



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**OBTENCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS MADERABLES EN
EL SUR DE QUITO Y SU USO COMO FERTILIZANTE EN SUELOS**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros Ambientales

AUTORES: JOEL EMILIANO CRUZ VILLACIS

SILVIA NATHALY NOGALES YÁNEZ

TUTOR: CARLOS ANDRÉS ULLOA VACA

Quito - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Joel Emiliano Cruz Villacis con cédula de identidad 1722226642, Silvia Nathaly Nogales Yáñez con cédula de identidad 1721963948, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 28 de febrero del año 2023

Atentamente,



Joel Emiliano Cruz Villacis

1722226642



Silvia Nathaly Nogales Yáñez

1721963948

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Joel Emiliano Cruz Villacis con cédula de identidad 1722226642, Silvia Nathaly Nogales Yánez con cédula de identidad 1721963948, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Obtención de biochar a partir de residuos maderables en el sur de Quito y su uso como fertilizante en suelos”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Ambientales en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 28 de febrero del año 2023

Atentamente,



Joel Emiliano Cruz Villacis
1722226642



Silvia Nathaly Nogales Yánez
1721963948

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Andrés Ulloa Vaca con documento de identificación N° 1716457971, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría si se puede realizar el trabajo de titulación: **OBTENCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS MADERABLES EN EL SUR DE QUITO Y SU USO COMO FERTILIZANTE EN SUELOS**, realizado por Joel Emiliano Cruz Villacis con documento de identificación N° 1722226642 y por Silvia Nathaly Nogales Yáñez con documento de identificación N° 1721963948, obteniendo un trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 28 de febrero del año 2023

Atentamente,



Bioq. Carlos Andrés Ulloa Vaca MSc.
1716457971

DEDICATORIA

A Dios por darme fuerza y nunca abandonarme en cada decisión que he tomado.

A mis padres los cuales durante este tiempo han sido los pilares fundamentales para las etapas de mi vida.

A mi ñaña Merceditas quien siempre confió en mí.

A mi ñaño Diego que es una luz la cual me ha guiado para siempre seguir adelante.

A Milton Sarango por ser la persona incondicional que ha estado en mi vida.

A toda mi familia que han estado siempre apoyándome en todos los pasos que he dado.

AGRADECIMIENTO

Yo Joel Cruz como autor de esta investigación doy las gracias, a mi tutor, por todos los conocimientos que he podido obtener, por la sabiduría que me ha brindado y por nunca dejarme desfallecer.

Quiero agradecer a mis padres por siempre estar para mí, por sus enseñanzas y sus valores que son los que hoy me han llevado a estar aquí. A la universidad por la apertura en los laboratorios y los conocimientos adquiridos.

Quiero agradecer a mi enamorada Jaziel Monteros por el apoyo y los ánimos para nunca darme por vencido, de igual manera a todos los compañeros que realice en los años de estudio y que siempre llevare en mi corazón.

Como agradecimiento a mis abuelos paternos y maternos por ser la guía en mis casas por el apoyo, la paciencia, la sabiduría y más que todo el buen camino en el que me han puesto estoy inmensamente agradecido con todos ellos.

El autor Silvia Nathaly Nogales Yáñez expresa su agradecimiento a:

Dios, por darme la fuerza necesaria cuando estaba en mis duros momentos, la valentía de nunca rendirme, la sabiduría para seguir siempre adelante y el amor para ser una mujer amable. A mis padres, Lidia Yáñez y Silvio Nogales, por su apoyo, por ser mi mayor orgullo y motivación, por inculcarme valores éticos, enseñanzas y consejos que me han permitido alcanzar mis metas a lo largo de mi vida y carrera estudiantil. A mi ñaño, Diego Fernando, que desde el cielo me supo acompañar y siempre esta adentro de mi corazón. A mi hermano, Alejandro, que con sus ocurrencias y sus chistes me han hecho sonreír. A mis tíos, Vicente, Edgar, Adeo, Merceditas, Hipatia, Flora, que siempre confiaron en mí y que han estado en las buenas y en las malas, apoyándome con sus palabras de aliento y darme la fuerza para no rendirme y seguir adelante.

A Milton Sarango, por ser mi fuente de motivación, darme la fuerza de seguir por mis sueños y ser mi amigo y confidente; gracias por ser mi alegría y creer en mí. A mis primas, Mishell, Mabel, Dianela, Pamelita, Sarahí y a mi pequeña Victorita por ser la felicidad en cada aventura compartida. A mis amigos, Alex, Andreina, Pame, por todo su apoyo en cada momento. A mi tutor, quien con sus consejos y sus experiencias me guiaron para la culminación del presente proyecto. A todas las personas que forman parte de mi vida que de una u otra forma me han brindado su valiosa amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1. <i>General</i>	3
1.3.2. <i>Específicos</i>	3
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1 Marco Teórico.....	4
2.1.2. <i>Biochar</i>	4
2.1.3. <i>Pirolisis</i>	5
2.1.4. <i>Tratamientos de residuos orgánicos</i>	5
2.1.4.1. <i>Tratamientos biológicos</i>	5
2.1.4.2. <i>Tratamientos termoquímicos</i>	5
2.1.5. <i>Influencia de la composición del residuo en las propiedades del biochar</i>	7
2.1.6. <i>Caracterización de los residuos sólidos urbanos</i>	8
2.1.7. <i>Biochar propuesta ambiental</i>	9
2.1.8. <i>Biochar con el medio ambiente</i>	10
2.1.9. <i>Estructura del biochar</i>	11
2.1.10. <i>Características físicas</i>	12
2.1.11. <i>Características químicas</i>	12
2.1.12. <i>Biochar como fertilizante</i>	14
2.1.13. <i>Tecnologías de producción de biochar</i>	14
2.1.14. <i>Efectos ambientales producto de la quema de biomasa</i>	15
2.1.15. <i>Composición de la madera</i>	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Materiales.....	17
3.2 Metodología	17
3.3 Ubicación y Descripción del Área de Estudio.....	18
3.4 Técnica de Recolección de Información.....	18
3.5 Selección de Tratamientos	18
3.6 Procedimiento de para la Obtención del Biochar	19

3.7	Proceso para la medición de Potasio, Fosforo, Nitrógeno y Carbono	20
3.9	Proceso para la medición de Potasio.....	20
3.10	Proceso para la medición de Nitrógeno	21
3.11	Procedimiento para la medición de fósforo.....	23
3.12	Procedimientos para la medición de carbono	25
3.13	Cálculo de emisiones.....	24
3.14	Análisis Estadístico.....	26
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1	Datos generales obtenidos en la producción del biochar.....	27
4.2	Resultados de la medición de potasio	28
4.3	Resultados de la medición de fosforo	31
4.4	Resultados de la medición de Nitrógeno	34
4.5	Resultados de la medición de Carbono.....	37
4.6	Prueba de Tukey	40
4.7	Relación carbono nitrógeno	40
4.8	Mapa de muestreo	41
4.9	Discusión.....	42
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1	Conclusiones.....	43
5.2	Recomendaciones	45
6.	BIBLIOGRAFÍA	46
7.	ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Caracterización de los residuos sólidos urbanos DMQ</i>	9
Tabla 2. <i>Análisis elemental de distintos tipos de madera</i>	16
Tabla 3 <i>Descripción de maderas y como se identificaron</i>	19
Tabla 4. <i>Tratamientos y repeticiones</i>	26
Tabla 5. <i>Datos Generales de los Tratamientos en las repeticiones realizadas</i>	27
Tabla 6 <i>Resultados de la medición de potasio</i>	28
Tabla 7 <i>Resultados de la medición de fósforo</i>	31
Tabla 8 <i>Resultados de la medición de fosforo</i>	34
Tabla 9 <i>Resultados de la medición de Carbono</i>	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Resultados de potasio a una temperatura de 300°C.....	29
Figura 2 Resultados de potasio a una temperatura de 400°	29
Figura 3 Resultados de potasio a una temperatura de 500°C.....	30
Figura 4 Análisis de la varianza del potasio en los tratamientos.....	30
Figura 5 Resultados de fosforo a una temperatura de 300°C.....	32
Figura 6 Resultados de fosforo a una temperatura de 400°C.....	32
Figura 7 Resultados de fosforo a una temperatura de 500°C.....	33
Figura 8 Análisis de la varianza del fosforo en los tratamientos.....	33
Figura 9 Resultados de nitrógeno a una temperatura de 300°C.....	35
Figura 10 Resultados de nitrógeno a una temperatura de 400°C.....	35
Figura 11 Resultados de nitrógeno a una temperatura de 500°C.....	36
Figura 12 Análisis de la varianza del nitrógeno en los tratamientos.....	36
Figura 13 Resultados de carbono a una temperatura de 300°C.....	38
Figura 14 Resultados de carbono a una temperatura de 400°C.....	38
Figura 15 Resultados de carbono a una temperatura de 500°C.....	39
Figura 16 Análisis de la varianza del carbono en los tratamientos.....	39
Figura 17 Análisis estadístico con la prueba de Tukey	40
Figura 18 Análisis de la relación carbono nitrógeno	40
Figura 19 Mapa de los aserraderos entrevistados y muestreados.....	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Quemado en la mufla para obtener biochar</i>	50
Anexo 2. <i>Preparación de la medición de parámetros</i>	50
Anexo 3. <i>Digestión de las muestras</i>	51
Anexo 4. <i>Medición de parámetros</i>	51

RESUMEN

En el Sur del Distrito Metropolitano de Quito existe varios aserraderos, carpinterías, los cuales sus residuos maderables son arrojados a los basureros y no tienen un proceso de reciclaje; por esta razón se realizó este trabajo experimental; con el fin de aprovechar los residuos maderables con la elaboración de biochar.

Se realizó un muestreo en diferentes puntos de aserraderos del Sur de Quito, en los cuales se preguntó y se procedió a la recolección de los 3 residuos maderables más representativos y generados; con la recolección de estos residuos se procedió a la elaboración de biochar mediante la pirólisis. Este proceso de pirolisis se realizó mediante la mufla la cual se introdujo la madera y se llevó a diferentes temperaturas para la obtención de biochar; teniendo en cuenta que es una reacción sin oxígeno. Una vez obtenido en biochar se procedió a un análisis de nutrientes con el propósito de conocer cuál sería en mejor fertilizante y podría ayudar a la recuperación de suelos. Mediante esta investigación se quiere dejar en claro que los residuos maderables son de gran utilidad y que no es necesario que lleguen a tener una disposición final teniendo en cuenta el costo-beneficio para la ciudad.

