 Análisis económico de la mejor especie en relación al biocarbón.**

#### **2.2.3.1 Cálculo de análisis de producción**

Se seleccionaron trozas de tamaños similares como: 5cm de diámetro y 45 cm de altura dónde la materia prima posteriormente fue introducida en el reactor artesanal.

$$V_{trozas} = \pi * r^2 * h$$

Donde;

V= volumen

h= altura

### **Densidades de la madera**

Se trabajó con las densidades de 0,54 gr/cm<sup>3</sup> dato obtenido de la fundación en la cual se operan.

$$\rho_{trozas} = \frac{m}{v}$$

Dónde;

m = masa

v = volumen

## **Costo de producción**

Costo económico de la elaboración de biocarbón al día en el reactor artesanal fue tomada a partir de siguiente fórmula:

$$C_p = Mp + MOD + CI$$

Dónde; Cp = costo de producción

Mp = Materia prima

MOD = Mano de obra directa

CI= costos indirectos

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 Análisis físicos y químicos

##### 3.1.1 Análisis del potencial de hidrógeno (pH).

**Tabla 4-3.** Análisis del potencial de hidrógeno (pH).

Análisis Especie	Fernán Sánchez <i>Triplaris cumingiana</i>	Samán <i>Samanea saman</i>	Guasmo <i>Guazuma ulmifolia</i>
Promedio	10,01 Alc.	9,21 Alc.	9,80 Alc.

Realizado por: Álvarez, S. 2020

El promedio del biochar de las especies tienen un potencial de hidrógeno (pH) ligeramente alcalino. Según Niswati (2009: p.12), menciona que al aumentar el pH en el suelo proporciona un incremento en la producción de biomasa en los cultivos. Además, la enmienda de biocarbón aumenta entre un 0,18 a 0,36 unidades que sería un aumento significativo en el pH del suelo, lo que muestra que las especies pueden incorporarse en el suelo ayudando a la actividad microbiana del mismo.

Estudios indican que la incorporación del biocarbón influye en la composición de las comunidades bacterianas del suelo, donde se ha logrado observar que el tratamiento por biocarbón mejoró la abundancia de familias como: Bradyrhizobiaceae, Hyphomicrobiaceae, Streptosporangiaceae, y Thermomonosporaceae así como un aumento en los rizobios fijadores de nitrógeno en la rizosfera (Glodowska y Lyszcz, 2017: p. 87).

Según Balta (2019, p.28), en su estudio el biochar presentó un pH de 8.12 siendo moderadamente alcalino. En el trabajo realizado por Montoya (2016, p.41) menciona el uso de biocarbón con pH alcalino. En la elaboración de biochar procedente de astillas de pino y restos de podas de olivo se obtuvieron datos de pH de 8,38 y 11,51, respectivamente (Albuquerque *et al.*, 2013, p.4). Los tres estudios concuerdan con los resultados de pH alcalino encontrados en este trabajo, que ayudarían al mejoramiento de los suelos para cultivos.

### 3.1.2 Análisis de conductividad eléctrica mS/cm

**Tabla 5-3.** Análisis de conductividad eléctrica mS/cm

Análisis Especie	Fernán Sánchez <i>Triplaris cumingiana</i>	Samán <i>Samanea saman</i>	Guasmo <i>Guazuma ulmifolia</i>
Promedio	2,34 mS/cm	1,95 mS/cm	2,17 mS/cm

Realizado por: Álvarez, S. 2020

La conductividad eléctrica muestras valores semejantes entre *Triplaris cumingiana* y *Guazuma ulmifolia*; y una ligera diferencia con *Samanea Saman*. Según Chimbo (2019, pp.28-31), las muestras de valores bajos encontrados en el biocarbón ayudan a neutralizar la acidez y también a mejorar las condiciones nutricionales del suelo. Por lo tanto, la conductividad eléctrica tiene la capacidad de disminuir la salinidad y mejora el crecimiento de las plantas.

En el estudio realizado por Balta (2019, p.28) el valor para la conductividad eléctrica obtenida del biochar fue de 2,17 mS/cm, valor idéntico al de *Guazuma ulmifolia* y similar al de las otras dos especies. Según Albuquerque *et al.* (2013, p.4), los valores encontrados de conductividad eléctrica fueron de 0,61 y 1,51 mS/cm para pino y olivo, respectivamente. Los datos obtenidos en este trabajo son similares a los del estudio realizado por Balta, pero difieren levemente con los de Albuquerque *et al.*, pero los resultados obtenidos ayudarían al mejoramiento del suelo.

### 3.1.3 Determinación de la humedad.

**Tabla 6-3.** Determinación de la humedad.

% humedad	Fernán Sánchez <i>Triplaris cumingiana</i>	Samán <i>Samanea Saman</i>	Guasmo <i>Guazuma ulmifolia</i>
Promedio	52,43	32,92	44,45

Realizado por: Álvarez, S. 2020

El porcentaje de humedad varía entre 52,43 (*Triplaris cumingiana*) hasta 32,92 (*Samanea Saman*) demostrando altas cantidades de humedad, esto se pudo deber a que las muestras pasaron un tiempo

después del proceso de pirólisis antes de realizarse los análisis de laboratorio, lo que pudo ocasionar que el biocarbón absorbiera una gran cantidad de humedad.

