



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Remediación de suelos contaminados por residuos de
hidrocarburos (HTP's) no volátil procedentes de
mecánicas automotrices mediante el uso de biochar.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR: JEAN PIERRE ORDOÑEZ JIMÉNEZ

DIRECTOR: ING. SERGIO IGLESIAS ABAD, PH.D.

CUENCA – ECUADOR

2020

*Yo me gradúe en los
50 años de La Cato!*



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Remediación de suelos contaminados por residuos de hidrocarburos (HTP's) no volátil procedentes de mecánicas automotrices mediante el uso de biochar.

TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: JEAN PIERRE ORDOÑEZ JIMENEZ

DIRECTOR: ING. SERGIO IGLESIAS ABAD, PH.D.

CUENCA-ECUADOR

2020

*Yo me gradúe en los
50 años de La Cato!*

DECLARATORIA

Yo, Jean Pierre Ordoñez Jiménez, declaro bajo juramento que el trabajo descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento: y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature is stylized and appears to read 'J. P. Ordoñez'.

Autor

Jean Pierre Ordoñez Jiménez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jean Pierre Ordoñez Jiménez, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'S. Iglesias Abad', written in a cursive style.

ING. SERGIO IGLESIAS ABAD, PH.D.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradecido con Dios por permitirme cumplir las metas trazadas y darme el conocimiento cada día.

Agradezco infinitamente a mi Padre Luis Rubén Ordoñez Contreras por haberme cuidado y protegido a lo largo de mi vida, por darme el apoyo que necesite siempre para salir adelante, a mi Madre Marlene Teresa Jiménez Peñarreta por darme la vida, por guiarme, por no dejarme caer, enseñarme que por cada obstáculo que da la vida es un aprendizaje y seguir adelante, mis hermanos Luis Rubén Ordoñez Jiménez y Bryan Xavier Ordoñez Jiménez quienes fueron un gran pilar fundamental en mi vida ya que por ellos me esfuerzo cada día más.

Familia gracias por apoyarme y estar siempre, brindar ese amor y cariño para poder seguir adelante, por enseñarme lo que es el verdadero valor de la vida, gracias a todos ustedes les debo todo lo que soy hoy, mil gracias por confiar y creer en mí.

Agradecimientos infinitos a mi tutor, Ing. Sergio Iglesias Abad, Ph.D. por brindarme su confianza y apoyo incondicional.

A mis amigas Doménica Sánchez y Paula Paladines, quienes estuvieron ahí en las buenas y malas gracias por esos buenos momentos de risa y llanto, por escucharme y darme su apoyo pese a todas las situaciones vividas.

Por último y no menos importante quiero agradecer a la Ing. Yuliana Zambrano ya que a lo largo de estos años me han brindado su mano y amistad incondicional, gracias por estar en buenas y malas.

DEDICATORIA

El siguiente trabajo investigativo es dedicado para mi familia, ellos siempre me brindaron el apoyo y la facilidad diariamente a pesar de todas las dificultades que se presentó a lo largo de nuestras vidas, gracias por estar ahí apoyándome y nunca dejarme derrumbar a pesar de las dificultades que pasamos, sin ese apoyo no sería posible haber logrado todo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA	I
CERTIFICADO	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS.....	XI
LISTA DE ANEXOS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPÍTULO I	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
1.1 Objetivos.....	- 2 -
1.1.1 Objetivo general	- 2 -
1.1.2 Objetivos específicos.....	- 2 -
CAPÍTULO II	- 3 -
2. MARCO TEÓRICO	- 3 -
2.1 Remediación.....	- 3 -
2.1.1 Remediación de suelos	- 3 -
2.1.2 Remediación de suelos mediante biochar.....	- 3 -
2.2. Suelo	- 4 -
2.2.1. Composición del suelo	- 4 -

2.2.2.	Contaminación por hidrocarburos	- 5 -
2.3.1	Hidrocarburos en los suelos	- 5 -
2.4	Hidrocarburos	- 6 -
2.4.1	Hidrocarburos totales de petróleo (HTP's)	- 6 -
2.4.2	Impactos de los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) al medio ambiente	- 7 -
2.4.3	Impacto de los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) en la salud humana	- 7 -
2.5	Aceites y grasas	- 7 -
2.6	Mecánica automotriz	- 8 -
2.7	Biomasa.....	- 8 -
2.7.1	Especies forestales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca	- 8 -
2.7.2	Especies vegetales involucradas en la obtención de la biomasa vegetal	- 9 -
a.	Eucalipto.....	- 9 -
b.	Acacia.....	- 9 -
c.	Urapán.....	- 10 -
2.7.3	Propiedades físico-químico de la biomasa.....	- 11 -
2.7.4	Tecnología de transformación de la biomasa.....	- 11 -
2.8	Tratamiento térmico por pirólisis	- 11 -
2.9	Biocarbón	- 12 -
2.9.1	Características físicas-químicas.....	- 12 -
2.9.2	Efecto del biocarbón en los suelos.....	- 13 -
2.9.3	Influencia del biocarbón en la estructura del suelo	- 13 -
2.9.4	Funciones y procesos en el suelo	- 14 -
2.10.	Que es la adsorción.....	- 14 -
2.11.	Estabilización de los hidrocarburos mediante biochar	- 15 -
CAPITULO III	- 16 -

3.	MATERIALES Y MÉTODOS	- 16 -
3.1.	Zona de estudio.....	- 16 -
3.1.1	Zona de estudio de la producción de biochar.....	- 16 -
3.2.	Población y muestra	- 17 -
3.2.1.	Población para la recolección de biomasa	- 17 -
3.2.2.	Muestra de biomasa	- 19 -
3.2.3.	Zonificación para la toma de muestras de suelo	- 19 -
3.2.4.	Muestra de suelo	- 20 -
3.3.	Materiales	- 22 -
3.3.1.	Materiales de campo	- 22 -
3.3.2.	Materiales para la recolección de muestras de suelo	- 23 -
3.4.	Metodología para la recolección de materia prima.....	- 23 -
3.4.1.	Recolección de la materia prima	- 23 -
3.4.2.	Acondicionamiento de la materia prima	- 23 -
3.4.3.	Método de fosa miniatura	- 24 -
3.4.4.	Producción de biochar.....	- 24 -
3.4.5.	Parámetros de análisis del biochar	- 28 -
3.5.	Metodología para remediación de suelo contaminado con hidrocarburo mediante biochar	- 28 -
3.5.1.	Tratamiento del suelo a partir de biochar	- 28 -
3.5.2.	Criterios de remediación (Valores máximos permisibles)	- 30 -
3.5.3.	Determinación de la eficiencia del tratamiento para la minimización de hidrocarburos en el suelo	- 31 -
3.5.4.	Determinación de la cantidad de biocarbón que permitan una mayor absorción de los hidrocarburos en el suelo.	- 31 -
a.	Suelo contaminado sin tratamiento (Testigo)	- 31 -
b.	Aplicación de dosis al 5 % de biochar en suelo contaminado con hidrocarburo.....	- 32 -

c.	Aplicación de dosis al 10 % de Biochar en suelo contaminado con hidrocarburo.....	- 33 -
d.	Aplicación de dosis al 20 % de Biochar en suelo contaminado con hidrocarburo.....	- 34 -
3.6.	Análisis físico-químico del biochar	- 34 -
DISEÑO EXPERIMENTAL.....		- 36 -
CAPITULO IV.....		- 37 -
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	- 37 -
4.1	Producción de biochar.....	- 37 -
4.2.	Caracterización del biochar	- 38 -
4.2.1.	Potencial de hidrogeno (pH):.....	- 39 -
4.2.2.	Conductividad eléctrica	- 40 -
4.3.	Características físico-químicas del suelo	- 41 -
4.4.	Concentración de hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) no volátiles en el suelo	- 41 -
4.4.1.	Eficiencia de los tratamientos (urapán, acacia y eucalipto).....	- 43 -
4.4.2.	Adsorción de hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) en el suelo	- 43 -
4.5.	Análisis descriptivo de los resultados de la absorción de los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) en el suelo.....	- 45 -
4.6.	Análisis descriptivo de los resultados de la absorción de los aceites y grasas en el suelo	- 49 -
4.6.1.	Análisis descriptivo de los resultados de la absorción de los aceites y grasas en el suelo.....	- 50 -
4.7.	Resultados de la minimización del potencial de hidrógeno (pH) en el suelo.	- 54 -
4.7.1.	Análisis descriptivo del potencial de hidrógeno (pH) en el suelo contaminado más biochar.....	- 56 -
CAPÍTULO VI.....		- 61 -
6.	CONCLUSIONES.....	- 61 -