Palabras Clave: Biochar. mufla, pirolisis, análisis de nutrientes

ABSTRACT

In the South of the Metropolitan District of Quito there are several sawmills, carpentry, which their timber waste is thrown into garbage dumps and do not have a recycling process; For this reason, this experimental work was carried out; in order to take advantage of timber waste with the production of biochar.

A sampling was carried out in different points of sawmills in the South of Quito, in which the 3 most representative and generated timber waste was asked and collected; With the collection of this waste, biochar was made by pyrolysis. This pyrolysis process was carried out by means of the muffle which introduced the wood and was taken to different temperatures to obtain biochar; considering that it is a reaction without oxygen. Once obtained in biochar, a nutrient analysis was carried out in order to know what would be the best fertilizer and could help the recovery of soils. Through this research we want to make it clear that timber waste is very useful and that it is not necessary to have a final disposal taking into account the cost-benefit for the city.

Keywords: Biochar. Muffle, pyrolysis, nutrient analysis

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el Ecuador la gestión de los residuos generados se rige a múltiples regulaciones ambientales por leyes, normas, planes, programas y reglamento, las cuales promueven diferentes alternativas de un mejor manejo de residuos.

La gestión inadecuada de los residuos industriales y municipales puede tener efectos negativos en el medio ambiente, como la contaminación del aire, del agua y del suelo, y contribuir al cambio climático, que de forma ulterior afecta los ecosistemas y la salud humana.

En la actualidad, existe variedad de tratamiento de residuos, ya sean peligrosos o no, por ejemplos físicos, químicos, biológicos, termoquímico. Este último, también se conoce como pirólisis y consiste en incinerar sin presencia de oxígeno. Este tratamiento se puede aplicar a diferentes tipos de residuos como vidrio, materia orgánica, gases, metales y también a la madera.

Dentro de los residuos generados en el Distrito Metropolitano de Quito tenemos los residuos maderables, los cuales actualmente no tienen ningún tipo de aprovechamiento, No obstante, existen investigaciones y prácticas comunes en otros países en los que se aprovecha la madera de diversas formas, una de ellas consiste en la conversión de esta hacia biochar, que se puede aplicar como abono para el suelo. Una vez aplicado en el suelo favorece la actividad microbiana, aumenta la retención de humedad y capacidad de almacenamiento de agua., por lo que, este producto puede ser de gran utilidad para, mediante su aplicación, evitar la degradación del suelo en la Sierra ecuatorial que es una de las consecuencias del cambio climático. El mecanismo de producción de biochar es la pirólisis, un proceso termoquímico para obtener energía o productos químicos a partir de la combustión de biomasa, que puede ser de origen animal, vegetal, y puede o no ser pretratado. (Lehmann, J. and S. Joseph., 2009).

1.2 Justificación

Las actividades humanas a lo largo de la historia se ven comprometidas por la mejora en las condiciones de vida, siempre buscando tener más lo que ha llevado en los últimos años a la producción y acumulación indiscriminada de residuos en las ciudades, generando un problema al momento de ser dispuestos para el reciclaje, reutilización o entrega al relleno sanitario. En su gran mayoría se intenta dar una nueva vida o utilizarlos en otras condiciones, pero al no disponer de una cultura de separación de residuos en su mayoría se ven contaminados con materias orgánicas lo que reduce su posibilidad en otros usos, de igual manera en las estaciones de transferencia se da una mayor prioridad a reciclar plásticos, papel, cartón, etc. Por el mismo convenio que se tiene en las ciudades puesto que esto les deja ganancia para continuar con sus labores.

En consideración con la generación de residuos sólidos urbanos en el Distrito Metropolitano de Quito se buscará un nuevo uso a los residuos maderables como medida que contrarreste la acumulación de los mismos en los rellenos sanitarios y en las estaciones de transferencia disminuyendo el cambio climático, para generar productos de fertilización de suelos que van a ser utilizados en la misma ciudad en proyectos de áreas verdes, parques, reforestación, huertos urbanos, etc. Mejorando la calidad de los suelos de una manera amigable con el medio ambiente,

El trabajo experimental es factible a realizarse por el beneficio a la ciudad en la gestión de residuos, aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de forma técnica y teórica sobre la gestión integral de residuos, y el apoyo de la universidad para impulsar las investigaciones necesarias.

1.3 Objetivos

1.3.1. General

Obtener biochar (carbón vegetal) a partir de residuos de madera mediante un proceso de pirólisis.

1.3.2. Específicos

Identificar las 3 especies más representativas de madera desechada como residuo urbano a través de una caracterización de residuos maderables generados en el distrito metropolitano sur de Quito.

Comparar la calidad nutricional del biochar, obtenido a partir de las 3 especies de madera a través de análisis físico químicos de cada uno de los productos obtenidos.

Determinar la relación de costo - beneficio de la producción de biochar, a través de un análisis económico del proceso de producción.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Marco Teórico

2.1.1. *Residuos sólidos urbanos*

El verdadero problema de la sociedad, lo difícil es darnos cuenta que la acumulación de estos residuos está afectando el desarrollo de las ciudades y llegando a ser perjudiciales para el ser humano “La acumulación de residuos sólidos municipales puede afectar la salud de las personas debido a la crianza de roedores, cucarachas y moscas, que son portadoras de diversas enfermedades”(MS Perú, 2019). Lo principal es la salud por ello debemos tomar medidas para controlar esta acumulación de residuos.

2.1.2. *Biochar*

Para dar un nuevo uso a los residuos y reconstituir los suelos de manera económica se puede utilizar el biochar “El biochar es carbón vegetal obtenido a partir de biomasa que ha sido pirolizada a temperaturas relativamente altas en un ambiente anóxico” (Marquetti, 2020). El biochar es la solución para terminar con los residuos y darle una nueva oportunidad de uso. “El biochar, que es un producto del pirólisis, se ha utilizado recientemente como aditivo para el suelo. Se sugiere para mejorar las propiedades del suelo y darle valor adicional”(Gómez, 2016). Mediante la colocación del biochar se puede mejorar muchas condiciones del suelo, “La pérdida de fertilidad y la degradación del suelo se ven exacerbadas por el cambio climático, interrumpiendo la producción de alimentos y afectando la disponibilidad de agua”(Escalante et al., 2016). De esta manera se logra dar un nuevo uso a los residuos y se beneficia al suelo en estos aspectos.

2.1.3. Pirolisis

La pirólisis es la acción térmica que se hace a una sustancia con la ausencia de oxígeno, dando un resultado una sustancia descompuesta bajo la influencia del calor sin quemarse, esto quiere decir sin que se forme cenizas. Es importante conocer que el único oxígeno que se tiene en el proceso es el que presenta el residuo a tratar; y así se debe trabajar a una temperatura entre 300°C y 800°C. (GreyWater, 2011). Con este proceso se va a obtener un biochar que tendrá excelentes características nutricionales y que ayudará a mejorar las condiciones del suelo.

2.1.4. Tratamientos de residuos orgánicos

Existen diferentes tipos de tratamientos para los residuos generados.

2.1.4.1. Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos son procesos de biodegradación de sustancia o materia orgánica los cuales son tratados con microorganismos que son llevados a condiciones ambientales tales como: temperatura, pH y algo muy importante la presencia o la ausencia de aire.

Los tratamientos biológicos se pueden dividir en tres grupos, dependiendo el proceso concreto al cual se llevará a cabo los microorganismos.

COMPOSTAJE: Es el proceso por el cual se dará lugar una transformación de las sustancias o material orgánico de una manera aeróbica y termófila sabiendo que se asimilará la materia orgánica con la ayuda de los microorganismos esto en presencia de oxígeno; para dar lugar al compost. (Camacho García Alicia, 2010).

DIGESTIÓN ANAEROBIA O BIOMETANIZACIÓN: Es un proceso biológico en el cual en ausencia de oxígeno y mediante la reacción de bacterias específicas va a reaccionar conjuntamente con la materia orgánica y se dará lugar a la descomposición del biogás mediante reacciones bioquímicas de biomasa.

FERMENTACIÓN: Es el proceso por el cual los microorganismos crecen y se propagan en un medio azucarado y cuya reacción dará resultado a la generación de CO₂ y alcoholes. (Smith. R.L,2015). Este proceso se dará en un metabolismo catabólico es cual producirá energía para las acciones que se dará en los microorganismos; teniendo en cuenta que este proceso se dará en ausencia de oxígeno. El objetivo de la fermentación es la producción de bioetanol.

2.1.4.2. Tratamientos termoquímicos

Los tratamientos termoquímicos de los residuos se consideran a la transformación de los residuos mediante la aplicación de energía calorífica las cuales pueden ser por incineración, pirólisis, secado.

GASIFICACIÓN: Es un proceso por el cual se produce la combustión parcial de la biomasa; la cual se dará lugar a la quema parcial de biomasa y dará lugar a una reacción química exotérmica esto quiere decir que se desprenderá calor y produciendo óxido esto a la combustión que se dio. Esto tendrá lugar a temperaturas elevadas entre 600°C-1200°C durante un tiempo de residencia corto de 10s-20s. (Brewer., 2009).

CARBONIZACIÓN HIDROTERMAL (HTC): Es el proceso que se dará para el cambio de la materia prima orgánica en un producto sólido rico en carbono, el cual se lo llama hidrochar, este proceso se dará en a una temperatura comprendido entre 180°C – 260°C. La biomasa húmeda se calienta en un sistema confinado bajo presión (entre 2 y 6 MPa) durante un tiempo variable (Libra et al., 2011; Mumme et al., 2011; Hoekman et al., 2013).

En el proceso de carbonización hidrotermal, se debe tener en cuenta que es un método de pretratamiento de la biomasa conociendo que la biomasa es aplicada como combustible, en industrias; pero no es una alternativa de buen uso ya que la biomasa con la combustión directa generará mayores gases de efecto invernadero ya que existe mayor cantidad de humedad, oxígeno en la biomasa.

En el proceso de carbonización hidrotermal se obtienen 3 productos; una fracción sólida, una fracción líquida (bioaceite mezclado con agua) y una pequeña fracción gaseosa (principalmente CO₂).

En la carbonización hidrotermal (HTC), el producto objetivo del proceso es el hidrocarbón; el rendimiento en peso está entre 40% y 70%. Sin embargo, para ser utilizado como combustible, el hidrocarbón debe pasar por varios pasos, como la deshidratación mecánica, la filtración y el secado térmico, ya que cuando el carbón sale del proceso de carbonización hidrotermal, se encuentra en forma de lodo líquido en estado húmedo. (Kambo y Dutta; 2015).

2.1.5. Influencia de la composición del residuo en las propiedades del biochar

La composición de la materia prima juega un papel importante en la composición química del biochar y tiene efectos en su comportamiento como enmienda orgánica para los suelos y como sumidero de carbono. (McBeath, A.V., Smernik, R.J., Krull, E.S., Lehmann, J., 2014).