Se ve una diferencia con el estudio realizado por Shenbagavalli & Mahimairaja (2012, p.199), que señala que el porcentaje de humedad en residuos vegetativos no leñosos son bajos (1,21%); también se puede ver esta diferencia en el trabajo realizado por Balta (2019, p.28), realizado en residuos de podas, con una humedad del 8%.

La presencia de altos niveles de humedad en este estudio evidencia la alta capacidad de retención de agua del biocarbón, siendo un excelente método de ayuda al incorporarse en suelos de capacidad pobre para la retención de la humedad.

### 3.1.4 Cuantificación de la materia volátil (%), cuantificación de la ceniza (%) y materia orgánica.

**Tabla 7-3.** Cuantificación de la materia volátil (%), cuantificación de la ceniza (%) y materia orgánica.

<b>Especie/promedio</b>	<b>% materia volátil</b>	<b>% cenizas</b>	<b>% carbono total</b>
<i>Triplaris cumingiana</i> Fernán Sánchez	41,51	0,75	5,29
<i>Samanea saman</i> Samán	51,75	0,59	14,72
<i>Guazuma ulmifolia</i> Guasmo	47,11	0,55	7,87

Realizado por: Álvarez, S. 2020

Los resultados muestran porcentaje bajo de cenizas y relativamente alto contenido de materia volátil. De acuerdo con Delgadillo (2001, p.41), los contenidos bajos de material volátil y cenizas aseguran al rendimiento y desarrollo de la porosidad.

Según Zabala *et al.*, (2014: p. 316) las cenizas presentan aportes de nutrientes a corto plazo por efecto de la lixiviación o por el flujo de escorrentía.

En el estudio realizado por Balta (2019, p.28), se evidencian valores de materia volátil de 43 %, ceniza equivalente a 6.00 % y 43.00 % de carbono total, del biochar. Mientras que en el trabajo de Garzón (2018, p.61), realizado en pirolisis de Eucalipto se obtuvieron datos de 75,41%, 6,24% y 12,31% para materia volátil, ceniza y carbono total, respectivamente. Los datos obtenidos en este estudio son similares en la materia volátil con Balta, pero difieren en gran medida con Garzón; en cuanto al porcentaje de cenizas, los resultados de otros estudios son ligeramente más altos, viendo que los datos obtenidos están por debajo del 1%; mientras que los valores de carbono total son muy distantes a los obtenidos por Balta, pero relativamente parecidos a los de Garzón, especialmente en la especie *Samanea saman*.

### 3.1.5 Análisis químicos-macronutrientes N, P, K.

**Tabla 8-3.** Análisis de macronutrientes

<b>Especie / Promedio</b>	<b>% de fósforo</b>	<b>% de potasio</b>	<b>% de nitrógeno</b>
<i>Triplaris cumingiana</i> Fernán Sánchez	0,71	0,04	0,0062
<i>Samanea saman</i> Samán	0,64	0,07	0,1255
<i>Guazuma ulmifolia</i> Guasmo	0,67	0,14	0,0077

Realizado por: Álvarez, S. 2020

Los porcentajes de fósforo, potasio y nitrógeno fueron bajos demostrando que sus contenidos de macronutrientes son muy pobres, por lo que su aplicación para la adición de estos nutrientes no es recomendable a largo plazo, pero al mezclarlo con fertilizantes se podría compensar estas características.

Según Concilco et al. (2018, p.223) los contenidos para nitrógeno, fósforo y potasio son de 0,0027%, 0,00388% y 0,0332%, respectivamente; que coinciden con los datos obtenidos en este estudio en valores menores al 1%, resultados que no aportarían al mejoramiento del suelo en cuanto a macronutrientes.

### 3.1.6 Análisis del % de materia orgánica.

**Tabla 9-3.** Análisis del % de materia orgánica.

Análisis % de materia orgánica  Especie	Fernán Sánchez <i>Triplaris cumingiana</i>	Samán <i>Samanea saman</i>	Guasmo <i>Guazuma ulmifolia</i>
Promedio	2,89	2,9 4	2,4 5

Realizado por: Álvarez, S. 2020

Los porcentajes de materia orgánica de las muestras de biocarbón no tuvieron diferencias significativas. Según Niswati, (2009: p.14)., mejora las propiedades biológicas del suelo el cual es muy importante en los servicios ecosistémicos esenciales.

En un estudio se pudo evidenciar un porcentaje de 0,25 de materia orgánica, valor relativamente por debajo de los apreciados en este estudio (Concilco, 2018, p.223).