CAPITULO VII	- 63 -
7. RECOMENDACIONES	- 63 -
BIBLIOGRAFIA	- 64 -
ANEXOS	- 70 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de los hidrocarburos	- 6 -
Figura 2: Árbol de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) ubicado en las riveras de los ríos de Cuenca	- 9 -
Figura 3: Árbol de acacia (<i>Acacia melanoxylon</i>) ubicado en la parroquia Ricaurte	- 10 -
Figura 4: Árbol de urapán (<i>Fraxinus chinensis</i>) ubicado en los viveros de Yanaturo (EMAC-EP).....	- 10 -
Figura 5: Adsorción y absorción del carbón	- 14 -
Figura 6: Ubicación de la zona de estudio	- 16 -
Figura 7: Delimitación del parque Allcuquiuro	- 17 -
Figura 8: Delimitación del parque Guatana	- 18 -
Figura 9: Delimitación de los viveros de Yanaturo EMAC-EP	- 19 -
Figura 10: Ubicación del taller automotriz.	- 20 -
Figura 11: Zona de la toma de muestra	- 21 -
Figura 12: Toma de muestras por conveniencia	- 21 -
Figura 13: Profundidad para la toma de muestras	- 22 -
Figura 14: Materiales de campo	- 22 -
Figura 15: Materiales para la recolección de muestras.....	- 23 -
Figura 16: Recolección de biomasa de acacia.....	- 24 -
Figura 17: Muestras de las podas forestales	- 24 -
Figura 18: Fosa en miniatura	- 25 -
Figura 19: Acondicionamiento de las entradas de aire del tambor externo	- 25 -
Figura 20: Troceado de la biomasa.....	- 26 -
Figura 21: Llenado del contenedor con biomasa	- 26 -
Figura 22: Contenedores llenos con biomasa	- 26 -
Figura 23: Acondicionamiento con leña en espacio libre	- 27 -
Figura 24: Inicio de la llama	- 27 -
Figura 25: Proceso de pirólisis	- 27 -
Figura 26: Biochar obtenido luego del proceso de enfriamiento	- 28 -
Figura 27: Toma de muestras del suelo contaminado.	- 29 -
Figura 28: Muestra de suelo homogenizado.	- 29 -
Figura 29: Suelo contaminado sin tratamiento.....	- 32 -
Figura 30: Colocación del biochar en suelo contaminado.....	- 32 -
Figura 31: Homogenización del biochar con suelo contaminando	- 32 -
Figura 32: Homogenización del suelo contaminando con biochar.....	- 33 -
Figura 33: Suelo homogenizado con biochar.....	- 34 -
Figura 34: Biochar obtenido a partir de pirólisis	- 38 -

Figura 35: Niveles de pH de cada especie forestal de biochar.....	- 39 -
Figura 36: Conductividad eléctrica de los tipos de biochar (mS/cm).....	- 40 -
Figura 37: Grafico de la absorción de HTP's en el suelo.....	- 44 -
Figura 38: Tratamiento y dosis para la absorción de HTP's.....	- 46 -
Figura 39: Interacción de las dosis.....	- 47 -
Figura 40: Interacción de los tratamientos.....	- 47 -
Figura 41: Análisis descriptivo de aceites y grasas por tratamiento (30 días).....	- 51 -
Figura 42: Análisis descriptivo de aceites y grasas por tratamiento (60 días).....	- 52 -
Figura 43: Análisis descriptivo de aceites y grasas por dosis (30 días).....	- 53 -
Figura 44: Análisis descriptivo de aceites y grasas por dosis (60 días).....	- 54 -
Figura 45: Análisis descriptivo de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) por tratamiento (30 días).....	- 57 -
Figura 46: Análisis descriptivo de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) por tratamiento (60 días).....	- 57 -
Figura 47: Análisis descriptivo de la concentración del potencial de hidrogeno (pH) por dosis (30 días).....	- 59 -
Figura 48: Análisis descriptivo de la concentración del potencial de hidrogeno (pH) por dosis (60 días).....	- 59 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Especies abundantes en el arbolado de la ciudad de Cuenca.....	- 8 -
Tabla 2: Coordenadas de ubicación del parque Allcuquiro.....	- 17 -
Tabla 3: Coordenadas de ubicación del parque Guatana.....	- 18 -
Tabla 4: Coordenadas de ubicación de los viveros de Yanaturo.....	- 18 -
Tabla 5: Especies forestales.....	- 19 -
Tabla 6: Usos del suelo y profundidad para la toma de muestras.....	- 21 -
Tabla 7: Parámetros físico-químico del biochar.....	- 28 -
Tabla 8: Parámetros iniciales físicas del suelo.....	- 29 -
Tabla 9: Criterios de remediación (valores permisibles).....	- 30 -
Tabla 10: Parámetros físico-químico del biochar.....	- 35 -
Tabla 11: Diseño experimental.....	- 36 -
Tabla 12: Resultados de la producción de biochar.....	- 37 -
Tabla 13: Análisis de los componentes del biochar.....	- 38 -
Tabla 14: Resultados de las características físico-químicas del suelo.....	- 41 -
Tabla 15: Resultados de la concentración de HTP's en el suelo inicial (0 días).	- 42 -
Tabla 16: Resultados de la concentración de HTP's en 30 días en el suelo.....	- 42 -

Tabla 17: Resultados de la concentración final de HTP's a los 60 días en el suelo.	- 42 -
Tabla 18: Porcentaje de absorción de HTP's en el suelo.....	- 43 -
Tabla 19: Resultados de la absorción de HTP's en el suelo	- 45 -
Tabla 20: Análisis descriptivos de los diferentes tratamientos utilizados	- 45 -
Tabla 21: Análisis descriptivos de las diferentes dosis utilizadas en la investigación ...	- 45 -
Tabla 22: Resultados de concentración de aceites y grasas en el suelo inicial (0 días).	- 49 -
Tabla 23: Resultados de concentración de aceites y grasas en 30 días en el suelo	- 49 -
Tabla 24: Resultados de la concentración de aceites y grasas en 60 días en el suelo	- 50 -
Tabla 25: Análisis descriptivo de la concentración de aceites y grasas en el suelo contaminado (30 y 60 días), por tratamiento en mg/kg	- 50 -
Tabla 26: Análisis descriptivo de la concentración de aceites y grasas en el suelo contaminado (30 y 60 días), por dosis en mg/kg	- 52 -
Tabla 27: Resultados de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) en el suelo inicial (0 días).	- 55 -
Tabla 28: Resultados de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) en 30 días en el suelo.....	- 55 -
Tabla 29: Resultados de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) a los 60 días en el suelo	- 55 -
Tabla 30: Análisis descriptivo del potencial de hidrógeno (pH) en el suelo contaminado (30 y 60 días), por tratamiento.	- 56 -
Tabla 31: Análisis descriptivo de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) en el suelo contaminado (30 y 60 días), por dosis.....	- 58 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Cubierta para reducir el ingreso de oxígeno a la fosa.....	- 70 -
Anexo 2: Biochar de eucalipto.....	- 70 -
Anexo 3: Biochar de urapán.....	- 70 -
Anexo 4: Biochar de acacia.....	- 71 -
Anexo 5: Informe de los resultados de las especies forestales y suelo inicial	- 72 -
Anexo 6: Resultados de los análisis de los parámetros estudiados (parte 1).....	- 73 -
Anexo 7: Resultados de los análisis de los parámetros estudiados (parte 2).....	- 74 -
Anexo 8: Resultados de los análisis de los parámetros estudiados (parte 3).....	- 75 -

RESUMEN

El trabajo investigativo tuvo como objetivo elaborar biocarbón a partir de las podas realizadas por la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC-EP), las cuales se utilizó como absorbente de los hidrocarburos en el suelo contaminado por las mecánicas automotrices, en el taller automotriz Torres se valoró la composición física-química del suelo, además las condiciones de elaboración de biocarbón. El suelo fue extraído de la zona de estudio y depositado en macetas para el tratamiento. La metodología fue elaborada aplicando diferentes porcentajes de biocarbón (0 %, 5 %, 10 % y 20 %) en el suelo contaminado de las macetas con el propósito de verificar la eficacia de la disminución de hidrocarburos. Se realizó análisis de la concentración de hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) no volátil, aceites y grasas contenidos en el suelo al finalizar el experimentó el cual tuvo una duración de dos meses. Se comprobó que el biocarbón obtenido a partir de las podas del árbol de urapán a temperaturas promedio de 500 °C en tiempo de 1,5 horas de pirolisis ayudaron a la absorción de 806 HTP's (Hidrocarburos Totales de Petróleo) con una eficiencia del 52 % correspondientes a la dosis d3, estos resultados obtenidos son los de máxima eficacia, entre los tres tipos de podas forestales (Eucalipto, Acacia y Urapán) en las distintas dosis aplicadas en el ensayo: d1(5%), d2 (10%) y d3 (20%).