Biochar tiene varias propiedades las cuales dependen de las propiedades de la materia prima se debe tener en cuenta el carbono total, el carbono fijo y los elementos minerales del biocarbón; otras propiedades, como el área superficial del biocarbón y el pH, se ven más afectadas por el tratamiento a alta o baja temperatura. El potencial total de

secuestro de carbono depende de la fuente de materia prima y la temperatura de procesamiento; los biocarbón más estables suelen producirse a temperaturas más altas.

2.1.6. Caracterización de los residuos sólidos urbanos

Para tener un conocimiento de sobre los porcentajes de los residuos generados en el Distrito Metropolitano de Quito se puede disponer de esta información en las estaciones de transferencia Norte y Sur, de esta manera se puede establecer la caracterización de los residuos.

Según el EMGIRS la estación de transferencia Sur consta con carga directa de alta capacidad con compactadora de desechos en la cual se receptan los residuos generados en el Sur del Distrito Metropolitano de Quito, se puede constatar que los desechos entrantes se colocan temporalmente en un cobertizo de transferencia y se empujan a la tolva mediante un cargador frontal, que está conectado directamente al sistema de compactación de desechos para reducir los volúmenes y optimizar el transporte. Actualmente, en esta área activa no se separan los materiales reciclables, pero existe una instalación de clasificación urbana en otra área de la estación de transferencia, que es gestionada directamente por EMGIRS-EP.

La empresa responsable de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos del Sur del Distrito Metropolitano de Quito ha caracterizado y especificado de cada grupo de residuos como: papel, plástico, cartón, vidrio, chatarra, envases tetrapak, residuos orgánicos y llantas usadas; es decir, qué porcentajes o cantidades de éstos son aptos para su aprovechamiento.

Mediante la consultoría se evidenció el promedio de las dos Estaciones de Transferencia de Residuos Sólidos en la ciudad de Quito mostrando los siguientes resultados:

Tabla 1.

Caracterización de los residuos sólidos urbanos del Sur DMQ

MATERIAL	%
1. PAPEL	2,188%
2. CARTÓN	1,974%
3. COMPUESTOS (*)	0,686%
4. PELIGROSOS (PILAS, BATERÍAS)	0,040%
5. BOTELLAS PET (1)	3,012%
6. PLÁSTICOS ALTA DENSIDAD (2)	2,296%
7. FUNDAS PLÁSTICAS (BAJA DENSIDAD - 4)	5,527%
8. POLIPROPILENO (5)	2,150%
9. POLIESTIRENO (6)	0,920%
10. INERTES (LOSA, CERÁMICA, TIERRA)	0,382%
11. ORGÁNICOS DE JARDÍN	0,054%
12. ORGÁNICOS DE COCINA	57,673%
13. RECHAZOS (PAPEL HIGIENICO, PAÑALES)	8,568%
14. ELECTRÓNICOS	0,248%
15. TEXTILES	4,235%
16. METÁLICOS FERROSO	0,827%
17. METÁLICOS NO FERROSO	0,181%
18. VIDRIO	1,556%
19. MADERA	0,877%
20. MENOR A 1 CM	6,289%
21. HOSPITALARIOS Y MEDICAMENTOS	0,314%
22 OTROS	0,000%
TOTAL	100,000%

Nota: Caracterización de los residuos sólidos urbanos en el Sur del Distrito Metropolitano de Quito. Elaborado por: EMGIRS-EP.

2.1.7. Biochar propuesta ambiental.

Se debe tener en cuenta que el biochar es carbón vegetal esto quiere decir que se obtiene de restos vegetales y residuos de biomasa, conociendo que este biochar no se le va a utilizar como combustible, no se quema, sino que es aplicado al suelo para mejorar las características de este. Los expertos que han investigado sobre es biocarbón han dicho que en combinación con fertilizantes la producción vegetal incrementa y estimula la actividad microbiana, así mismo, el bichar ayuda a regular en pH de los suelos muy ácidos y mejora sus propiedades físicas y químicas.

2.1.8. Biochar con el medio ambiente

El cambio climático que se puede ver en los últimos años es muy notorio esto es ya que existe una variabilidad de sus propiedades y uno de los cambios que se va dando a un período largo de tiempo son los suelos y esto se debe a los procesos internos y a fuerzas externas a los cambios persistentes en la atmósfera, por este motivo el biochar es una ayuda ya que el ser humano es el encargado y el responsable que exista el cambio climático y con esto el daño que hace al suelo; por esta razón el mismo ser humano debe ser el encargado de mitigar y eliminar los daños provocados.

Es muy importante conocer sobre las formas favorables que tiene el biochar, una de las formas a ser utilizado es como un material que deba ser usado e incorporado a los suelos. El uso de biochar en suelos incide en el ciclo de carbono, permitiendo el uso de una parte de la biomasa con fines energéticos y por otro lado concediendo al suelo la capacidad de retención de carbono, dado la estabilidad y recalcitrancia del biochar, al convertirse los compuestos de carbono fácilmente mineralizables de la biomasa de partida en estructuras de anillos condensados en el biochar. (Woolf et al., 2010).

Según Rondon (2005) el biocarbón se puede utilizar como un medio de almacenamiento de carbono a largo plazo en el suelo, para aumentar la fertilidad del suelo y como un importante factor de mitigación del cambio climático. Aunque actualmente hay poca evidencia de su impacto en los flujos netos de gases de efecto invernadero y el calentamiento global, se destaca que al ser aplicado el biochar en los suelos este va a contribuir en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las investigaciones dadas por Sohi et., (2009) nos dice que el biochar en n relación con la reducción de emisiones de los GEI representa un campo de estudio que aún no se ha completado satisfactoriamente. Así es que la repercusión de la aplicación de biochar en suelos en la emisión de GEI distintos al CO₂, como son el metano (CH₄) o el óxido nitroso (N₂O), requiere de una mayor investigación y aun no se conoce con exactitud el alcance que supone el uso del biochar como instrumento de mitigación de las emisiones de estos gases.

2.1.9. Estructura del biochar

Algunos autores consideran que la composición química de los biocarbones es muy similar al carbón producido para combustible y que lo único que los distingue es el objetivo para el cual fueron preparados (Schahczenski, 2010). Sin embargo, el biocarbón presenta relaciones O/C más altas que el carbón mineral, que también tiene su origen en la biomasa, pero que se forma por procesos geológicos en tiempos que comprenden escalas geológicas (Major, 2011).

Con respecto a sus propiedades físicas, el biocarbón es un sólido carbonoso, de color negro, con una superficie intrincada y desordenada, cuyas características estructurales varían por el tipo y tiempo de la pirólisis. En general es amorfo según estudios de microscopía electrónica de barrido realizados por Qiu et al. (2008). El biocarbón está constituido por partículas de diferentes tamaños, lo que depende de la fuente y tamaño de la materia prima (Lehmann, 2007).

2.1.10. Características físicas

La forma del biochar es parecida a la de las leñas y esto también depende de donde procede y esta puede ser muy variada, aunque el color difiere mucho pero siempre va hacer oscuro y esto se debe a la reacción de carbonización que se produce al hacer la pirólisis.

El tamaño del carbón va a depender de la materia prima que se emplea para la reacción de carbonización.

“La densidad normalmente dependerá de la materia prima la cual se realizó la pirólisis, existe una gran diferencia en las especies frondosas y las especies coníferas; algo muy importante que se debe tener en cuenta es la temperatura a la cual se llevó a cabo el proceso.

- Temperatura de carbonización 150 °C: Densidad real (Kg/m³) 1.500
- Temperatura de carbonización 240 °C Densidad real (Kg/m³) 1.500
- Temperatura de carbonización 270 °C: Densidad real (Kg/m³) 1.400
- Temperatura de carbonización 1.600 °C: Densidad real (Kg/m³) 2.000”

(CEUPE, 2019).

2.1.11. Características químicas

Una de las particularidades del biochar es su alto contenido en carbono orgánico. Estas estructuras de carbono se forman a lo largo del proceso de pirólisis y son fundamentales a la hora de definir propiedades como la mineralización y la adsorción del biochar. Las propiedades químicas de estas estructuras presentes en el biochar difieren mucho de las que ostenta la materia prima a partir de la cual se ha obtenido el material (Lehmann y Joseph, 2015).

Composición química: depende de la composición química de la sustancia utilizada para producir el carbón, la temperatura a la que se realiza el proceso y el tipo de carbonización utilizada. Suponiendo otros factores, el carbón producido a partir de una materia prima con alto contenido de carbono tendrá más carbono y, por lo tanto, un poder calorífico superior. Además, con el aumento de la temperatura también se obtiene un carbón con mayor contenido en este elemento.

- “• Temperatura de pirólisis (°C) 100: % C 50,28
- Temperatura de pirólisis (°C) 200: % C 48,88
- Temperatura de pirólisis (°C) 250: % C 50,64
- Temperatura de pirólisis (°C) 300: % C 58,75
- Temperatura de pirólisis (°C) 350: % C 75,69
- Temperatura de pirólisis (°C) 400: % C 76,89
- Temperatura de pirólisis (°C) 450: % C 81,18
- Temperatura de pirólisis (°C) 500: % C 82,96
- Temperatura de pirólisis (°C) 550: % C 87,11
- Temperatura de pirólisis (°C) 600: % C 89,39

Poder calorífico: depende de la composición química de la materia prima empleada y del proceso de carbonización empleado” (CEUPE, 2019).

2.1.12. Biochar como fertilizante

El biochar mejora las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, ya que al hacer contacto con el suelo ayuda a la retención de los nutrientes, mejora su fertilidad, liberando cantidades de fósforo y otros nutrientes esenciales como el azufre. Estos beneficios del biochar se han atribuido a diversos efectos, como la disminución en la densidad aparente, la mejora de la dinámica del agua al modificar la estructura del suelo y la capacidad de almacenamiento de agua del terreno (Lehmann, 2009). Por lo que se puede decir que el biochar puede ser tomado como enmienda para el tratamiento de los suelos ya sean que estén contaminados o en restauración; porque si existe un suelo con un pH ácido este puede ayudar a incrementar el pH y a reducir los contaminantes existentes en el suelo.

2.1.13. Tecnologías de producción de biochar

El biocarbón es carbón sólido que se utiliza principalmente para mejorar la gestión sostenible de la tierra, lo que agrega valor a las prácticas agrícolas y al medio ambiente. Por esta razón, el biocarbón se diferencia del carbón vegetal en que se utiliza principalmente para la restauración del suelo, no como combustible. Además, el carbón vegetal se produce tradicionalmente a partir de madera, mientras que el biocarbón se puede producir a partir de diferentes biomásas.