### 3.1.7 Análisis del color de la tabla de Munsell.

**Tabla 10-3.** Análisis del color de la tabla de Munsell.

Análisis del color  Especie	Fernán Sánchez <i>Triplaris cumingiana</i>	Samán <i>Samanea saman</i>	Guasmo <i>Guazuma ulmifolia</i>
Color	Value 2,5 / N Gley 1 = Black.	Value 2,5 / N Gley 1 = Black.	Value 2,5 / N Gley 1 = Black.

Realizado por: Álvarez, S. 2020

Según Olmo (2016: p. 38) menciona que el color característico del biochar favorece al suelo en la absorción de las radiaciones solares, reduciendo el albedo y un aumento en su temperatura aportando a la germinación de semillas y la actividad microbiana.

### 3.2 Evaluación de la calidad de biocarbón.

Características de las muestras de biocarbón. Los valores son los promedios de una muestra por triplicado.

**Tabla 11-3.** Tabla comparativa de los datos obtenidos.

Análisis	Fernán Sánchez <i>Triplaris cumingiana</i>	Samán <i>Samanea Saman</i>	Guasmo <i>Guazuma ulmifolia</i>
pH	10,01 Alc.	9,21 Alc.	9,80 Alc.
Conductividad eléctrica	2,34 mS/cm	1,95 mS/cm	2,17 mS/cm
% de la materia volátil	41, 51	51,75	47,11
% de cenizas	0,75	0,59	0,55
% de humedad	52,42	32,92	44,45
% carbono orgánico	5,29	14,72	7,87
% de fósforo	0,71	0,64	0,67
% de potasio	0,04	0,07	0,14
% de nitrógeno	0,006	0,12	0,006
% de materia orgánica	2,89	2,94	2,45
Color de Munsell	Gley 1 = Black.	Gley 1 = Black.	Gley 1 = Black.

Realizado por: Álvarez, S. 2020

Comparando los valores de las muestras de las tres especies se puede decir que ninguno de los individuos es mejor a otro, pero los tres son útiles para el mejoramiento del suelo en cuanto a: equilibrar el pH, aumentar la conservación de humedad, favorecer a la actividad microbiana, reducir la salinidad, al desarrollo de la porosidad y ayudar al crecimiento de las plantas. También es factible la mezcla del biocarbón con fertilizante para aportar macronutrientes al suelo.

### 3.4 Análisis económico de la producción del biocarbón.

El valor económico del biocarbón fue evaluado en base a las tres especies, dado que todas mostraron ser aptas para la incorporación al suelo y con densidades similares entre ellas; este trabajo de investigación desarrolló los siguientes cálculos:

### 3.4.1 Análisis del cálculo de producción.

Se seleccionaron trozas de tamaños similares como: 5cm de diámetro y 45 cm de altura dónde la materia prima posteriormente fue introducida en el reactor artesanal.

Ecuación:

$$V_{\text{trozas}} = \pi * r^2 * h$$

Donde;

V= volumen

h= altura

r= diámetro/2

$$V_{\text{trozas}} = \pi * (2,5\text{cm})^2 * 45\text{cm}$$

$$V_{\text{trozas}} = 883,57\text{cm}^3$$

El horno artesanal puede trabajar con 50 trozas de esas dimensiones al mismo tiempo.

$$V_{\text{trozas}} = 883,57\text{cm}^3 * \# \text{ de}$$

$$\text{trozas } V_{\text{trozas}} = 883,57\text{cm}^3 * 50$$

$$V_{\text{trozas}} = 44.178,65 \text{ cm}^3$$

A lo largo del día se pueden realizar 8 repeticiones con la misma cantidad de trozas.

$$V_{\text{trozas}} = 44.178,65 \text{ cm}^3$$

$$*8 V_{\text{trozas/día}} = 353429.2 \text{ cm}^3$$

Para el cálculo de la masa de carbón producido, partimos de la densidad de las maderas estudiadas, en el que se trabajó con las densidades de 0,54 gr/cm<sup>3</sup> dato obtenido de la fundación en la cual se operan.

$$\rho_{\text{trozas}} = \frac{m}{V} ; m = \rho * V$$

$$m_{\text{madera}} = 0,54 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 353429.2 \text{ cm}^3$$

$$m_{\text{madera}} = 190851,768 \text{ gr} = 190,85 \text{ Kg}$$

El porcentaje de producción de carbono es de 45% (dato proporcionado por La Iguana) en relación a la cantidad de masa de madera inicial.

$$M_{\text{carbón}} = 190,85 \text{ Kg} * 45\%$$

$$M_{\text{carbón}} = 85,88 \text{ Kg}$$

Para el costo de producción usamos la ecuación:

$$C_p = M_p + MOD + CI$$

Donde;

$C_p$  = costo de producción

$M_p$  = Materia prima

MOD = Mano de obra directa

$CI$  = costos indirectos = Transporte + Sacos + Uso horno

Así tenemos que:

$CI = 10 \text{ USD} + (11(\text{número de sacos para empacar } 85,88 \text{ Kg de carbón}) * 0,20 \text{ USD (costo de un saquillo)}) + 2 \text{ USD}$

$M_p = 190,85 \text{ kg} * 0,20 \text{ ctvs (costo de un Kilogramo de los restos de podas)} = 38,17 \text{ USD / Kg}$

MO = 10 USD al día (un jornalero)

$C_p = 38,17 \text{ USD} + 10 \text{ USD} + 14,20 \text{ USD} = \mathbf{62,37 \text{ USD}}$

El análisis económico de biocarbón determinó el valor aproximado de 62,37 USD en base a la relación de la producción al día de 85,88 Kg.