PALABRAS CLAVE: BIOCHAR, BIOMASA, PIRÓLISIS, CARACTERIZACION, PODAS FORESTALES.

ABSTRACT

This research work aimed at the production of biochar from the prunings made by the Municipal Sanitation Company of Cuenca (EMAC-EP, in Spanish), which was utilized as absorbents of the hydrocarbons in the soil polluted by automobile mechanicals; the physical-chemical composition of the soil was studied on the site as well as the biochar elaboration conditions. The soil was extracted from the study area and placed in pots for its treatment. The methodology was to apply in different biochar percentages (0 %, 5 %, 10 %, 20 %) on the contaminated soil deposited in the pots to verify the efficacy of the hydrocarbon's reduction. The analysis of the total non-volatile petroleum hydrocarbons concentration (TPH's) was performed; oils and grease contained in the soil upon completion of the experiment, which lasted two months. It was possible to verify that the biochar obtained from Urapán tree prunings at average temperatures of 500 C in times of 1,5 hours of pyrolysis helped the absorption of 806 TPH's (Total Petroleum Hydrocarbons) with an efficiency of 52 % corresponding to the d3 dose; these results are of maximum efficacy, among the three forest prunings (Eucalyptus, Acacia and Urapán) in the different doses applied to the test d1(5%), d2(10%) and d3(20%)

KEYWORDS: BIOCHAR, BIOMASS, PYROLYSIS, CHARACTERIZATION, FOREST PRUNINGS.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La alteración del suelo debido a la incorporación antropogénica de sustancias a la composición natural del mismo es un tema estudiado con más énfasis en la actualidad por diferentes problemas ambientales y a la amenaza a la salud pública (Mastandrea et al., 2005).

Los hidrocarburos en el suelo provocan cambios en las propiedades tanto físicas como químicas que depende del tipo y cantidad derramada, también la temperatura, textura del suelo y humedad todo esto hace que los procesos sean más o menos lentos, esto lleva a un mayor grado de toxicidad (Jaimes Cáceres et al., 2017). Con todos estos factores el contaminante puede ser persistente y difícil de remediar, los métodos de remediación tienen la opción de eliminar o disminuir el nivel de contaminación inicial, las técnicas de remediación pueden ser biológicas, térmicas y físico-químico (Contreras, 2014).

El biochar es una tecnología limpia, que ha tomado notabilidad a lo largo del tiempo, ya que su producción no requiere de costos elevados, debido a propiedades físico químico que mejoran la calidad del suelo (Ayala *et al.*, 2016). Para la producción de biochar se utiliza diferentes biomásas (heces de animales, residuos forestales y agrarios) mediante pirólisis, radica en la transformación termoquímica de la biomasa con una contribución de oxígeno limitado (Abenza, 2012).

El biochar es utilizado como enmienda orgánica para el suelo, ya que ayuda a retener el carbono y en las últimas décadas como sistema para la disminución de algunos contaminantes metálicos y minimizar la contaminación del suelo (Safaie et al., 2018).

El objetivo de investigación es determinar la eficiencia del biochar para la remediación o minimización de los hidrocarburos procedentes de mecánicas automotrices del suelo a nivel de laboratorio.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar la capacidad del Biochar, para remediar suelos contaminados con hidrocarburos procedentes de mecánicas automotrices (HTP's) no volátil.

1.1.2 Objetivos específicos

- Obtener tres tipos de biochar a partir de la biomasa de Eucalipto, Acacia y el Urapán.
- Determinar las características físicas y químicas del biochar mediante examen de laboratorio.
- Analizar las características iniciales del suelo contaminado con hidrocarburos de un taller automotriz mediante análisis físico químico.
- Analizar la mezcla del suelo contaminado más biochar, a través de parámetros como pH, hidrocarburos (HTP's) no volátil y aceites y grasas.
- Determinar qué tipo de biochar es el más eficaz para reducir o minimizar los HTP's, pH y aceites y grasas en el suelo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Remediación

Tratamiento o conjunto de operaciones que tienen como objetivo recuperar la calidad del suelo contaminado, existen diferentes técnicas que ayudan alcanzar valores de contaminación óptimos para garantizar la salud humana y de los ecosistemas (Volke *et al.*, 2002).

Forma parte la acción y medias para la reparación integral, interesados a restaurar afecciones ambientales que son causadas por los impactos ambientales negativos o daños ambientales, se da por consecuencia de las actividades, obras y proyectos económicos (Ministerio del Ambiente, 2015).

2.1.1 Remediación de suelos

Conjunto de medidas y acciones que forman parte de la reparación integral, tendientes a restaurar afectaciones ambientales producidas por impactos ambientales negativos o daños ambientales, a consecuencia del desarrollo de actividades, obras o proyectos económicos o productivos (Ministerio del Ambiente, 2015).

La remediación de suelo es la forma de revitalizar y purificar el suelo, es un proceso de eliminar contaminantes para resguardar la salud de la población y el medio ambiente. El objetivo del proceso es restaurar el suelo a su estado natural y libre de contaminante (Coria, 2015).

2.1.2 Remediación de suelos mediante biochar

El uso del biochar para remediar metales pesados del suelo se ha estudiado desde 1998, se han realizado investigaciones en universidades y se han realizado pruebas en el campo sobre la capacidad de los caracteres porosos, como el biochar, para adsorber metales del suelo (Rebolledo *et al.*, 2019). La capacidad del biochar para retener metales se basa en la capacidad de intercambio de cationes (CIC) que se encuentra dentro de la estructura porosa (Sizmur *et al.*, 2016).

2.2. Suelo

Según el TULSMA (Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente), el suelo es el medio poroso formado en la superficie terrestre por el proceso de meteorización en periodos largos, tienen aportes de fenómenos geológicos, hidrológicos y biológicos, además el suelo es un sistema dinámico de 3 componentes: partículas minerales, detritos y organismos que se alimentan de estos (Pastor *et al.*, 2004).

Podríamos decir que el suelo, o superficie terrestre, se compone por la mezcla de minerales, materia orgánica, agua, aire y bacterias, formado por la acción de diferentes factores como por ejemplo la temperatura, agua viento, animales y plantas, la combinación de todos estos factores permite descomponer varios elementos que sirven como sustento de vida al suelo (Muñoz, 2016).

2.2.1. Composición del suelo

El suelo es la capa superior de la corteza terrestre que se encuentra en la zona rocosa y la superficie, está compuesta por materia orgánica, minerales, agua y organismos vivos, los constituyentes del suelo son de dos tipos que es el componente inorgánico que provienen de productos que derivan de la meteorización, los cuales se clasifican en grava, arenas y arcillas (Narvárez *et al.*, 2018). El componente orgánico se da por la descomposición de restos de individuos vivos por medio de bacterias, gracias a su presencia puede dar una eficacia al suelo, puede retener el agua y sirve como alimento para los microorganismo que ayudan al suelo (Barrios *et al.*, 2012).

La absorción de nutrientes y retención de agua necesarios para la vida de las plantas va a depender en su mayoría de las propiedades físicas y químicas del suelo, estas propiedades son: permeabilidad, textura, densidad, salinidad y el contenido de macro y microorganismos (Pereira, 2015). Un suelo contaminado se considera cuando sus características físicas, químicas o biológicas es alterado por fuentes antropogénicas, por concentraciones que superen el nivel establecido, esto conlleva un peligro para la salud y el medio ambiente (Jaurixje *et al.*, 2013).

2.2.2. Contaminación por hidrocarburos

Los hidrocarburos están compuestos por átomos de carbón e hidrógeno los cuales se encuentran en el petróleo (Buendía, 2012). Son considerados los hidrocarburos de petróleo una mezcla líquida de gases y sólidos con cantidades pequeñas de nitrógeno, azufre y oxígeno; por lo general contienen una porción de 76 % a 89 % de carbono y del 10 % a 14 % de hidrógeno (Moreno *et al.*, 2004).

2.3.1 Hidrocarburos en los suelos

El comportamiento de los contaminantes orgánicos va a estar influenciado por las características físicas químicas de estos, las características del medio como: permeabilidad, estructura, contenido de humedad y tamaño de la partícula. Además, la profundidad del manto freático, temperatura, precipitación pluvial y factores climáticos también tiene una gran influencia (Pérez *et al.*, 2011). El grado de solubilidad de los hidrocarburos va a influenciar en la movilidad de los mismo por el suelo, así como la probabilidad de ser más volátiles, acumulativos y bioacumulativos, al ser solubles pueden ser biodegradados y metabolizados por los microorganismos (Ahmad *et al.*, 2014).