Las tecnologías para la obtención de biochar son:

1. pirólisis
2. Tecnologías combinadas
3. Alimentación de materiales pretratados
4. Instalaciones con tratamiento secundario de los productos

2.1.14. Efectos ambientales producto de la quema de biomasa

En la actualidad el mayor problema que se tiene es el cambio climático, esto debido a los gases de efecto invernadero; por esta razón la quema de biomasa es un efecto ya que las reacciones de oxidación al entrar oxígeno vendrían a ser una reacción exotérmica que dará producto a algunos gases.

Al quemar biomasa como por ejemplo los residuos de maderas existes factores como la humedad la cual provoca combustiones incompletas produciendo carbonilla o carbón, monóxido de carbono (CO); y a su vez esta biomasa contiene una porción de azufre por lo cual las emisiones al ambiente son los óxidos.

Según S. Anchaluiza el fuego provoca varios efectos ambientales, como la muerte de la flora, agotamiento de biomasa y emanaciones de humo. La consecuencia post-fuego provoca variación en el microclima, aumento de temperatura de la tierra, variación en los nutrientes de la tierra, cambios en la acción microbiana y alteraciones en el hábitat de los vertebrados e invernadero. Cuando el suelo de las plantaciones de eucalipto se calienta, también lo hace aumentar la evaporación del agua y deja que pierda su actividad; los descomponedores como microorganismos y lombrices de tierra porque estos organismos son sensibles a la temperatura.

2.1.15. Composición de la madera

La madera está constituida por un 50% de carbono (C), 42% de oxígeno (O), 6% de hidrógeno (H) y el 2% de resto de nitrógeno (N) y otros elementos; todo esto conjuntamente con la formación de la celulosa y la lignina. Composición: "La madera es de procedencia vegetal y está constituida de distintas sustancias moleculares:

- La celulosa, sustancia que se halla en los vegetales, es la mitad de lo que está

constituida de la madera.

- La lignina es otro de sus elementos, actúa para fortificar y endurecer la madera.
- La hemicelulosa, consiente en la unión fibrosa en la madera.
- Por último, dependiendo de la madera, se pueden hallar distintas sustancias en varias proporciones: resinas, almidón, oleínas, azúcares, taninos, entre otros.

Las circunstancias del desarrollo del árbol de cada madera, como la especie, determina en mayor medida los factores y proporciones". (Majofesa, 2018). Según Cuesta (2019) realizó un estudio básico para establecer la agrupación de C, H, O, N y S que se halla en la madera sin alternar, previo al pirólisis, esto se muestra en la Tabla 2. Dicho estudio se ejecuta a través de un cromatógrafo de gases que establece el porcentaje de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre, como CO₂, H₂O, N₂ y SO₂ respectivamente.

Tabla 2.

Análisis elemental de distintos tipos de madera

Tipo de Madera	Análisis elemental				
	C (peso %)	H (peso %)	N (peso %)	O (peso %)	S (peso %)
Madera de eucalipto	48.65	6.16	0.28	44.97	-
Madera de haya	50.8	5.9	0.3	42.9	0.02
Madera de paulownia	44.73	6.12	0.87	48.28	-
Madera de pino brutia	50.18	5.14	0.45	43.96	-
Madera de pino radiata	49.3	6.42	0.04	42.5	0.09
Madera de bamboo	39	6.1	0.6	54	0.018

Nota: composición de la madera con Diseño y simulación de un horno pirolítico de 200 litros para la generación de biochar. Elaborado por Calero María. (Universidad Politécnica Salesiana).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

- ✓ Horno para pirólisis (mufla)
- ✓ Crisol de porcelana
- ✓ Libretas de apuntes
- ✓ Pinzas de crisol
- ✓ Biomasa
- ✓ Triturador
- ✓ Fotómetro multiparámetro

3.2 Metodología

Para obtener el biochar se empleará el método de descomposición térmica de sustancias en una mufla la misma que no permite la entrada de aire, por tanto la cantidad de oxígeno es reducida, Durante este proceso de pirólisis se colocará en diferentes rangos temperatura, puesto que tienen lugar diferentes reacciones químicas a diferentes temperaturas (Biocarb et al., 2019).

- Pirólisis lenta se caracteriza por etapas de calentamiento de biomasa lentos, de bajo calor y de larga duración (300 °C)
- Pirólisis rápida Calentamiento superior. Producto de alta calidad debido al corto tiempo de cocción al vapor. (400°C)
- Pirólisis ultrarrápida se caracteriza por una alta velocidad de calentamiento. El tiempo de residencia del vapor suele ser inferior a 2 segundos. Este sistema produce significativamente menos alquitrán y gas. (600°C).

3.3 Ubicación y Descripción del Área de Estudio

La caracterización de residuos maderables se desarrollará en el sur del Distrito Metropolitano de Quito, para lo cual se tendrá en consideración las productoras madereras y aserraderos en la zona sur de la ciudad que ocupa 372.4 km² de superficie. (Prefectura de Pichincha, 2017).

3.4 Técnica de Recolección de Información

Se recopilarán datos mediante entrevistas aplicadas a los aserraderos para conocer que maderas son las más utilizadas en la producción, y la información obtenida se comparará “in situ” con los residuos que llegan a la estación de transferencia sur. Por último, se recolectarán muestras de las 3 especies maderables más representativas según la información recabada.

3.5 Selección de Tratamientos

Para la investigación se seleccionó el sector sur del distrito metropolitano de Quito, se seleccionaron al azar 10 aserraderos en los cuales se aplicó el método de adquisición de información por medio de entrevistas y como resultado de las mismas, se determinaron las siguientes especies maderables como los residuos que más generan.

- 1) LAUREL (*Nectandra spp*)
- 2) PINO (*Pinus radiata*)
- 3) EUCALIPTO (*Eucalyptus Globulus*)

Tabla 3.

Descripción de maderas y como se identificaron.

Descripción y uso	Descripción
Madera que se trabaja de forma fácil comúnmente se usa como soporte por su fuerza como las patas de muebles o soportes de peso.	LAUREL (<i>Nectandra spp</i>)
Madera cuya característica principal son los nudos, y puede presentar bolsas de resina usada para el diseño de puertas, ventanas, pisos, muebles.	PINO (<i>Pinus radiata</i>)
Madera usada en la fabricación de postes, tableros, y serrería. De un peso semipesado, semidura, caracterizada por un color amarillento rosado pálido y tiene pocos poros.	EUCALIPTO (<i>Eucalyptus Globulus</i>)

Nota. Se describen los tipos de madera a ser estudiados. Elaborado por: Los autores.

3.6 Procedimiento de para la Obtención del Biochar

Para la producción del biochar se llevó a cabo con la recolección de la materia prima, la cual se obtuvo de las carpinterías y cerrajerías del Sur de Distrito Metropolitano de Quito, y tal como se describió anteriormente, los residuos maderables que más son producidos son el laurel, pino y eucalipto; y que su uso prevalente es en mueblería.

3.7 Proceso para la medición de Potasio, Fosforo, Nitrógeno y Carbono

Para la medición de estos nutrientes se debió hacer una dilución de la muestra la cual fue:

$$\frac{2g \text{ biochar}}{100ml \text{ solución}} = \% \text{ o (g/100 mL)}$$

Para las mediciones se aplicó el manual del equipo HI83399 a utilizar el cual fue el fotómetro multiparámetros con DQO de Hanna

3.8 Variables a Estudiar

En la presente investigación experimental se analizará algunas variables para la estimación del mejor fertilizante para el suelo:

- ✓ Nitrógeno
- ✓ Potasio
- ✓ Carbono
- ✓ Fosforo

3.9 Proceso para la medición de Potasio

El manual del equipo Hanna menciona el siguiente procedimiento para la medición de Potasio total

- Llene la cubeta con 10 mL de la muestra no reaccionada.
- Agregue 6 gotas del reactivo potasio A HI93750A-0. Coloque de nuevo la tapa y gire la solución.
- Coloque la cubeta en el soporte y cierre la tapa.
- Presione la tecla cero (Zero). Al final de la medición cero la pantalla muestra el indicador "0.0-". El medidor está ahora listo para la medición.

- Agregue 1 paquete del reactivo potasio BHI 93750B-0. Coloque de nuevo la tapa y agite suavemente durante 1 minuto.
- Coloque de nuevo la cubeta en el instrumento y cierre la tapa.
- Presione el temporizador (Timer) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva antes de realizar la medición o espere 2 minutos y presione el botón leer (Read). Cuando el temporizador termine, el medidor realizará la lectura. El instrumento muestra los resultados en mg/L de potasio (K).
- Presione la tecla Chem Frm para realizar la conversión del resultado en mg/L de óxido de potasio (K₂O).

3.10 Proceso para la medición de Nitrógeno

El manual del equipo Hanna menciona el siguiente procedimiento para la medición de Nitrógeno total

- Precaliente el reactor Hanna a 105 °C (221 °F). Se recomienda fuertemente utilizar el escudo de seguridad opcional HI 740217.
- Retire la tapa de 2 viales de digestión de nitrógeno total, rango alto HI 93767B-B.
- Añada a cada vial 1 paquete de persulfato de potasio PERSULFATE/N.
- Agregue 0.5 mL de agua desionizada al primer vial (#1, blanco) y 0.5 mL de muestra al segundo vial (#2, muestra), manteniéndolos en un ángulo de 45 grados.
- Coloque de nuevo la tapa y agite vigorosamente por 30 segundos hasta que el polvo se disuelva por completo.

- Introduzca los viales en el reactor y caliéntelos a una temperatura de 105 °C por 30 minutos.
- Luego de finalizar el proceso de digestión, coloque los viales en el estante de tubos de ensayo y déjelos enfriar a temperatura ambiente.
- Introduzca el adaptador de vial de 16 mm siguiendo el procedimiento descrito en la sección utilizando el adaptador de vial de 16 mm.
- Para realizar este método, el instrumento proporciona 3 temporizadores de reacción, los cuales se pueden utilizar durante todo el procedimiento.
- Retire la tapa y agregue a cada vial el contenido de 1 paquete de metabisulfito de sodio, BISULFITE/N. Coloque de nuevo la tapa y agite suavemente por 15 segundos.
- Presione el temporizador (Timer) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva antes de añadir el reactivo nitrógeno total HI 93767-0, o espere 3 minutos.
- Retire la tapa de los viales y añada a cada uno 1 paquete del reactivo nitrógeno total HI 93767-0. Coloque de nuevo la tapa y agite suavemente por 15 segundos.
- Presione continuar (Continue) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva o espere 2 minutos.
- Retire la tapa de 2 viales de digestión de nitrógeno total, rango alto HI 93766V-0HR.
- Agregue a uno de los viales de reactivo (#1) 2 mL del blanco digerido, y al segundo vial de reactivo (#2) 2 mL de muestra digerida, manteniendo los viales en un ángulo de 45 grados.
- Coloque de nuevo la tapa fuertemente e invierta 10 veces.