El costo del biocarbón tiene como limitante la forma de empleo de la tecnología en su elaboración, una encuesta mundial muestra que el precio medio del biocarbón es de 3\$ el kg y que no es asequible en lo que respecta el punto agronómico según por las altas tasas de aplicación. El costo de la aplicación también es significativo si se requiere equipos especializados, sin embargo, en los casos escalas pequeñas es más accesible debido a la disminución de la producción donde sólo se necesita un horno casero de bajo costo. Un punto a considerar en la instalación son los hogares cercanos y los gobiernos locales, es decir los costos para adquirir aprobaciones de las agencias reguladoras, los gobiernos locales y la comunidad cuando se trata de instalaciones de producción a gran escala (Singh *et al.*, 2014, p.4).

Según los valores analizados se podría obtener una remuneración de 257,64 USD al día, siendo 4,13 veces las ganancias comparadas con los gastos.

En tema de instalaciones para su elaboración puede encontrarse en escalas desde industriales hasta artesanales como esta investigación brindando un valor de ingreso adicional a los campesinos.

Algunos proyectos descentralizados a escalas pequeñas son viables ya que no requieren grandes recursos económicos para su ejecución, dado que el biocarbón es un subproducto donde su tecnología es por gasificación y no es necesario la captura de carbono (Steiner, 2010, pp.120-123).

## CONCLUSIONES

- Las propiedades encontradas en las muestras de biocarbón son óptimas para regular el pH del suelo y ayudar a la estructura.
- Mientras mayor porcentaje de ceniza menor rendimiento del biocarbón, en cuanto a estructura también se presenta una mayor lixiviación de los nutrientes. Por ende, habrá desperdicio del carbón vegetal para su incorporación en el suelo para la estructura del mismo.
- Los análisis de las muestras de biocarbón manifiestan altas posibilidades para el mejoramiento en los suelos en sus propiedades; físicas, químicas y microbiológica.
- Los porcentajes de macronutrientes (N, P, K) resultaron muy bajos por lo tanto la incorporación del biocarbón en el suelo no son idóneos para el aporte de nutrientes del mismo.
- Se calcula un 62,37 USD al día para la producción de 85,88 kg de biocarbón.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar un estudio similar a este trabajo con especies de diferentes densidades y observar sus propiedades.
- Realizar más responsabilidades políticas ambientales y económicas a la elaboración y aplicación del biocarbón.
- Efectuar estudios en la incorporación del biocarbón en el suelo para sus estudios en el desarrollo de los cultivos.
- Incentivar las aplicaciones del biocarbón en plantaciones de especies que no son nativas como eucalipto y pino ya que cubre grandes extensiones en el país.
- Sociabilizar los beneficios de los bajos costos de producción para incentivar el uso de este producto.

## **GLOSARIO**

**IPCC:** International Panel of Climate Change. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) es el organismo de las Naciones Unidas para evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático (IPCC, 1988).

**IBI:** International Biochar Initiative. / Iniciativa Internacional de Biocarbón (IBI) se formó en julio de 2006 en una reunión paralela celebrada en el Congreso Mundial de Ciencias del Suelo en Filadelfia, Pensilvania. En la reunión de 2006, individuos y representantes de instituciones académicas, empresas comerciales, banqueros de inversión, organizaciones no gubernamentales, representantes de agencias federales y el ámbito político de todo el mundo reconocieron un interés común en promover la investigación, el desarrollo, la demostración, el despliegue y comercialización de la prometedora tecnología de producción de biocarbón (IBI, 2006).

**FAO:** La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) es una agencia especializada de las Naciones Unidas que lidera los esfuerzos internacionales para vencer el hambre (FAO, 1945).

**SAFs:** Sistemas agroforestales. son sistemas multifuncionales que pueden proporcionar una gran variedad de beneficios económicos, socioculturales y ambientales. La agroforestería puede ser especialmente importante para los pequeños agricultores ya que genera diversos productos y servicios en una zona de tierra limitada. No obstante, estos sistemas tienen también sus limitaciones, por lo que es necesario llevar a cabo un análisis minucioso antes de su introducción (FAO, 1945).

**m.s.n.m.:** metros sobre el nivel del mar, son una unidad de medida estándar del sistema métrico decimal para describir la elevación de un lugar del planeta Tierra respecto del nivel medio del mar en ese lugar (RAE).

**Albedo:** porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre ella. La radiación total (= radiación global) que llega a la superficie terrestre se compone de la suma de la radiación solar (la más importante) y la radiación difusa del universo (Volkheimer, 2004).