En el suelo es importante la materia orgánica o sedimento para la absorción de los contaminantes orgánicos que al incrementar este parámetro la absorción es mayor y así se puede disminuir la concentración en la fase gaseosa y acuosa del contaminante orgánico y por lo tanto su transporte y biodisponibilidad (Teutli *et al.*, 2003). También la absorción es afectada por la hidrofobicidad del contaminante, es la dificultad para poder disolverse en el agua y la materia orgánica en el suelo (Abdullahi, 2014).

Según Fassbender & Bornemisza (1994), las propiedades físicas del suelo que son afectadas por los hidrocarburos son las siguientes:

- Aumento de la retención del agua en la superficie
- Potencial hídrico
- La estructura del suelo

Los hidrocarburos afectan las propiedades químicas de suelo de la siguiente manera:

- Aumento del carbono orgánico en 75 % debido a la oxidación del petróleo
- Un aumento del fósforo

- Disminución de pH, por acumulación del carbono orgánico

También el componente más importante del suelo para la persistencia de las sustancias tóxicas es la arcilla, aumenta la persistencia cuanto más pequeña es la partícula ya que aportan una superficie mayor para la absorción de las sustancias tóxicas (Sawhney *et al.*, 2013).

2.4 Hidrocarburos

Los hidrocarburos son componentes orgánicos compuestos por carbono (C) e Hidrógeno (H), estos componentes se pueden presentar en estado gaseoso, líquido o sólido, la fuente principal o importante del petróleo son los alcanos, sus moléculas tienen reactividades tóxicas, químicas y explosivos (Autino *et al.*, 2013). Dependiendo el tipo de enlace se puede clasificar por la molécula que presenta de carbono en la estructura de los hidrocarburos (Ministerio del Ambiente, 2015).

Clasificación de los hidrocarburos

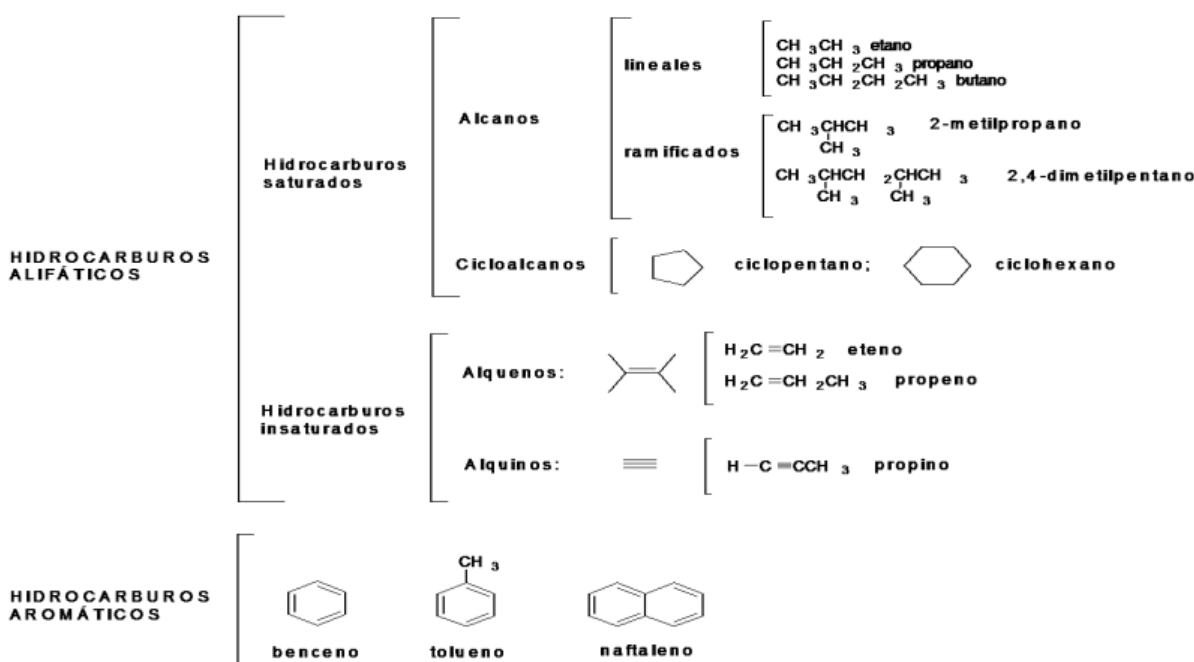


Figura 1: Clasificación de los hidrocarburos

Fuente: (Felipe & Humbser, 2014)

2.4.1 Hidrocarburos totales de petróleo (HTP's)

Los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) se usa para describir una gran familia de varios compuestos químicos originados del petróleo crudo, debido a que hay

cantidad de productos químicos y diferentes productos producidos por el petróleo crudo.(Cáceres et al., 2017)

Los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) es una mezcla de grupos extensos de compuestos diferentes originados de petróleo crudo, en los HTP's la mezcla de productos químicos pertenece a compuestos principales de carbono e hidrogeno conocidos como hidrocarburos (Muñoz Cuaical, 2016).

2.4.2 Impactos de los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) al medio ambiente

Los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) se dan por derrames industriales o productos secundarios de uso comercial o privado (Canals, 2005). Al ingresar los HTP's al agua, una parte flotara y formara una capa delgada en la superficie, mientras que otra parte sedimenta y se dirige al fondo, esto afecta a la biodiversidad del agua (Mastandrea et al., 2005).

Los suelos contaminados por HTP's tienen un cambio en sus propiedades físico-químicas, que alteran su condición natural, principalmente en las capas que se encuentran expuestas directamente a los vertimientos (Díaz, 2012).

2.4.3 Impacto de los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) en la salud humana

Los HTP's pueden afectar a la salud humana dependiendo del tiempo de exposición en el cual se encuentran y tipo de contacto que tienen; pueden ser absorbidos vía respiratoria o cutánea, en algunos casos debido a que si su tiempo de exposición al producto es prolongada puede causar la muerte. (Agencia para Sustancia Tóxica y el Registro de Enfermedad (ATSDR), 1995).

2.5 Aceites y grasas

Son compuestos orgánicos que constituyen de ácidos grasos de origen vegetal y animal, también los hidrocarburos de petróleo, la característica principal de estos hidrocarburos es su baja densidad, baja biodegradabilidad y poca solubilidad en el agua (Salcedo, 2017).

En la presente investigación la concentración mostraron niveles de aceites y grasas elevadas a los límites permisibles establecidos por el (Ministerio del Ambiente, 2015) la norma establece límites permisibles para suelo comercial de <620 ppm o mg/kg.

2.6 Mecánica automotriz

Una mecánica automotriz realiza mantenimiento preventivo y correctivo del vehículo, sus actividades son las siguientes:

- Servicio de mantenimiento
- Reparaciones mecánicas y eléctricas
- En las reparaciones mecánicas las actividades que implican son:
- Reparación de motor
- Cambio de aceite y filtro de aceite
- Engranajes

Un servicio de mantenimiento ordinario tiene como objetivo preventivo cambiar elementos del vehículo como el aceite, filtros de aire, bujías entre otros (Bellido, 2018).

2.7 Biomasa

La biomasa abarca el conjunto de materia orgánica de origen vegetal, animal y de la transformación procedente natural o artificial de la misma (Iglesias, 2018), esto representa una fuente energética que es aprovechada por la combustión directa (McKendry, 2002). Existe tipos de biomasa que son: plantas leñosas, plantas acuáticas, plantas herbáceas, abonos, cultivos, excretas y origen animal (de Lucas Herguedas *et al.*, 2012).

2.7.1 Especies forestales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca

Gracias a un estudio previo (Minga, 2019) nos muestra la distribución de especies, en la ciudad de Cuenca las especies más comunes en la zona urbana es el eucalipto, acacia y el urapán.

Tabla 1: Especies abundantes en el arbolado de la ciudad de Cuenca

NÚMEROS DE ARBOLES	
Especies Introducidas	Cantidad
<i>Acacia melanoxylon</i>	114
<i>Eucaliptus globulus</i>	2456
<i>Fraxinus chinensis</i>	139

Fuente: (Minga, 2019)

2.7.2 Especies vegetales involucradas en la obtención de la biomasa vegetal

a. Eucalipto

El eucalipto (*Eucalyptus globulus*) originaria de Australia, fue introducida en la región del austro del Ecuador en 1870 y se ha integrado plenamente a los ecosistemas andinos (Iglesias, 2018).

Puede medir hasta 20 m, su corteza es seca y marrón, la problemática de este árbol es cuando existen altas temperaturas ambientales ya que tiene un gran riesgo de incendio (Huerta-Fuentes et al., 2008). La forma de sus hojas es ovalada, cuando son jóvenes sus hojas son de color azulado y en su edad adulta sus hojas son de color verdoso. Las ramas y hojas tiene gran valor para la obtención de biochar (Vega y Ortega Baez, 2016).