- Coloque el vial de la muestra (#1) en el soporte.
- Presione continuar (Continue) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva o espere 5 minutos.
- Presione la tecla cero (Zero). La pantalla muestra el indicador "-0.0-".
- Retire el vial de blanco.
- Coloque el vial de la muestra (#2) en el soporte.
- Presione el botón de leer (Read) para comenzar la lectura. El instrumento muestra los resultados en mg/L de nitrógeno (N).
- Oprima \wedge o \vee para acceder a las funciones de segundo nivel.
- Presione la tecla Chem Frm para realizar la conversión del resultado en mg/L de amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-).

3.11 Procedimiento para la medición de fósforo.

El manual del equipo Hanna menciona el siguiente procedimiento para la medición de fósforo total

- Precaliente el reactor Hanna® HI 839800 a 150 °C (302 °F). Se recomienda fuertemente utilizar el escudo de seguridad opcional HI 740217.
- Retire la tapa de 2 viales reactivo fósforo HI 93758V-OHR.
- Agregue 5 mL de agua desionizada al primer vial (#1) y 5 mL de muestra al segundo vial (#2), mientras los mantiene en un ángulo de 45 grados.
- Añada a cada vial 1 paquete de persulfato de potasio PERSULFATE/N. Coloque de nuevo la tapa y agite suavemente hasta que el polvo se disuelva por completo.

- Introduzca los viales en el reactor y caliéntelos a una temperatura de 150 °C por 30 minutos.
- Luego de finalizar el proceso de digestión, coloque con cuidado los viales en el estante de tubos de ensayo y déjelos enfriar a temperatura ambiente.
- Seleccione el método fósforo total HR (16) siguiendo el procedimiento que se describe en la selección de método (ver página 19).
- Introduzca el adaptador de vial de 16 mm siguiendo el procedimiento descrito en la sección Utilizando el adaptador de vial de 16 mm (consulte la página 22).
- Retire la tapa de los viales y agregue 2.0 mL de solución NaOH 1.54N HI 93758B-0, manteniéndolos en un ángulo de 45 grados. Coloque de nuevo la tapa e invierta el vial varias veces para mezclar
- Retire la tapa de los viales y agregue 0.5 mL de solución reactivo fósforo total, rango alto BHI 93763B-0, manteniéndolos en un ángulo de 45 grados. Coloque de nuevo la tapa e invierta varias veces para mezclar.
- Coloque el vial del blanco (#1) en el soporte.
- Presione el temporizador (Timer) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva antes de realizar la medición o espere 7 minutos y presione el botón Zero. Al final de la medición cero la pantalla muestra el indicador "-0.0-". El medidor está ahora listo para la medición.
- Retire el vial del blanco.
- Coloque el vial de la muestra (#2) en el soporte.
- Presione la tecla cero (Zero). El instrumento muestra los resultados en mg/L de fósforo (P).

3.12 Procedimientos para la medición de carbono

Para la medición de carbono se utilizó la ecuación teoría para su determinación la cual se presenta a continuación.



Mediante esta ecuación y las diferencias caloríficas de la madera y el biochar podemos obtener el carbono de cada uno.

3.13 Cálculo de emisiones

- Para el consumo eléctrico se tiene que conocer las especificaciones de los equipos utilizados en este caso la mufla de 240V Y 4.2A.
- Se tomará el tiempo que permaneció en funcionamiento el equipo que fue de 655 minutos o 10.92 horas
- Se utilizará el precio de cada país para kW en este caso el de 9.2ctv por kWh que se maneja en Ecuador.
- Mediante esta ecuación se determinarán los kWh

$$\frac{\text{Amperio}(A) * \text{Voltios}(V)}{1000} * \text{Tiempo}(h) = kWh$$

- Para obtener los valores de huella de carbono o CO₂ equivalente se utilizó una calculadora de GEI y solo se coloca los valores de kW.

<https://www.ceroco2.org/calculadoras/>

3.14 Análisis Estadístico

Se realizará un DBCA en arreglo factorial 3^2 con 3 repeticiones.

Tabla 4.

Tratamientos y repeticiones

	Códigos de Tratamiento		
Código de Repeticiones	T1	T2	T3
R1	T1R1	T2R1	T3R1
R2	T1R2	T2R2	T3R2
R3	T1R3	T2R3	T3R3

Nota. Se presenta la cantidad de repeticiones que se realizarán en cada tratamiento. Elaborado por: Los autores.

Se aplicará una prueba LSD Fisher para verificar si existe diferencia entre tratamientos con un nivel de significancia del 0.05%, en caso de existir diferencia significativa, se empleará una prueba Tukey con un nivel de significancia del 0.05, para la comparación entre todas las variables estudiadas en la fase de producción.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la producción de biochar.

4.1 Datos generales obtenidos en la producción del biochar.

A continuación, se presentan en la Tabla 4 de manera detallada los valores de peso obtenidos posterior a los tratamientos aplicados (t y T)

Tabla 5.

Datos Generales de los Tratamientos en las repeticiones realizadas.

PRIMERA REPETICIÓN				SEGUNDA REPETICIÓN		
TEMPERATURA 300 °C				TEMPERATURA 300 °C		
	Tiempo (min)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Tiempo (min)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
LAUREL	50	380,4	194,4	60	425	262,1
EUCALIPTO	55	442,4	227,3	40	428,3	243,5
PINO	90	440,9	249,9	70	412	206
TEMPERATURA 400 °C				TEMPERATURA 400 °C		
	Tiempo (min)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Tiempo (min)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
LAUREL	30	443	271,1	35	436,3	264,6
EUCALIPTO	20	414,3	230,5	30	433,8	240,2
PINO	30	455	296,5	30	422,6	201,3
TEMPERATURA 500 °C				TEMPERATURA 500 °C		
	Tiempo (min)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Tiempo (min)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
LAUREL	20	408,5	202,3	20	435,3	241,8
EUCALIPTO	15	384,2	182,2	25	415,6	251,3
PINO	20	398,8	198,3	15	412,9	208,6

Nota. Se presentan datos generales de los tratamientos estudiados. Elaborado por: Los autores

4.2 Resultados de la medición de potasio

A continuación, se presentan los resultados de la concentración de potasio en (ppm) posterior a la aplicación de tratamientos térmicos.

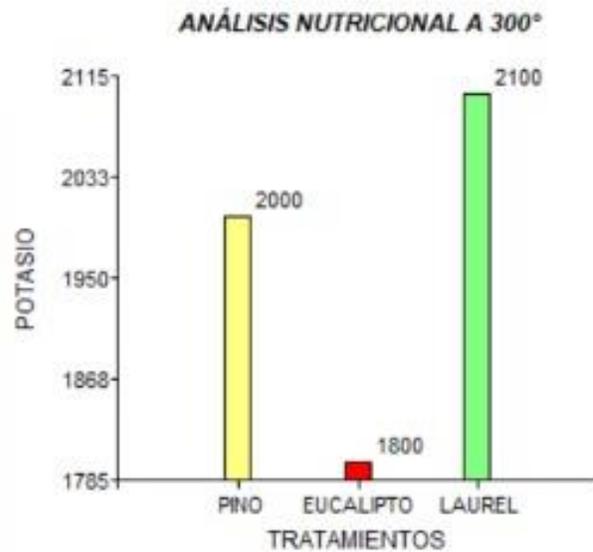
Tabla 6

Resultados de la medición de potasio.

POTASIO		
TEMPERATURA 300 °C		
	(ppm) K	(ppm) K₂O
PINO	2000	2400
EUCALIPTO	1800	2300
LAUREL	2100	2700
TEMPERATURA 400 °C		
	(ppm) K	(ppm) K₂O
PINO	5500	5900
EUCALIPTO	3000	3500
LAUREL	4800	5900
TEMPERATURA 500 °C		
	(ppm) K	(ppm) K₂O
PINO	19000	22500
EUCALIPTO	2200	5700
LAUREL	17000	20500

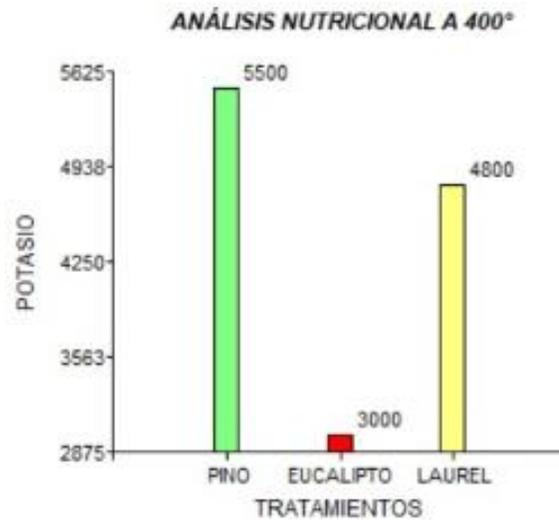
Nota: Se presentan los resultados de las medidas de potasio a todos los tratamientos. Elaborado por: Los autores.

Figura 1
Resultados de potasio a una temperatura de 300°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de potasio a una pirolisis de 300°C
Elaborado por: Los autores.

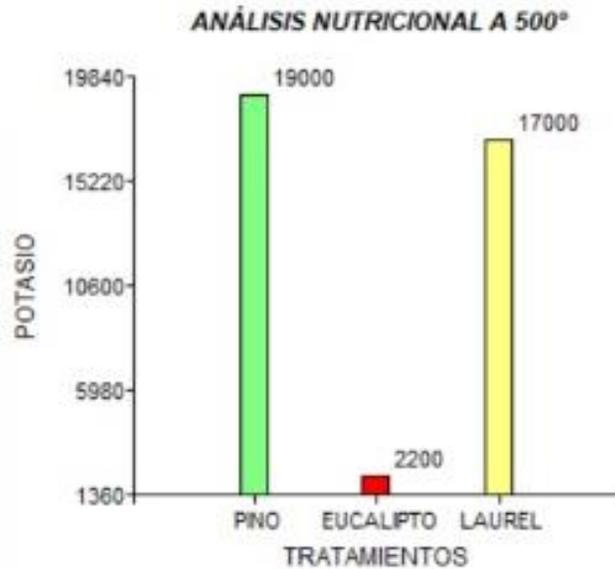
Figura 2
Resultados de potasio a una temperatura de 400°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de potasio a una pirolisis de 400°C
Elaborado por: Los autores.

Figura 3

Resultados de potasio a una temperatura de 500°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de potasio a una pirolisis de 500°C
Elaborado por: Los autores.