**Turba:** material orgánico, de color pardo oscuro y rico en carbono. Está formada por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Se emplea como combustible y en la obtención de abonos orgánicos (Portalfruticola, 2008).

## **BIBLIOGRAFÍA**

**AGUIRRE, Z.** *Especies forestales Bosques Secos Ecuador* [En línea]. Quito, Ecuador: MAE - FAO, 2012. [Consulta: 02 agosto 2020]. pp.32-124. Disponible en: [https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/21/14042335632720/especies\\_forestales\\_bosques\\_secos\\_del\\_ecuador.pdf](https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/21/14042335632720/especies_forestales_bosques_secos_del_ecuador.pdf).

**ALBUQUERQUE, J.** *El biocarbón como una herramienta para limitar las emisiones de CO2 y mejorar las propiedades del suelo en el ámbito Mediterráneo*. España: 2013. ISBN: 978-84-937974-9-5, p.4.

**ANDRADES, M.; et al.** *Prácticas de edafología. Métodos didácticos para análisis de suelos*. Rioja, España: 2015. ISBN: 978-84-608-5117-2, pp.13-14.

**BALTA, R.** El carbón activado y el biocarbón en la asimilación del cadmio por el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo el invernadero (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Posgrado, Maestría en Suelos, Perú. 2019. p.16-29.

**CHIMBO, K.** Caracterización físico-química de biocarbonos elaborados tradicionalmente y su potencial en la restauración ecológica del suelo (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Estatal Amazónica, Ingeniería Ambiental. Ecuador, 2019. pp.28-31.

**CLIMATE-DATA.** *Guayaquil clima* (Ecuador) [en línea]. Ecuador. [Consulta: 9 diciembre 2020]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-del-guayas/guayaquil-2962/>

**CONCILCO, E.** et al. Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena forrajera [En línea]. *Terra Latinoamericana* 36. México. 2018, p.223. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v36n3/2395-8030-tl-36-03-221.pdf>

**DELGADILLO, G.** Preparación - caracterización de carbones activados a partir de pepas de níspero de palo (*Mespilus communi*) y su aplicación como material adsorbente de fenol (Trabajo de titulación) (Maestría). Pontificia Universidad Católica Del Perú, Escuela de Posgrado, Maestría en Química. Lima, Perú. 2011. pp.40-100.

**DURAN, E.** Arcillas y biocarbones para la eliminación de contaminantes de origen agrícola en aguas: ensayo en filtro a escala precomercial (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad de Sevilla, Facultad de Química, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. España. 2017. pp.1-295.

**ESCALANTE, A; et al.** “Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo”. *Terra Latinoamericana*, n°34 (2016), México, pp.366-379.

**FAO.** *La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. [En línea]. [Consulta: 30 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/about/en/>

**GARZON, G.** Evaluación del proceso de pirolisis de material lignoceluloso proveniente del eucalipto en atmosfera de dióxido de carbono (Proyecto de grado) (Ingeniería). Universidad Libre, Facultad De Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Bogotá, Colombia. 2018, p.61.

**GLASER, B; et al.** “The ‘Terra Preta’ phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics”. *Naturwissenschaften*, n°88 (2001), Alemania, p.37.

**GLODOWSKA, M; LYSZCZ, M.** “Biochar characteristics and application in the agriculture” [en línea]. *Strona* (2017), Polonia. pp. 83-87. [Consulta: 11 de enero 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718315093#:~:text=Application%20of%20biochar%20improves%20the,thereby%20substantially%20increasing%20crop%20yield.&text=Biochar%20is%20strongly%20recommended%20as,the%20challenges%20of%20upland%20agriculture>

**GREENFACTS.** *Sistemas de biocarbón que utilizan biomasa como fuente de energía para países en desarrollo* [blog]. GreenFacts Scientific Board, 2015. [Consulta: 08 de enero 2021]. Disponible en: <https://www.greenfacts.org/es/biocarbon/index.htm>

**IBI.** *El biocarbón es una valiosa enmienda del suelo* [En línea]. Pensilvania, USA. 2006. [Consulta: 2 agosto 2020]. Disponible en: <https://biochar-international.org/about-ibi/>

**IPCC.** *An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [En línea]. 2019a. pp.40. [Consulta: 2 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/SRCCL-Full-Report-Compiled-191128.pdf>

**IPCC.** *El Informe Especial del IPCC sobre Cambio Climático y la Tierra. ¿Qué significa para América Latina?* [En línea]. 2019b. p. 40. [Consulta: 2 agosto 2020]. Disponible en: [https://cdkn.org/wp-content/uploads/2020/04/WEB-IPCC-Land\\_Latin-America\\_Spanish\\_24March2020.pdf](https://cdkn.org/wp-content/uploads/2020/04/WEB-IPCC-Land_Latin-America_Spanish_24March2020.pdf)

**IPCC.** The Intergovernmental Panel on Climate Change [en línea], 1988. [Consulta: 29 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/2021/03/05/ipcc-reschedules-working-group-i-approval-session/>

**KETTERINGS, M.; & BIGHAM, M.** “El color del suelo como indicador de la severidad del fuego de tala y quema y la fertilidad del suelo en Sumatra, Indonesia”. *Soil science society of America journal*, n°64 (2000), Indonesia, pp.1826-1833.