Figura 2: Árbol de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) ubicado en las riveras de los ríos de Cuenca

b. Acacia

Acacia (*Acacia melanoxylon*) especie nativa del este de Australia, árbol entre 8 y 15 m de altura, sin espinas, corteza agrietada y color obscura, *melanoxylon* que hace referencia a madera de color negro, sus ramas son angulosas y pubescentes, las hojas carecen de estipulas, son plantas jóvenes, en su etapa adulta están reducidas (Carranza, 2007). Viven en suelos húmedos o donde haya un buen drenaje (Arevalo, 2018).



Figura 3: Árbol de acacia (*Acacia melanoxylon*) ubicado en la parroquia Ricaurte

c. Urapán

El urapán (*Fraxinus chinensis*) pertenece a la familia de los Oleáceas procedente de Asia, este árbol puede llegar a medir 30 m de altura, posee copa irregular con extenso follaje, además sus flores son de color crema y tiene hojas masculinas y femenina, paisajísticamente agradable por su color de hojas y las flores se desarrollan en frutos secos los mismos que son aplanados y alargados conocidos como sámaras (Betancour *et al.*, 2008).



Figura 4: Árbol de urapán (*Fraxinus chinensis*) ubicado en los viveros de Yanaturo (EMAC-EP)

2.7.3 Propiedades físico-químico de la biomasa

Las propiedades físico-químico de la biomasa son las siguientes: poder calórico, contenido de humedad y carbono fijo, la humedad es un factor importante debido a la conversión térmica requiere que la biomasa o materia prima tenga una humedad menor al 50% (López et al., 2013). Para el poder calórico de la materia representa la energía liberada cuando combustiona en el aire, y para el carbono fijo es masa restante luego de liberación de sustancias volátiles y de humedad (Herguedas *et al.*, 2012).

2.7.4 Tecnología de transformación de la biomasa

La biomasa al igual que otras energías renovables tienen que pasar por un proceso, con la finalidad de convertirse en una forma de energía útil, para esto influyen algunos factores para el proceso de conversión, por ejemplo: para la transformación de materia prima se necesita cantidad y tipo (McKendry, 2002). Para obtener energía útil a partir de la biomasa se utiliza dos tecnologías principales (Coria, 2007).

a. Procesos de conversión químicos

Esto se da por la fermentación anaerobia con la producción de dióxido de carbono y biogás, así como la producción de etanol y fermentación.

b. Métodos de transformación térmica

Los procesos térmicos se pueden clasificar en:

- Combustión
- Gasificación
- Licuefacción
- Pirólisis

2.8 Tratamiento térmico por pirólisis

La pirólisis es un tratamiento térmico por el cual la materia orgánica se piroliza por la acción del calor y deficiencia del oxígeno, como consecuencia de la destilación destruida del carbón; se obtiene aceites, gases combustibles y residuos (Nuria, 2005). Según Klug, (2012) existen diferentes procesos de pirólisis se clasifica por velocidad de calentamiento, tiempo de residencia y temperatura final son la siguientes:

- Pirólisis convencional: su velocidad de calentamiento es lenta a temperaturas máximas de 500 a 600 °C.
- Pirólisis rápido: el calentamiento de la materia es más rápida en usencia del oxígeno a temperaturas de 650 °C.
- Pirólisis ultra rápida: el tiempo de residencias son más cortos y la temperatura es elevada 1000 °C

2.9 Biocarbón

El biocarbón o biochar es un producto abundante en carbono, esto se distingue del carbón vegetal y los materiales similares, el biocarbón se produce con el fin de aplicar al suelo para mejorar la calidad y el almacenamiento del carbón o limpiar el suelo contaminado (Klug, 2012). Se produce por la descomponían térmica de la biomasa (material orgánico vegetal) con limitación del oxígeno, a una temperatura inferior a las 700 °C. con un proceso llamado o conocido como pirolisis (Escalante *et al.*, 2016). Para la formación del biochar a partir de la biomasa se da por los siguientes mecanismos (Bennadji *et al.*, 2014):

- Primera etapa: Biomasa → agua + residuo no reactivo

En la primera etapa es la eliminación de la humedad de la biomasa y a su vez se volatilizan los compuestos orgánicos.

- Segunda etapa: Residuos no reactivos → $(volatiles + gases)_{etapa\ 1} + (Biochar)_{etapa\ 1}$

En la segunda etapa se genera el primer biochar $(Biochar)_{etapa\ 1}$ esto por la volatilidad de sus compuestos orgánicos y generación de gases.

- Tercera etapa: $(Biochar)_{etapa\ 1} \rightarrow (volatiles + gases)_{etapa\ 2} + (Biochar)_{etapa\ 2}$

En la tercera fase el biochar primario $(Biochar)_{etapa\ 1}$ se separa lentamente creando residuos con un contenido alto en carbono y esos residuos forman el biochar secundario $(Biochar)_{etapa\ 2}$.

2.9.1 Características físicas-químicas

Las propiedades físicas del biocarbón es sólido carbonoso de color negro, las características estructurales cambian dependiendo el tipo o el tiempo de pirólisis (López *et al.*, 2013). Está compuesto por partículas de diferentes dimensiones esto depende del tamaño y fuente de la biomasa (Abenza, 2012). Según (Rebolledo *et al.*, 2016) posee alta porosidad cuyos tamaños van de < 2 nm, 2-50 nm, el biocarbón

presenta valores elevados de C:N (Rebolledo et al., 2019). Las propiedades químicas del biocarbón puede ser muy variable, ya que un biocarbón hecho por roble presentó 90% de carbono y 7% de oxígeno y 1.7% de hidrógeno (Lehmann, 2009).

a. Conductividad eléctrica (C.E)

La conductividad eléctrica es la medida o capacidad de un material para conducir o transmitir la corriente (Arevalo, 2018). El principal objetivo de la CE en los suelos es determinar la cantidad de sales solubles que se puede encontrar, a mayor conductividad eléctrica mayor concentración de sales (Albuquerque et al., 2013).

b. Potencial de hidrógeno (pH)

En la producción de biochar es posible encontrar distintos valores de pH con promedio de 8 y de intervalo entre 6 a 12 (Arevalo, 2018). Para esto se debe seleccionar la forma apropiada y las condiciones de operación, en el proceso de pirólisis en temperaturas de 400 °C el pH del biocarbón es ácido (<7) mayores a los 400 °C el biocarbón es posible que sea alcalino (>7) y al llegar a temperaturas superiores a 800 °C alcanza un pH hasta 12 (López et al., 2013).

2.9.2 Efecto del biocarbón en los suelos

Al colocar biocarbón al suelo tiende a trastornar las propiedades físicas como estructura, tamaño del poro y área superficial total, con el objetivo de descontaminar el suelo, también es difícil saber cuánto tiempo puede estar el biocarbón en los suelos (Sizmur et al., 2016). El biocarbón incrementa la capacidad para el intercambio de cationes (CIC) del suelo, también la retención del amonio (NH₄⁺), potasio (K⁺), calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺) (Carrasquel, 2016).

2.9.3 Influencia del biocarbón en la estructura del suelo

Cuando se aplica biocarbón al suelo se logra modificar las propiedades físicas como, por ejemplo: textura, densidad y porosidad, todo esto tiende a tener consecuencias importantes para las cualidades físicas del suelo, por ejemplo: la aireación del suelo, capacidad de retención de agua y para el crecimiento de las plantas (Nuria, 2005). Por otra parte, la densidad del biocarbón es baja que de los minerales, por eso al poner biocarbón puede incrementar el volumen del suelo y reducir la densidad del mismo (Soria, 2016).

2.9.4 Funciones y procesos en el suelo

Según Chan & Xu, (2009) el biocarbón puede mejorar las funciones del suelo y puede intervenir en los procesos que se desarrolla en él, puede aumentar la capacidad de retención de nutrientes en el suelo y así se puede reducir la aplicación de fertilizantes. Al aplicar biochar en el suelo puede aumentar su permeabilidad al agua y puede reducir las escorrentías y costos de riego, también mejora la aireación del suelo, mejora el pH y el mejoramiento de la retención de humedad (Escalante *et al.*, 2016).

2.10. Que es la adsorción

Proceso en el que los átomos, iones o moléculas son retenidos en la superficie de un material, esto se refiere a la adhesión de los átomos, iones o moléculas de un líquido, sólido o gas crea una capa o película encima de una superficie del adsorbente (Dunn *et al.*, 2011). Los materiales que absorben su estructura puede estirarse y se hincha, mientras que los materiales que adsorben la estructura es rígida que tiene poros internos que actúan como los lugares para la adsorción (Soria, 2016).