Figura 4

Análisis de la varianza del potasio en los tratamientos

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV	
FOSFORO	3	1,00		sd	0,00	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	8160,67	2	4080,33	sd	sd	
TRATAMIENTOS	8160,67	2	4080,33	sd	sd	
Error	0,00	0	0,00			
Total	8160,67	2				

Nota: Se presentan los análisis de la varianza para determinar el r2 del potasio. Elaborado por: Los autores.

4.3 Resultados de la medición de fosforo

A continuación, se presentan los resultados de la concentración de Fosforo en (ppm) posterior a la aplicación de tratamientos térmicos.

Tabla 7

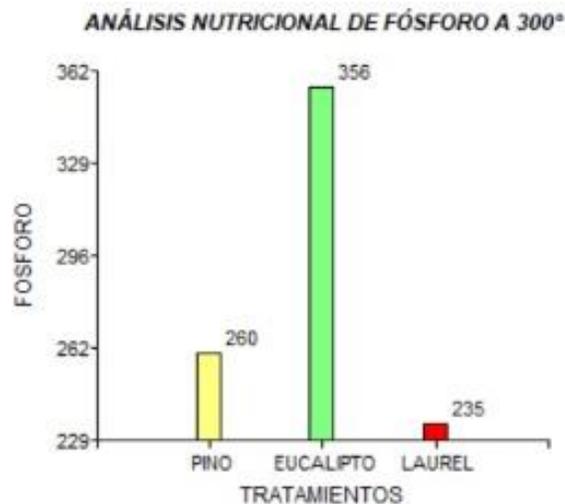
Resultados de la medición de fósforo.

FÓSFORO		
TEMPERATURA 300 °C		
	(ppm) P	(ppm) PO4
PINO	260	810
EUCALIPTO	356	995
LAUREL	235	798
TEMPERATURA 400 °C		
	(ppm) P	(ppm) PO4
PINO	75	205
EUCALIPTO	60	190
LAUREL	68	198
TEMPERATURA 500 °C		
	(ppm) P	(ppm) PO4
PINO	358	1200
EUCALIPTO	410	1350
LAUREL	480	1460

Nota: Se presentan los resultados de las medidas de Fósforo a todos los tratamientos. Elaborado por Los autores.

Figura 5

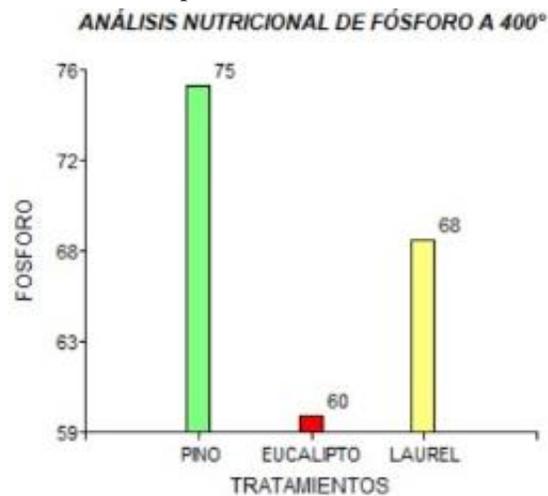
Resultados de fosforo a una temperatura de 300°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de fosforo a una pirolisis de 300°C
Elaborado por: Los autores.

Figura 6

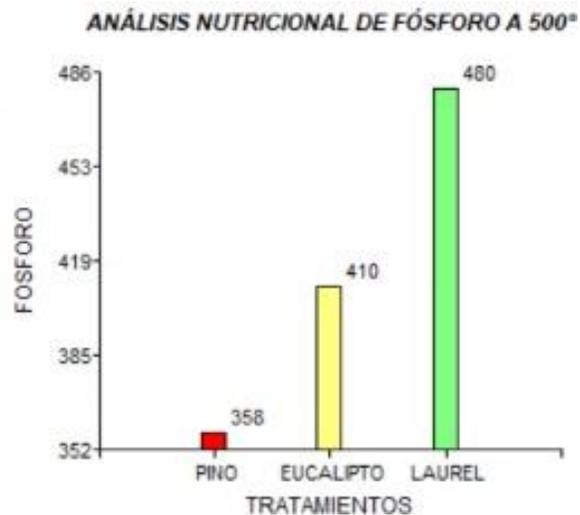
Resultados de fosforo a una temperatura de 400°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de fosforo a una pirolisis de 400°C
Elaborado por: Los autores.

Figura 7

Resultados de fosforo a una temperatura de 500°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de fosforo a una pirolisis de 500°C
Elaborado por: Los autores.

Figura 8

Análisis de la varianza del fosforo en los tratamientos

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FOSFORO	3	1,00	sd	0,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	112,67	2	56,33	sd	sd
TRATAMIENTOS	112,67	2	56,33	sd	sd
Error	0,00	0	0,00		
Total	112,67	2			

Nota: Se presentan los análisis de la varianza para determinar el r2 del fosforo. Elaborado por: Los autores.

4.4 Resultados de la medición de Nitrógeno

A continuación, se presentan los resultados de la concentración de Nitrógeno en (ppm) posterior a la aplicación de tratamientos térmicos.

Tabla 8

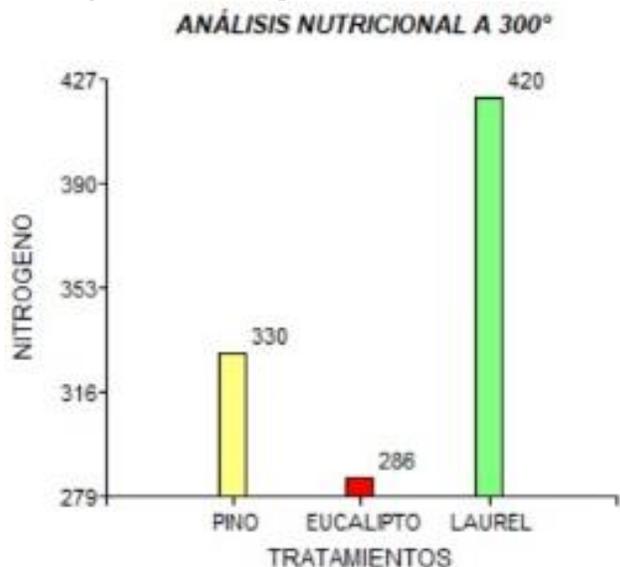
Resultados de la medición de fosforo.

NITRÓGENO		
TEMPERATURA 300 °C		
	(ppm) N	(ppm) NH4
PINO	330	420
EUCALIPTO	286	376
LAUREL	420	510
TEMPERATURA 400 °C		
	(ppm) N	(ppm) NH4
PINO	190	250
EUCALIPTO	210	270
LAUREL	150	200
TEMPERATURA 500 °C		
	(ppm) N	(ppm) NH4
PINO	40	150
EUCALIPTO	50	170
LAUREL	50	170

Nota: Se presentan los resultados de las medidas de nitrógeno a todos los tratamientos. Elaborado por: Losautores.

Figura 9

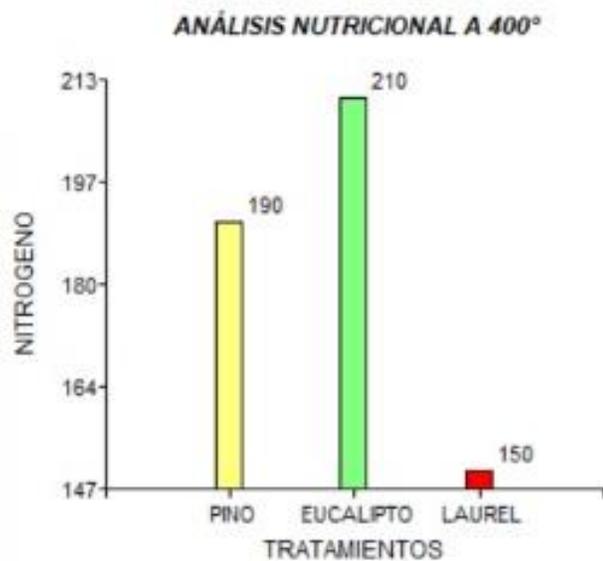
Resultados de nitrógeno a una temperatura de 300°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de nitrógeno a una pirolisis de 300°C Elaborado por: Los autores.

Figura 10

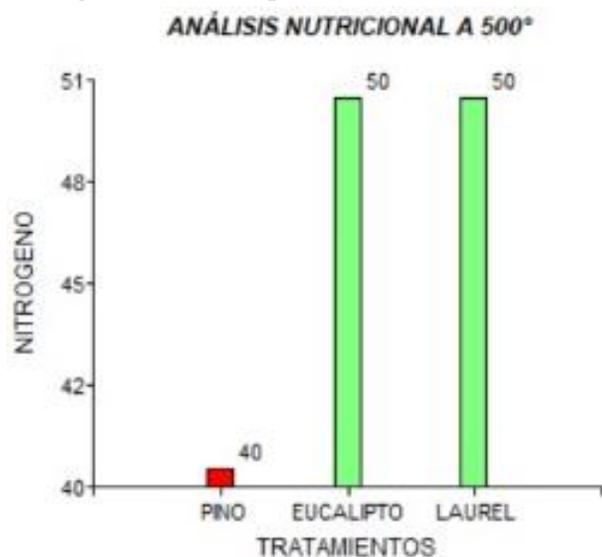
Resultados de nitrógeno a una temperatura de 400°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de nitrógeno a una pirolisis de 400°C Elaborado por: Los autores.

Figura 11

Resultados de nitrógeno a una temperatura de 500°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de nitrógeno a una pirolisis de 500°C Elaborado por: Los autores.

Figura 12

Análisis de la varianza del nitrógeno en los tratamientos

```
Análisis de la varianza
Variable N  R²  R² Aj  CV
FOSFORO  3  1,00  sd  0,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)
  F.V.      SC    gl    CM    F    p-valor
Modelo      7496,00  2  3748,00  sd    sd
TRATAMIENTOS 7496,00  2  3748,00  sd    sd
Error        0,00  0    0,00
Total       7496,00  2
```

Nota: Se presentan los análisis de la varianza para determinar el r2 del nitrógeno. Elaborado por: Los autores.

4.5 Resultados de la medición de Carbono

A continuación, se presentan los resultados de la concentración de Carbono en (g) posterior a la aplicación de tratamientos térmicos.