**MAE.** *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental* [En línea]. Ecuador: Subsecretaría de patrimonio natural, 2013, p.66. [Consulta: 10 diciembre 2010]. Disponible en: <http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf>

**MONTOYA, L.** “Estudio de las interacciones planta-bacteria-biocarbón y de su efecto promotor de la productividad de especies de cultivos” [en línea]. *Universidad Icesi*. (2016), Cali, Colombia. p.41. [Consulta: 13 agosto 2021]. Disponible en: [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/81093/1/montoya\\_estudio\\_interacciones\\_2016.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/81093/1/montoya_estudio_interacciones_2016.pdf)

**NISWATI, A.** “Application of biochar produces changes in some soil properties”. *Department of Agrotechnology*, 2009, Indonesia, p. 11.

**OLMO, M.** Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad de Córdoba, Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal. España. 2016. pp.17-153.

**OMM/PNUMA.** *Calentamiento global de 1,5 °C*. Francia. 2018. ISBN: 978-92-9169-351-1, pp.6.

**PORTALFRUTICOLA.** [En línea]. [Consulta: 30 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/nosotros/>

**RAE.** “*Real Academia Española*. España” [En línea]. [Consulta: 30 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.rae.es/>

**SCHAHCZENSKI, J.** “Biochar and Sustainable Agriculture”. *ATTRA—National Sustainable Agriculture* [en línea], 2010, pp.1-8. [Consulta: 2 agosto 2020]. Disponible en: <http://www.pacificfarmers.com/wp-content/uploads/2015/08/biochar.pdf>

**SHENBAGAVALLI, S.; & MAHIMAIRAJA, S.** “Production and characterization of biochar from different biological wastes” [En línea]. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences* n°2 (2012), India. ISSN 223-4490. p.197. [Consulta: 2 agosto 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/S\\_Mahimairaja/publication/264890070\\_Production\\_and\\_characterization\\_of\\_biochar\\_from\\_different\\_biological\\_wastes/links/56a0b36708ae4af5254b9466/Production-and-characterization-of-biochar-from-different-biological-wastes.pdf](https://www.researchgate.net/profile/S_Mahimairaja/publication/264890070_Production_and_characterization_of_biochar_from_different_biological_wastes/links/56a0b36708ae4af5254b9466/Production-and-characterization-of-biochar-from-different-biological-wastes.pdf)

**SINGH, B., et al.** “Opportunities and constraints for biochar technology in Australian agriculture: looking beyond carbon sequestration” [en línea]. *Soil Research* (2014). Australia, DOI: 10.1071/SR14112. pp.2-18. [Consulta: 10 de enero 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Balwant\\_Singh6/publication/271843290\\_Opportunities\\_and\\_constraints\\_for\\_biochar\\_technology\\_in\\_Australian\\_agriculture\\_Looking\\_beyond\\_carbon\\_sequestration/links/55d53a9108ae1e65166375ce/Opportunities-and-constraints-for-biochar-technology-in-Australian-agriculture-Looking-beyond-carbon-sequestration.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Balwant_Singh6/publication/271843290_Opportunities_and_constraints_for_biochar_technology_in_Australian_agriculture_Looking_beyond_carbon_sequestration/links/55d53a9108ae1e65166375ce/Opportunities-and-constraints-for-biochar-technology-in-Australian-agriculture-Looking-beyond-carbon-sequestration.pdf)

**SOHI, S.; et al.** “Biochar, climate change and soil: A review to guide future research”. *CSIROLand and Water Science Report* [en línea], 2009, (United Kingdom), ISSN: 1834-6618. pp.4-45. [Consulta:

2 agosto 2020]. Disponible en: (PDF) Biochar, Climate Change and Soil: A Review to Guide Future Research (researchgate.net)

**STEINER, C.** "Las perspectivas de Biocarbón - secuestro de carbono, ciclo de nutrientes y generación de energía". *Palmas*, n° 31 (2010). Estados Unidos, pp. 120-123.