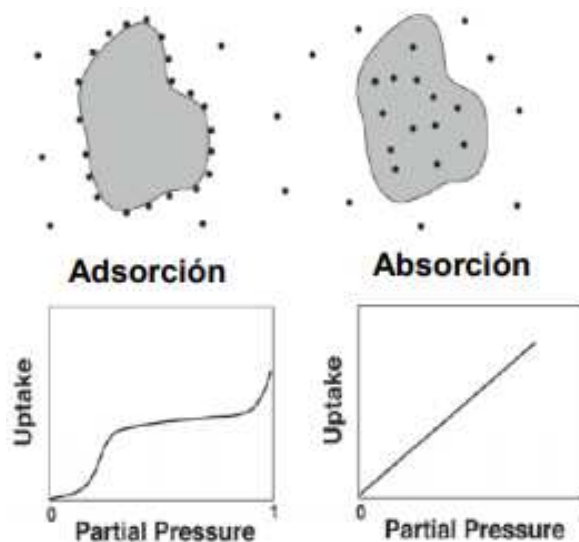


Figura 5: Adsorción y absorción del carbón

Fuente: (Muñoz, 2016)

Las fracciones carbonosas contiene un gran potencial de adsorción en suelos contaminados, debido a esto se ha implementado materiales producidos por

biomasa, por ejemplo: biochar y carbón activado; para mejorar la calidad de los suelos contaminados y poder reducir la cantidad de dichos contaminantes (Moreno *et al.*, 2019).

2.11. Estabilización de los hidrocarburos mediante biochar

El proceso de adsorción de biochar depende de que sustancia estén involucradas. La cantidad de material adsorbido depende de las tasas de adsorción y desorción de la sustancia, también el punto de equilibrio entre ambas, cuanto sea mayor la adsorción y menor la desorción, mayor es la cantidad de material adsorbido en el punto de equilibrio (Hernández & Piñeros, 2017).

La interacción que tiene el biochar con los hidrocarburos es la adsorción, el petróleo o la sustancia peligrosa son atraídos a la superficie del adsorbente y se adhiere a éste, mientras que, en la absorción, el petróleo o las sustancias peligrosas penetran los poros del material (Oliver, 2019).

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Zona de estudio

3.1.1. Zona de estudio de la producción de biochar

Se evaluó el biochar de podas forestales de las áreas verdes en la ciudad de Cuenca, para esta evaluación se tomó en cuenta las especies forestales más comunes dentro de la ciudad. La producción de biochar se la realizó en la parroquia Sinincay, dentro de la ciudad de Cuenca.

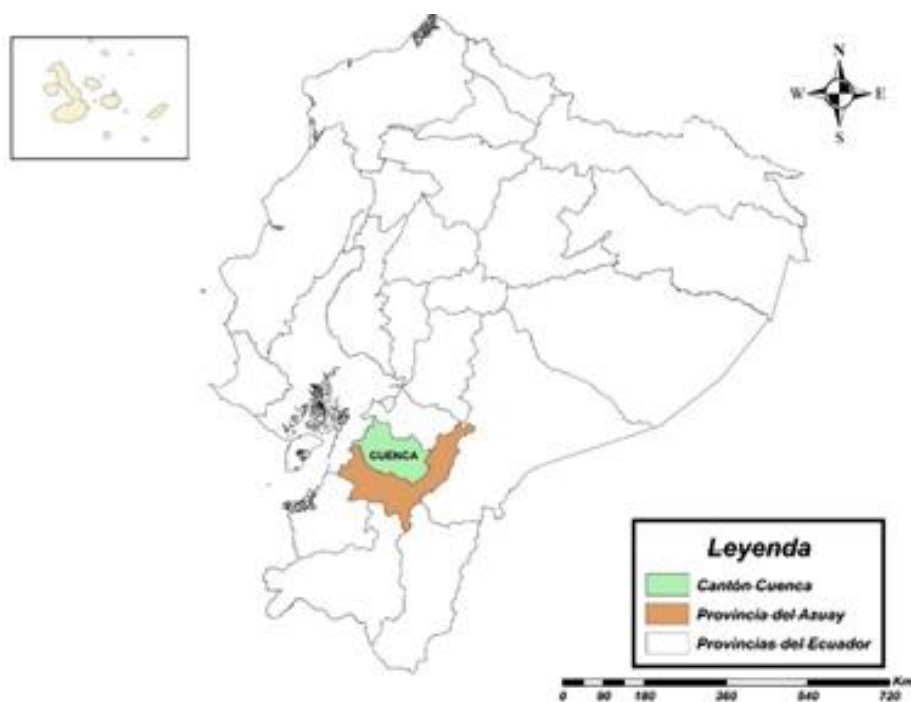


Figura 6: Ubicación de la zona de estudio

La ciudad de Cuenca está situada entre los 2350 y 2550 metros sobre el nivel del mar, tiene una población de 712127 personas, 375083 son mujeres, frente a 337044 son hombres, siendo la zona urbana la que posee la mayor cantidad de habitantes, para la remediación de suelos con residuos de hidrocarburo se realizará en mi hogar en la zona urbana de la ciudad (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020). La ciudad de Cuenca está atravesada por los ríos Tomebamba, Tarqui, Yanuncay y Machángara, al centro-sur de la región interandina del Ecuador, con un clima andino de 15 °C (Municipalidad de Cuenca, 2011).

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población para la recolección de biomasa

En Cuenca, en la zona urbana existe 208 parques o áreas verdes, las zonas para la selección de la muestra de podas se consideró en los parques que tiene mayor abundancia de las especies más comunes de la ciudad.

- Parque Allcuquiro

Tabla 2: Coordenadas de ubicación del parque Allcuquiro

Punto	Coordenadas (UTM)	
	x	y
1	724325,5	9679648,2
2	724227,9	9679659,8
3	725988,9	9679810,2
4	724259,2	9679874,8



Figura 7: Delimitación del parque Allcuquiro

Fuente: Google Earth, 2019

- Parque Guatana

Tabla 3: Coordenadas de ubicación del parque Guatana

Punto	Coordenadas (UTM)	
	x	y
1	724351,5	9679659,5
2	724351,3	9679567,4
3	724196,7	9679506,2
4	724196,8	9679536,8
5	724258,7	9679629

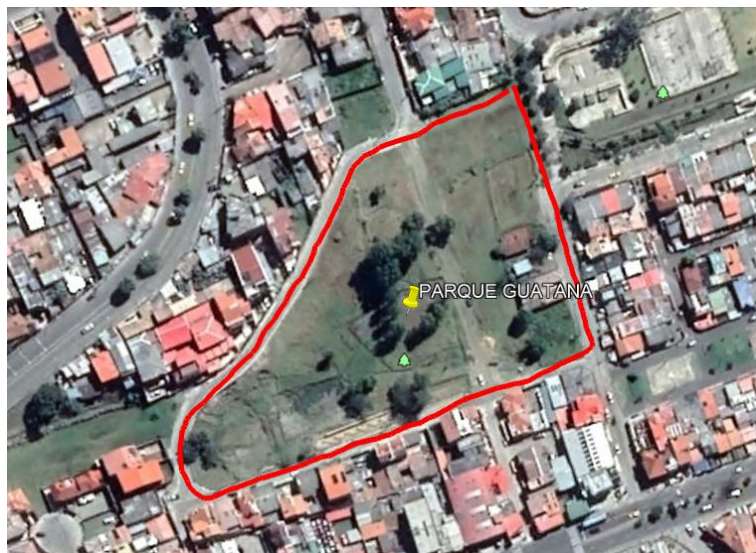


Figura 8: Delimitación del parque Guatana

Fuente: Google Earth, 2019

- Viveros de Yanaturo

Tabla 4: Coordenadas de ubicación de los viveros de Yanaturo

Punto	Coordenadas (UTM)	
	x	y
1	721050,2	9681877,4
2	721204,8	9682000
3	721235,6	9681938,5
4	721081	9681846,6



Figura 9: Delimitación de los viveros de Yanaturo EMAC-EP
Fuente: Google Earth, 2019

3.2.2. Muestra de biomasa

En las áreas verdes adentro de la zona urbana de la ciudad de Cuenca se tomó 3 especies forestales más comunes en la ciudad.

En la tabla 5 se da a conocer las 3 especies forestales que se encuentran en la ciudad, las cuales son:

Tabla 5: Especies forestales

Especies forestales		
Nombre común	Nombre científico	Familia
Eucalipto	“Eucalyptus globulus”	Myrtaceae
Acacia	“Acacia melanoxylon”	Fabaceae
Urapán	“Fraxinus chinensis”	Oleácea

3.2.3. Zonificación para la toma de muestras de suelo

En la figura 10 se muestra la ubicación del taller automotriz:

- Taller automotriz Torres ubicado en las calles Cordillera y Julio Abad Chica



Figura 10: Ubicación del taller automotriz.