Tabla 9

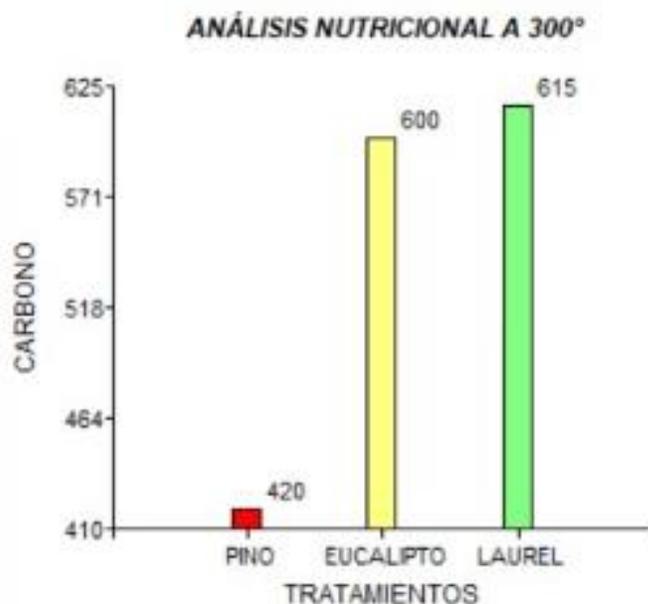
Resultados de la medición de Carbono.

Carbono	
TEMPERATURA 300 °C	
	(g) C
PINO	420
EUCALIPTO	600
LAUREL	615
TEMPERATURA 400 °C	
	(g) C
PINO	950
EUCALIPTO	852,5
LAUREL	1070
TEMPERATURA 500 °C	
	(g) C
PINO	1490
EUCALIPTO	1198
LAUREL	2270

Nota: Se presentan los resultados de las medidas de carbono a todos los tratamientos. Elaborado por: Losautores.

Figura 13

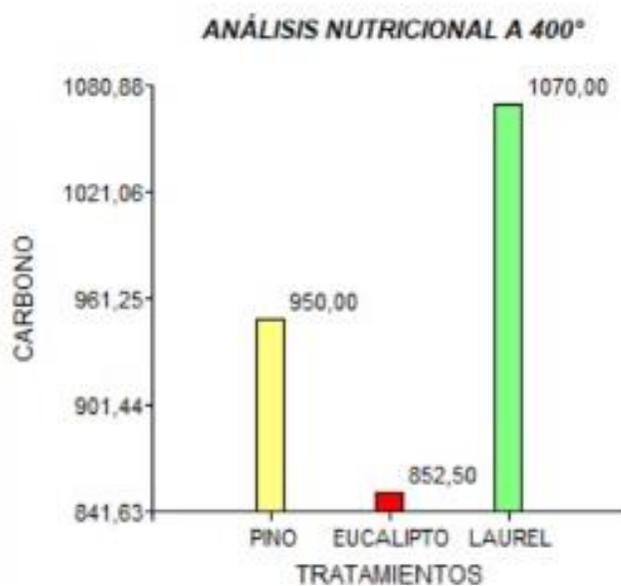
Resultados de carbono a una temperatura de 300°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de carbono a una pirolisis de 300°C Elaborado por: Los autores.

Figura 14

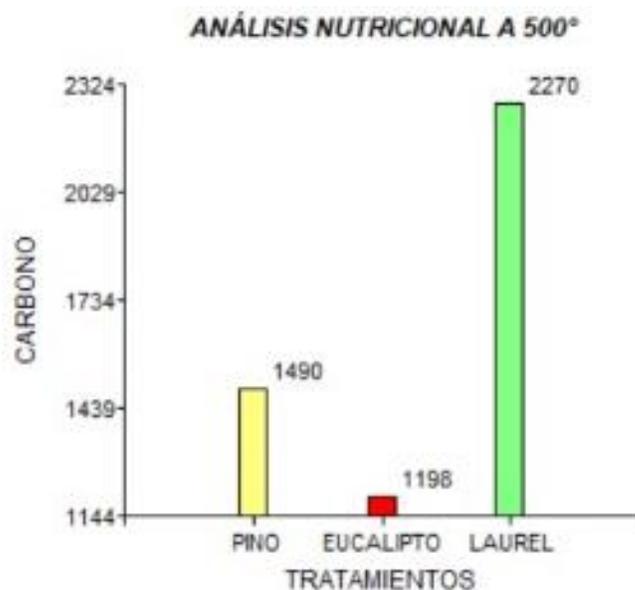
Resultados de carbono a una temperatura de 400°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de carbono a una pirolisis de 400°C Elaborado por: Los autores.

Figura 15

Resultados de carbono a una temperatura de 500°C



Nota: Se presentan los resultados obtenidos de carbono a una pirolisis de 500°C Elaborado por: Los autores.

Figura 16

Análisis de la varianza del carbono en los tratamientos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
(g) C	3	1,00	sd	0,00	

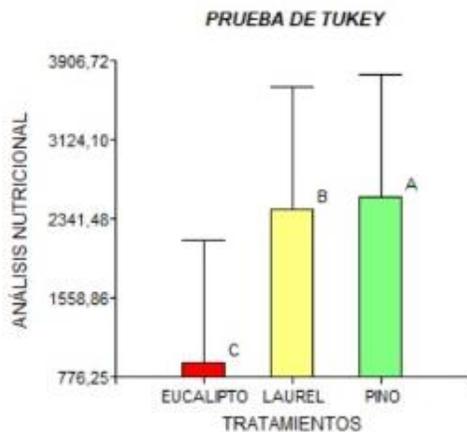
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	614282,67	2	307141,33	sd	sd
Columnal	614282,67	2	307141,33	sd	sd
Error	0,00	0	0,00		
Total	614282,67	2			

Nota: Se presentan los análisis de la varianza para determinar el r² del carbono. Elaborado por: Los autores.

4.6 Prueba de Tukey

Figura 17

Análisis estadístico con la prueba de Tukey

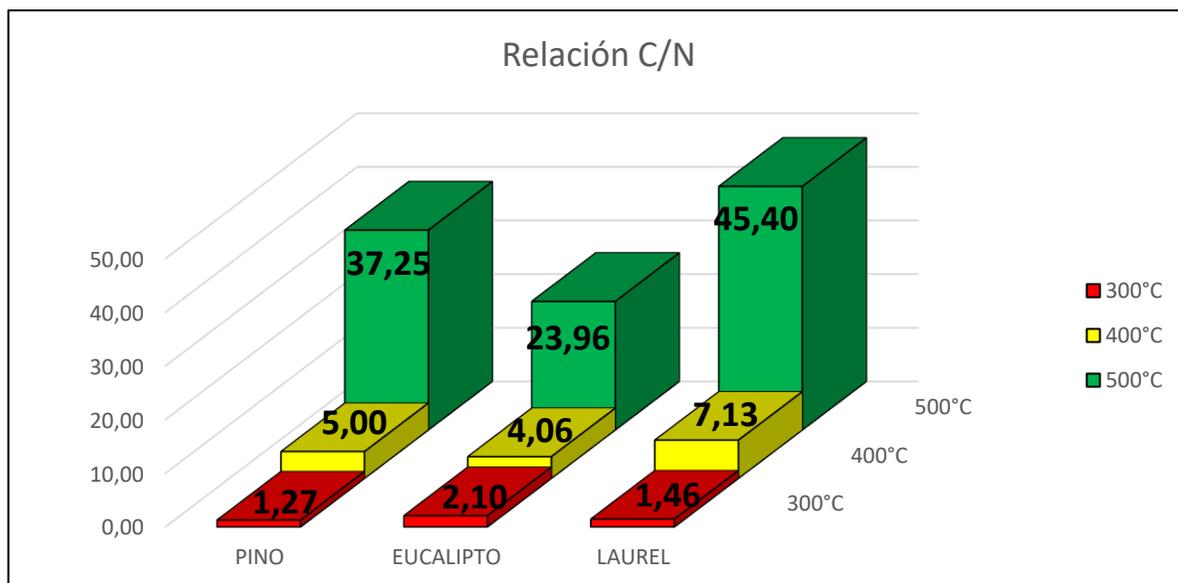


Nota: Mediante la prueba de Tukey podemos ver que los tratamientos son diferentes. Elaborado por: Los autores.

4.7 Relación carbono nitrógeno

Figura 18

Análisis de la relación carbono nitrógeno

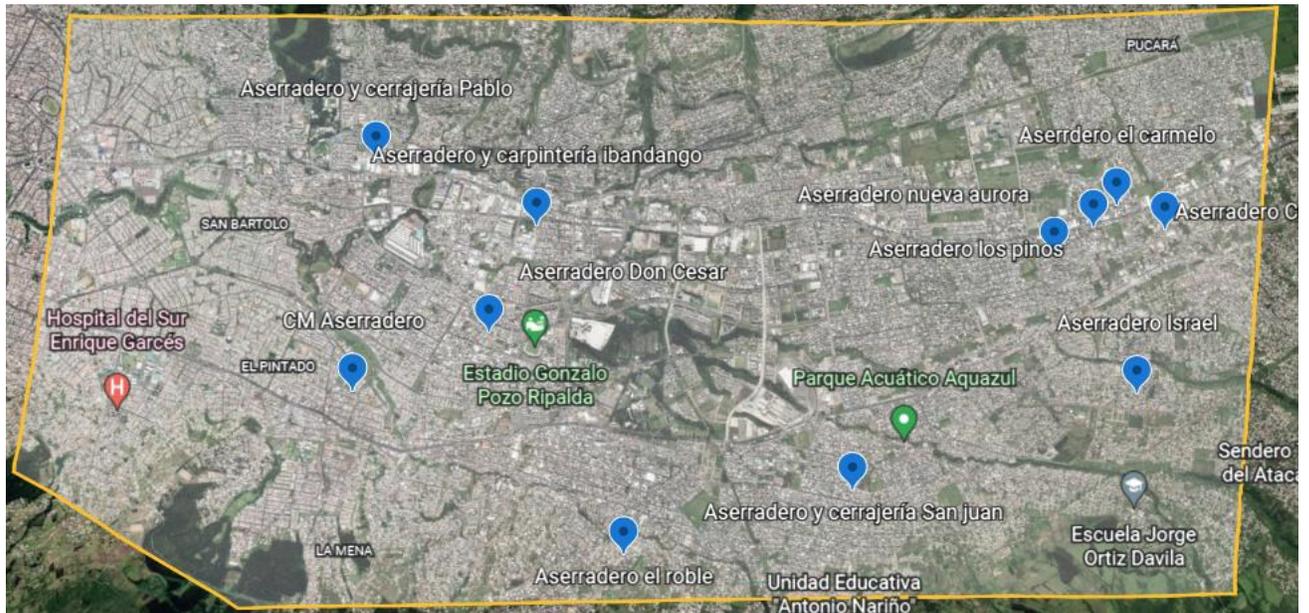


Nota: Mediante la relación carbono/ nitrógeno se diferencian los tratamientos. Elaborado por: Los autores.