**THIES, J.; & RILLIG, M.** *Biochar for Environmental Management* [En línea]. London, United Kingdom: Earthscan, 2009. ISBN: 978-1-84407-658-1. p.85. [Consulta: 2 agosto 2020]. Disponible en:

<http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%202013-01-09.pdf>

**VOLKHEIMER, W.** "Dictionary of environmental science and technology" [En línea]. (2004). [Consulta: 30 marzo 2021]. Disponible en:

<https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Albedo.htm>

**WOOLF, D.; et al.** "Sustainable biochar to mitigate global climate change". *NATURE COMMUNICATIONS* [En línea], 2010, (United Kingdom), pp. 2-8. [Consulta: 2 agosto 2020]. Disponible en: <http://www.globalwarming-sowhat.com/carbon-sinks-sources-/sustainable-biochar-to.pdf>

**ZAVALA, L.; et al.** "How wildfires soil properties. A brief review" [En línea]. *Cuaderno de investigación geográfica* n°2, (2014), España. DOI: 10.18172/cig.2522. pp.311-331. [Consulta: 2 agosto 2020]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/profile/Antonio\\_Jordan/publication/277945337\\_How\\_wildfires\\_affect\\_soil\\_properties\\_A\\_brief\\_review/links/55c4aed208aebc967df37b37/How-wildfires-affect-soil-properties-A-brief-review.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Jordan/publication/277945337_How_wildfires_affect_soil_properties_A_brief_review/links/55c4aed208aebc967df37b37/How-wildfires-affect-soil-properties-A-brief-review.pdf).



Firmado electrónicamente por:  
**JHONATAN RODRIGO  
PARREÑO UQUILLAS**

## ANEXOS

### ANEXO A TABLA DE ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE HIDRÓGENO PH.

Análisis Especie	Fernán Sánchez <i>Triplaris cumingiana</i>	Samán <i>Samanea saman</i>	Guasmo <i>Guazuma ulmifolia</i>
Muestra 1	10,47	9,21	9,76
Muestra 2	9,74	9,24	9,77
Muestra 3	9,81	9,19	9,88
Promedio	10,01 Alc.	9,21 Alc.	9,80 Alc.

### ANEXO B TABLA DE ANÁLISIS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA MS/CM

Análisis Especie	Fernán Sánchez <i>Triplaris cumingiana</i>	Samán <i>Samanea saman</i>	Guasmo <i>Guazuma ulmifolia</i>
Muestra 1	2,43	1,92	2,23
Muestra 2	2,32	1,94	2,06
Muestra 3	2,26	1,99	2,23
Promedio	2,34 mS/cm	1,95 mS/cm	2,17 mS/cm

### ANEXO C TABLA DE DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD.

	Fernán Sánchez <i>Triplaris cumingiana</i>			Samán <i>Samanea saman</i>			Guasmo <i>Guazuma ulmifolia</i>		
	Pmhd	Pmse	% Humedad	Pmhd	Pmse	% Humedad	Pmhd	Pmse	% Humedad
Muestra 1	5,33	3,49	52,72	5,07	3,81	33,07	5,68	3,94	44,16
Muestra 2	5,14	3,37	52,52	5,00	3,77	32,63	5,21	3,61	44,32
Muestra 3	5,23	3,44	52,03	5,11	3,84	33,07	5,23	3,61	44,88
Promedios			52,43			32,92			44,45

**ANEXO D** TABLA DE CUANTIFICACIÓN DE LA MATERIA VOLÁTIL (%), CUANTIFICACIÓN DE LA CENIZA (%) Y MATERIA ORGÁNICA.

Especies	Muestras	Pmse	Pmca	Pmhd	Pceniza	% materia volátil	% ceniza	% humedad	% carbono total
Fernán Sanchez <i>Triplaris cumingiana</i>	1	3,94	1,59	5,33	1,54	44,01	0,84	52,72	2,41
	2	3,61	1,48	5,14	1,44	41,40	0,75	52,52	5,30
	3	3,61	1,56	5,23	1,52	39,12	0,67	52,03	8,16
	Promedios					41,51	0,75	52,42	5,29
Saman <i>Samanea saman</i>	1	3,81	1,21	5,07	1,18	51,12	0,73	33,07	15,07
	2	3,77	1,46	5,00	1,43	46,12	0,63	32,62	20,61
	3	3,84	0,87	5,11	0,85	58,03	0,41	33,07	8,48
	Promedios					51,75	0,59	32,92	14,72
Guasmo <i>Guazuma ulmifolia</i>	1	3,49	1,04	5,68	1,01	43,07	0,57	44,16	12,18
	2	3,37	0,68	5,21	0,66	51,57	0,37	44,32	3,72
	3	3,44	0,99	5,23	0,96	46,68	0,71	44,87	7,72
	Promedios					47,11	0,55	44,45	7,87

- Carbono total □□□□□□□□□□ (%) = 100 - (% Humedad + % Materia volátil + % Cenizas)

ANEXO E TABLA DE ANÁLISIS DEL % DE FÓSFORO.

MUESTRA	PESO MUESTRA	V. EXTRACTO	ABS	FD	ppm	%
<b>SAMAN</b>						
<b>S1</b>	0,507	30	0,502	1	3895,744	<b>0,39</b>
<b>S2</b>	0,501	30	0,489	2	7679,42	<b>0,77</b>
<b>S3</b>	0,503	30	0,326	3	7625,966	<b>0,76</b>
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0,64</b>
<b>GUASMO</b>						
<b>G1</b>	0,507	30	0,560	1	4348,477	<b>0,43</b>
<b>G2</b>	0,501	30	0,451	2	7079,079	<b>0,71</b>
<b>G3</b>	0,503	30	0,365	3	8546,5	<b>0,85</b>
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0,67</b>
<b>FERNAN SANCHEZ</b>						
<b>FS1</b>	0,507	30	0,732	1	5691,065	<b>0,57</b>
<b>FS2</b>	0,501	30	0,706	2	7079,079	<b>0,71</b>
<b>FS3</b>	0,503	30	0,684	3	8546,5	<b>0,85</b>
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0,71</b>

ANEXO F TABLA DE ANÁLISIS DEL % DE POTASIO.