Fuente: Google Earth

3.2.4. Muestra de suelo

Se recolectó suelo contaminado de una parcela del taller mecánico automotriz en la ciudad de Cuenca está ubicada en las calles Julio Abad Chica y Cordillera, esta geográficamente ubicado a $02^{\circ}53'445''$ latitud sur y a $78^{\circ}58'544''$ longitud oeste. La toma de la muestra del suelo contaminado fue un tipo de muestra compuesta por conveniencia, esto nos permite seleccionar una muestra de población que este accesible y se encuentran a mayor alcance del investigador (Otzen & Manterola, 2017). Se tomó una cantidad de 60 Kg con profundidad de 40 a 60 cm rigiéndose a la metodología dada para el muestreo de suelos (Ministerio del Ambiente, 2015).

Un estudio similar a la presente investigación nos indica que la metodología que se utilizó para la toma de muestras como se presenta en la tabla 6 fue la siguiente: para la recolección de suelo contaminado en fase experimental se utilizó un muestreo por conveniencia, con profundidad de 60 cm rigiéndose en la guía de toma de muestras de suelo (Romero, 2017).

Tabla 6: Usos del suelo y profundidad para la toma de muestras

USO DE SUELO	PROFUNDIDAD DE LA TOMA DE MUESTRA
Suelo agrícola	0-30 cm
	30-60 cm
Suelo residencial o parques	0-10 cm
	10-30 cm
Suelo comercial, industrial y extractivo	0-10 cm

Fuente:(Ministerio del Ambiente, 2015)



Figura 11: Zona de la toma de muestra

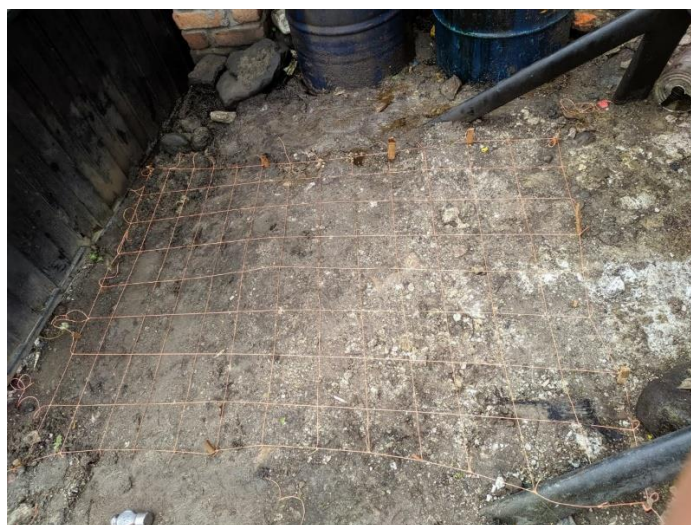


Figura 12: Toma de muestras por conveniencia



Figura 13: Profundidad para la toma de muestras

3.3. Materiales

3.3.1. Materiales de campo

Se utilizó los siguientes materiales: saco, muestra de poda forestal, balanza, machete, libreta, cámara, tijera de poda, cámara fotográfica



Figura 14: Materiales de campo

3.3.2. Materiales para la recolección de muestras de suelo

- Palas
- Bolsa plástica resistente o balde impermeable
- Cinta métrica
- GPS
- Balanza
- Martillo



Figura 15: Materiales para la recolección de muestras

3.4. Metodología para la recolección de materia prima

3.4.1. Recolección de la materia prima

Para la recolección se tomó tres tipos de poda forestal los cuales fueron: eucalipto, acacia y urapán, la muestra fue de 2 kg a 3 kg por cada tipo de poda forestal, cada una de las muestra se extrajo de los espacios verdes urbanos, las muestras serán recogida al azar mediante recolección manual (Abenza, 2012).

3.4.2. Acondicionamiento de la materia prima

Las muestras recogidas fueron secadas a temperatura ambiente en un entorno abierto, apilados y bajo techo para proteger de las lluvias, esto ayudó a controlar los porcentajes de humedad o al contrario se requiere gran cantidad de energía para poder eliminar el contenido de humedad, así llevar directamente a la fosa (Flores Flores & Quinteros Segovia, 2008).



Figura 16: Recolección de biomasa de acacia



Figura 17: Muestras de las podas forestales

3.4.3. Método de fosa miniatura

Se coloca una capa de hojas, alrededor de 20 cm de espesor, encima se coloca madera y una capa de 20 cm de tierra, esto se deja hasta completar la carbonización y se puede retirar a los dos días o menos, para retirar el material es necesario agua para poder evitar la ignición al momento de abrir la fosa (FAO, 1983).

Esta fosa pequeña de hasta un metro aproximado, útil para fabricar cantidades de carbón vegetal, este método se utilizó para realizar la producción de carbón vegetal en cantidades pequeñas, para obtener el carbón vegetal de esta forma, se comienza con fuego en la fosa y se agrega leña seca.

3.4.4. Producción de biochar

Siguiendo la metodología que nos ofrece la FAO (1983), se hizo un metro de profundidad para poder colocar el recipiente que contiene la biomasa obtenida y previamente secado, se comienza con un fuego tenue y se coloca el recipiente, una vez realizado este proceso se procede a colocar leña que fue obtenida en carpintería

que se utilizó para combustible, después de una hora y media a dos horas aproximadamente se procede a retirar el recipiente de la fosa teniendo en cuenta que no entre demasiado oxígeno ya que puede comenzar la ignición, y se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1 día.

Se realizaron 9 quemas para la obtención de biochar, 3 quemas para cada especie antes de ser introducido a la fosa, para obtener la cantidad necesaria que de 2,2 kg por biochar obtenido para la aplicación de las dosis del 5 %, 10 % y 20 %, cada biomasa entrante de cada especie fue de 4 kg.

El tiempo promedio para la producción de biochar en cada una de las especies fue:

- Acacia (73 min).
- Urapán (85 min).
- Eucalipto (100 min).



Figura 18: Fosa en miniatura



Figura 19: Acondicionamiento de las entradas de aire del tambor externo



Figura 20: Troceado de la biomasa



Figura 21: Llenado del contenedor con biomasa



Figura 22: Contenedores llenos con biomasa



Figura 23: Acondicionamiento con leña en espacio libre



Figura 24: Inicio de la llama



Figura 25: Proceso de pirólisis



Figura 26: Biochar obtenido luego del proceso de enfriamiento

3.4.5. Parámetros de análisis del biochar

En la tabla 7 se muestran los parámetros del biocarbón que se obtuvo mediante el estudio que realizó Hagemann *et al.*, (2017).

Tabla 7: Parámetros físico-químico del biochar

PARAMETROS	UNIDAD
pH	
Alcalinidad	(% CaCO ₃)
Conductividad eléctrica	(dS/m)
Densidad	(g/cm)
Materia orgánica	(%)
Carbono orgánico total	(%)
Nitrógeno total	(%)
C/N	
P	(mg/kg)
K	(mg/kg)
Materia orgánica	(% CaCO ₃)

Fuente: Hagemann *et al.*, (2017)

3.5. Metodología para remediación de suelo contaminado con hidrocarburo mediante biochar

3.5.1. Tratamiento del suelo a partir de biochar

La muestra contaminada del suelo con hidrocarburo fue extraída del taller automotriz Torres de la ciudad de Cuenca de la parroquia Totoracocha. Se examinó su composición físico-químico y consecutivamente se mezcló el biochar con diferentes dosis en macetas.



Figura 27: Toma de muestras del suelo contaminado.



Figura 28: Muestra de suelo homogenizado.

Para la toma de muestras se realizó un análisis inicial del suelo y se determinó su composición físico-químico, los parámetros fueron obtenidos del libro VI ANEXO 2 del TULSMA:

Tabla 8: Parámetros iniciales físicas del suelo

PARAMETROS	UNIDAD
pH	
Materia Orgánica	%
Conductividad eléctrica	dS/m

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

Para los parámetros químicos del suelo para analizar deben ser relacionado con los posibles contaminantes, que tiene relación con las actividades industriales, comerciales o agrícolas que se realizan en el área de estudio (Ministerio del Ambiente, 2015).

Los parámetros químicos a evaluar son hidrocarburos totales de petróleo (HTP's), pH y aceites y grasas, debido a que el suelo es de uso comercial perteneciente a un taller automotriz.