4.8 Mapa de muestreo

Figura 19

Mapa de los aserraderos entrevistados y muestreados



Nota: ubicaciones de los aserraderos utilizados en la investigación.
Elaborado por: Los autores.

4.9 Discusión

La obtención de biochar por pirólisis contribuye al desarrollo de microorganismos para la fertilización o la recuperación de suelos, los valores que se han obtenido de nitrógeno son similares a los valores obtenidos en el estudio de (Torres-Sallan et., 2014) los cuales establecen rangos desde 0.29% a 4.19%. Basados en esta investigación podemos decir que el nitrógeno en los todos los tratamientos realizados se encuentra bajo el rango propuesto con 0.17%. Esto se debe a que utilizamos maderas más ricas en aceites y resinas lo que según (MONTES, 2019). favorece a la volatilización de nutrientes.

Según Kamara 2015, el contenido de fósforo y carbono presente en el biochar obtenido a partir de los diferentes procesos de pirólisis va a depender de la temperatura y de la aptitud de la biomasa. En nuestra investigación se corrobora esta afirmación ya que, en todos los tratamientos realizados, a mayor temperatura de la pirolisis tanto el fósforo como el carbono aumentan.

Torres-Sallan et al. (2014) indican un valor de hasta 1,9% de potasio en el biochar obtenido en su investigación, Al igual que el nitrógeno, al usar maderas más ricas en aceites y resinas se dispondrá de cantidades por debajo del valor referenciado, esto ha ocurrido en la cantidad de potasio que hemos determinado y que este 1.3%. +- std

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los diferentes tratamientos maderables utilizados en la investigación después de pasar por un proceso de pirolisis a las temperaturas de 300 °C, 400 °C y 500 °C en un horno mufla de laboratorio, se convirtieron en carbón vegetal mejor llamado biochar, cumpliendo con el proceso de reducción sin presencia de oxígeno, demostrando que los tratamientos si son una biomasa adecuada para la producción del biochar.

En el distrito metropolitano de Quito, podemos ver diferentes fuentes antrópicas en las que se utiliza la madera, llegando a generar alrededor de 19.300 kg diarios de residuos maderables que van a parar a las estaciones de transferencia, que gracias a la presente investigación se determinó que las especies maderables más utilizadas son: LAUREL (*Nectandra spp*) usada como soporte por su fuerza para las patas de muebles o soportes de peso; PINO (*Pinus radiata*) usada para el diseño de puertas, ventanas, pisos; y EUCALIPTO (*Eucalyptus Globulus*) usada en la fabricación de postes, tableros, y serrería.

Una vez realizados los análisis nutricionales de C, N, P y K se observó el tratamiento térmico que conserva la mayor cantidad de N es a T=300°C, y para la mayor disponibilidad de C, P y K el mejor tratamiento térmico fue a una temperatura de 500°C.

Respecto a las especies maderables sometidas a pirólisis, el valor de carbono más sobresaliente es de Laurel con 2,270 (g)/ 4(g) equivalente a 56.75%, mientras que, para el potasio, el valor más alto le pertenece a la pirólisis de Pino con 19000 (ppm). El valor más alto obtenido para el fósforo y nitrógeno son pertenecientes al Laurel que se coloca en los 480 (ppm) P y 420 (ppm) N. Adicionalmente se determinó que el biochar con mayor concentración nutricional es el que proviene del Laurel, debido a que dispone de los niveles más altos de la relación carbono/nitrógeno 45.4/1. Esto se debe a que el proceso tiene una relación directa con la temperatura, es decir, que el incremento de la temperatura se ve reflejado en el incremento nutricional.

Debido a que en Quito se generan 19.300 kg diarios de residuos maderables se podrían llegar a producir 9.650 kg de Biochar al día, lo que equivale a 193 sacos de 50 kg. Cada saco se cotiza alrededor de 30 usd resultando un ingreso de 5790 usd al día. Hay que considerar en la quema de 7,5 kg de residuos maderables en mufla de 240 voltios(V) y 4.2 amperios(A) durante 655 minutos, con un consumo energético total de 11, 00736 kilovatios hora (kWh). Considerando un costo 9,2 centavos de dólar se calcula que el gasto monetario del proceso es de 1,02 usd/kWh para el total de madera incinerada, o 0,136 usd/Kg.

Alrededor de las emisiones del proceso se determinó que se emitieron 1.69kg de CO₂ equivalentes por cada kilogramo de Biochar producido y según El departamento de ingeniería química de la Universidad de Texas A&M en la generación de fertilizante provenientes de amoníaco se llega a tener un valor de emisiones de 5.18 kg CO₂ equivalentes por cada Kg de fertilizante producido. Lo que es una gran diferencia con el 1.69 kg de CO₂ equivalentes por cada kilogramo de Biochar producido.

5.2 Recomendaciones

Es de importancia siempre verificar el estado de los instrumentos del laboratorio y los equipos que siempre se encuentren de manera calibrada para evitar fallos en la medición de los diferentes parámetros.

Para garantizar que no se produzca una cantidad exagerada de humo al colocar la muestra de madera se tiene que realizar un pretratamiento para la eliminación de agua que pudo adquirir a la intemperie y que en el horno esto significa más generación de vapor de agua. El método a usar es colocarla en la estufa de secado a 100 °C por 10 minutos y se garantiza el secado completo de la muestra.

6. BIBLIOGRAFÍA

Biocarb, D. E., La, P. D. E., Cacao, S. D. E. L., & Banano, R. D. E. L. (2019). *Unidad académica de ciencias agropecuarias carrera de ingeniería agronómica*.

http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11702/1/DE00022_TRABAJODETITULACION.pdf.

Camacho García Alicia. (2010). *MANUAL DE COMPOSTAJE. Amigos de la tierra*.

https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf

Calero, M. 2020. Diseño y simulación de un horno pirolítico de 200 litros para la generación de biochar. (Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana).

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19211/1/UPS%20-%20TTS142.pdf>

El departamento de ingeniería química de la Universidad de Texas. (2022). *Nuevo estudio afirma que la producción de amoníaco podría reducir las emisiones de CO₂*. H₂O.

<https://h2businessnews.com/nuevo-estudio-afirma-que-la-produccion-de-amoniaco-podria-reducir-las-emisiones-de-co2/>

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>

Gómez, L. A. (2016). Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz.

Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 19(2), 341–349.

<https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.88>

GreyWater. (2011). Sistemas de tratamiento de aguas. 2011, 1–18.

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Tratamientos-biologicos-biometanizacion.aspx>

Kamara, A.; Hawanatu, S.; Saimah, M. 2015. Effect of Rice Straw Biochar on Soil Quality and the Early Growth and Biomass Yield of Two Rice Varieties. Scientific Research Publishing.
https://file.scirp.org/pdf/AS_2015081814414341.pdf

Kambo, H.S.; Dutta, A. 2015. A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45; 359-378.

Lehmann, J. and S. Joseph. (2009). *Biochar for environmental management* (Earthscan. UK-USA ed.). Science and technology.
https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=gWDABgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=tZYpxXIXqV&sig=PUCF2srWHv-TSj9BuH9-cAtQgNA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Lehmann, J., J .P. da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant Soil 249: 343-357.

Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. Routledge. 976 p.

Libra J.A., Ro, K.S., Kamman, C., Funke, A., Berge, N.D., Neubauer Y. et. al. 2011. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. Biofuels 2: 71-106.

Marquetti, G. (2020). *Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas*.

Dirección de Sanidad Vegetal. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria.

[http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/1090/1616#:~:text=El biochar posee diferentes contenidos,los de origen vegetal \(2\)](http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/1090/1616#:~:text=El biochar posee diferentes contenidos,los de origen vegetal (2))

Majofesa, “Conoce la composición de la madera, un material extraordinario - Majofesa.”

<https://www.majofesa.com/composicion-de-la-madera/#:~:text=Como%20todo%20material%20org%C3%A1nico%2C%20la,otros%20elementos%20en%20proporciones%20m%C3%ADnimas.>

Major, J. 2010. Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems. International Biochar Initiative. www.biocharinternational.org

McBeath, A.V., Smernik, R.J., Krull, E.S., Lehmann, J. (2014). *The influence of feedstock and production temperature on biochar carbon chemistry: A solid-state ¹³C NMR study.*

MONTES. (2019). *APROVECHAMIENTO POTENCIAL DE LOS RESIDUOS DE MADERA PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA.* <https://www.fao.org/3/t0269s/T0269S00.htm>

MS Perú. (2019). *La acumulación de residuos sólidos puede generar afectaciones a la salud de la población.* Nota de Prensa. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/49954-la-acumulacion-de-residuos-solidos-puede-generar-afectaciones-a-la-salud-de-lapoblacion>

Prefectura de Pichincha. (2017). *Distrito Metropolitano de Quito.* Pichincha.Gob.Ec.

<https://www.pichincha.gob.ec/cantones/distrito-metropolitano-de-quito>

López Astudillo, A., Rodríguez, L. M., Lubo, C. M., López, J. A., Orozco, O. A., Sandoval, J. S., & Arenas, F. (2018). Evaluation of GHG emissions by sugarcane crop fertilization, from a focus on system dynamics. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(1), 1–17. <https://doi.org/10.14482/inde.36.1.10936>

Schaczenski, J. 2010. Biochar and Sustainable Agriculture. pp. 1-12. In: H. Michels (ed.). National Sustainable Agriculture Information Service www.attra.ncar.org/attra-pub/biochr.html or

www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/biochar.pdf.

S. Anchalisa and E. Suárez R., “Efectos del fuego sobre la estructura, microclima y funciones ecosistémicas de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*; Myrtaceae) en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador,” *Av. en Ciencias e Ing.*, vol. 5, no. 2, 2013.

Smith, R.L. (2015). *An industrial ecology approach to municipal solid waste management: II. Case studies for recovering energy from the organic fraction of MSW*.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.016>.

Torres-Sallan, G.; Ortiz, O.; Ubalde, J.M.; Sort, X.; Alcañiz, J.M. 2014. El biocarbón (biochar): una forma de secuestrar carbono y de transferir menos contaminantes al subsuelo y acuíferos. *Jornades Ambientals sobre Contaminació d’Aigua del Subsò*.

http://www.jornadesambientals.com/uploads/2/3/9/7/23973214/__el_biocarbn_biochar_una_forma_de_secuestrar_el_carbono_y_de_transferir_menos_contaminantes_al_subsuelo_y_acuferos.pdf

Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, 1, 56.

7. ANEXOS

Anexo 1. Quemado en la mufla para obtener biochar



Anexo 2. Preparación de la medición de parámetros



Anexo 3. Digestión de las muestras



Anexo 4. Medición de parámetros