MUESTRA	PESO	V. EXTRACTO	ABS	FD	ppm	%
<b>SAMAN</b>						
<b>S1</b>	0,501	30	2,125	1	387,181	<b>0,04</b>
<b>S2</b>	0,513	30	1,865	2	725,838	<b>0,07</b>
<b>S3</b>	0,506	30	1,196	3	984,8268	<b>0,10</b>
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0,07</b>
<b>GUASMO</b>						
<b>G1</b>	0,501	60	2,246	1	788,8521	<b>0,08</b>
<b>G2</b>	0,513	60	1,959	2	1473,664	<b>0,15</b>
<b>G3</b>	0,506	60	0,830	3	1839,456	<b>0,18</b>
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0,14</b>
<b>FERNAN SANCHEZ</b>						

<b>FS1</b>	0,501	90	2,201	1	218,200	<b>0,02</b>
<b>FS2</b>	0,513	90	2,001	2	356,0159	<b>0,04</b>
<b>FS3</b>	0,506	90	1,998	3	539,8107	<b>0,05</b>
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0,04</b>

**ANEXO G TABLA DE ANÁLISIS DEL % DE NITRÓGENO.**

<b>MUESTRA</b>	<b>PESO</b>	<b>V. EXTRACTO</b>	<b>ABS</b>	<b>FD</b>	<b>ppm</b>	<b>%</b>
<b>SAMAN</b>						
<b>S1</b>	0,503	30	0,735	1	1436,100729	<b>0,1436</b>
<b>S2</b>	0,501	30	0,687	2	1341,143051	<b>0,1341</b>
<b>S3</b>	0,503	30	0,520	3	986,8839638	<b>0,0987</b>
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0,1255</b>
<b>GUASMO</b>						
<b>G1</b>	0,503	60	2,320	1	77,5519736	<b>0,0078</b>
<b>G2</b>	0,501	60	2,008	2	80,99258571	<b>0,0081</b>
<b>G3</b>	0,503	60	1,875	3	73,41138799	<b>0,0073</b>
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0,0077</b>
<b>FERNAN SANCHEZ</b>						
<b>FS1</b>	0,503	90	1,987	1	56,74545543	<b>0,0057</b>
<b>FS2</b>	0,501	90	1,899	2	82,32720191	<b>0,0082</b>
<b>FS3</b>	0,503	90	1,756	3	46,24034242	<b>0,0046</b>
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0,0062</b>



## ANEXO I VISUALIZACIÓN DEL MANEJO DEL LABORATORIO

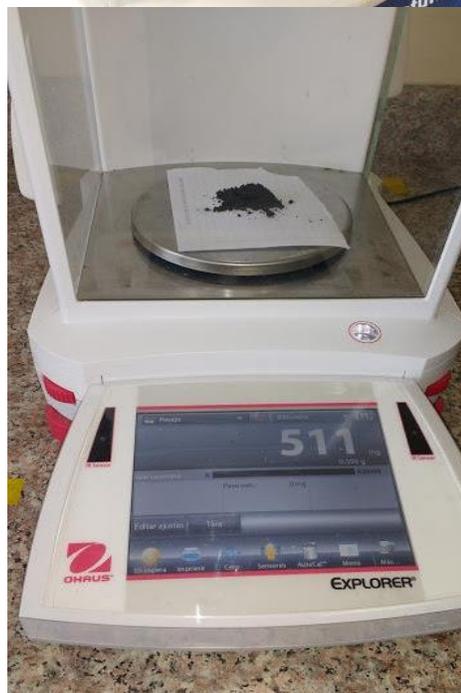


## ANEXO J APRECIACIÓN DE LAS MUESTRAS DE BIOCARBÓN.



## ANEXO K RECOPIACIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS







**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS  
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**FECHA DE ENTREGA:** 31 / 05 / 2021

**INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)**

**NOMBRES – APELLIDOS:** ÁLVAREZ VARGAS SILVANA ELIZABETH

**INFORMACIÓN INSTITUCIONAL**

**FACULTAD:** RECURSOS NATURALES

**CARRERA:** INGENIERÍA FORESTAL

**TÍTULO A OPTAR:** INGENIERO FORESTAL

**F. ANALISTA DE BIBLIOTECA RESPONSABLE:**

**ING. CPA. JHONATAN RODRIGO PARREÑO UQUILLAS. MBA.**



Firmado electrónicamente por:  
**JHONATAN RODRIGO  
PARREÑO UQUILLAS**



31-05-2021

1117-DBRA-UTP-2021