3.5.2. Criterios de remediación (Valores máximos permisibles)

Con base al “ACUERDO MINISTERIAL 097 A REFORMA ANEXO 2, LIBRO VI DEL TULSMA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMAL CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACION PARA SUELOS CONTAMINADOS”, los criterios de remediación se establecen de acuerdo al uso del suelo (agrícola, comercial, residencial e industrial), como propósito establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes en el suelo en proceso de remediación o restauración (Ministerio del Ambiente, 2015).

Tabla 9: Criterios de remediación (valores permisibles)

PARAMETRO	UNIDADES	USO DE SUELO			
		RESIDENCIAL	COMERCIAL	INDUSTRIAL	OTROS USOS
Parámetros Generales					
Conductividad	dS/cm	200	400	400	200
pH		6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Parámetros Orgánicos					
Aceites y grasas	mg/kg	<500	<2500	<4000	<4000
Benceno	mg/kg	0,08	5	5	0,03
Etilbenceno	mg/kg	0,01	20	20	0,1
Estireno	mg/kg	5	50	50	0,1
Tolueno	mg/kg	0,37	0,8	0,8	0,08
Xileno	mg/kg	2,4	11	20	0,1
PCBs	mg/kg	1,3	33	33	0,5
Clorofenoles	mg/kg	0,5	5	5	0,05
Fenoles	mg/kg	3,8	3,8	3,8	3,8
Benzo(a)atraceno	mg/kg	1	1	1	0,1
Benzo(a)pirenos	mg/kg	0,7	0,7	0,7	0,1
Naftaleno	mg/kg	0,6	22	22	0,1
Pirenos	mg/kg	10	10	10	0,1
Clorinados alifáticos	mg/kg	5	50	50	0,1
hidrocarburos totales	mg/kg	230	620	620	150
Clorobencenos	mg/kg	2	10	10	0,05
Tetracloroetilenos	mg/kg	0,2	0,5	0,6	0,1
Tricloroetilenos	mg/kg	3	30	30	0,1
Pesticidas organoclorados y sus metabolitos totales	mg/kg	0,1	0,1	0,1	0,1

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

3.5.3. Determinación de la eficiencia del tratamiento para la minimización de hidrocarburos en el suelo

Para determinar la eficacia del biochar en la minimización de hidrocarburos presentes en el suelo se tomó como referencia los criterios de remediación que se encuentran en el *“ACUERDO MINISTERIAL 097 A REFORMA ANEXO 2, LIBRO VI DEL TULSMA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMAL CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACION PARA SUELOS CONTAMINADOS”* y respecto a la cantidad de biochar aplicado, para verificar la eficiencia de determinar mediante los análisis de laboratorio para conocer la concentración final de los hidrocarburos. Se ejecutó los ensayos con la mezcla de suelo contaminado más biochar el cual se estudió a tiempo de remediación de 30 y 60 días. Para las pruebas se compró macetas porosas la cual nos ayudó a tener un drenaje de agua, ya que cada maceta puede contener una cantidad de suelo 2 kg aproximadamente. Para esto primero se mezcló el suelo, con una cantidad de biochar determinada y después de un tiempo se extrae una muestra para análisis de laboratorio (Romero, 2017).

3.5.4. Determinación de la cantidad de biocarbón que permitan una mayor absorción de los hidrocarburos en el suelo.

La cantidad de suelo que se manejó en cada maceta fue de 2 Kg aproximadamente, el biochar utilizado en cada tratamiento es de 0, 5 %, 10 %, y 20 % de dicha cantidad (Hagemann et al., 2017). Se homogeniza el suelo, seguido se aplica cierta cantidad de biochar, finalmente se tomó una muestra para el análisis en el laboratorio.

a. Suelo contaminado sin tratamiento (Testigo)

El suelo sin tratamiento es aquel que no contiene biochar, esto nos ayudó a diferenciarlo de los tratamientos que contienen el mismo. El suelo contaminado con hidrocarburo se colocó en macetas porosas, 2 kg cada una.



Figura 29: Suelo contaminado sin tratamiento

b. Aplicación de dosis al 5 % de biochar en suelo contaminado con hidrocarburo



Figura 30: Colocación del biochar en suelo contaminado.



Figura 31: Homogenización del biochar con suelo contaminando

Se homogenizó 2000 g de suelo y se aplicó una dosis del 5% de biochar:

$$\frac{2000 \text{ g (suelo)}}{5 \% \text{ Biochar}} \rightarrow \frac{100 \%}{5 \%}$$

5 % Biochar = 100 g de biochar.

Se procedió a sacar el porcentaje respectivo para saber cuál fue la cantidad del biochar que se aplicó en el suelo contaminado. Se extrajo 250 g para analizar la cantidad de hidrocarburos en el laboratorio.

c. Aplicación de dosis al 10 % de Biochar en suelo contaminado con hidrocarburo



Figura 32: Homogenización del suelo contaminando con biochar.

Se homogenizó 2000 g de suelo y se aplicó una dosis del 10% de biochar:

$$\frac{2000 \text{ g (suelo)}}{10 \% \text{ Biochar}} \rightarrow \frac{100 \%}{10 \%}$$

10 % Biochar = 200 g de biochar.

Se procedió a sacar el porcentaje respectivo para saber cuál fue la cantidad del biochar que se aplicó en el suelo contaminado. Se extrajo 250 g para analizar la cantidad de hidrocarburos en el laboratorio.

d. Aplicación de dosis al 20 % de Biochar en suelo contaminado con hidrocarburo



Figura 33: Suelo homogenizado con biochar.

Se homogenizó 2000 g de suelo y se aplicó una dosis del 5% de biochar:

$$\frac{2000 \text{ g (suelo)}}{20 \% \text{ Biochar}} \rightarrow \frac{100 \%}{20 \%}$$

20 % Biochar= 400 g de biochar.

Se procedió a sacar el porcentaje respectivo para saber cuál fue la cantidad del biochar que se aplicó en el suelo contaminado. Se extrajo 250 g para analizar la cantidad de hidrocarburos en el laboratorio.

Las muestras de suelo fueron recolectadas en el taller automotriz Torres ubicado en la parroquia Totoracocha de la ciudad de Cuenca, las mismas que fueron trasladadas al laboratorio BIONIKA ubicado en la ciudad de Quito, para que se realicen los análisis correspondientes.

Los resultados obtenidos se utilizaron para determinar la eficacia de minimización de los residuos de hidrocarburos en el suelo y determinar el tratamiento más óptimo que logre la minimización de los mismos. Los resultados se evaluaron teniendo en cuenta la cantidad de hidrocarburos en el suelo; se determinó la cantidad inicial y final al aplicar el biochar.

3.6. Análisis físico-químico del biochar

Se determinaron los siguientes elementos para los 3 tipos de biochar obtenidos del laboratorio BIONIKA:

Tabla 10: Parámetros físico-químico del biochar

PARÁMETROS	METODOLOGÍA
pH	ISO 10523
Alcalinidad	Std Methods 2320 B
Conductividad Eléctrico	Std Methods 2510 B
Densidad Aparente	NTC 6339:2019
Materia Orgánica	WALKLEY Y BLACK
Carbono Orgánico Total	NTC 5403:201
Nitrógeno Total	NTC 370
C/N	NTC 5167
P	COLORIMETRIA
K	NTC1369
Fe	NTC1369

Diseño experimental

Tabla 11: Diseño experimental

Diseño experimental						
Biocarbón: B1(Eucalipto), B2(Acacia), B3(Urapán)						
	Porcentaje (Dosis)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Recolección de muestras	
T1	5 %	B1	B1	B1	30 DIAS	60 DIAS
T2	10 %	B1	B1	B1	30 DIAS	60 DIAS
T3	20 %	B1	B1	B1	30 DIAS	60 DIAS
T4	5 %	B2	B2	B2	30 DIAS	60 DIAS
T5	10 %	B2	B2	B2	30 DIAS	60 DIAS
T6	20 %	B2	B2	B2	30 DIAS	60 DIAS
T7	5 %	B3	B3	B3	30 DIAS	60 DIAS
T8	10 %	B3	B3	B3	30 DIAS	60 DIAS
T9	20 %	B3	B3	B3	30 DIAS	60 DIAS
T10	0 %	Testigo	Testigo	Testigo		
	TOTAL	10	10	10		

Numero de masetas: 30

Testigo: 1

Carbón	Suelo
5 %	2 kg
10 %	2 kg
20 %	2 kg

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Producción de biochar

En total, se realizaron 9 quemas para la producción de biochar, 3 quemas de cada especie forestal respectivamente para obtener 2.2 kg de este. Se controló por cada especie el peso para llevar a cabo una relación de entrada y salida, en la tabla 12 se muestra los resultados obtenidos.

Al realizar el proceso de pirólisis cada quema duró de 1,5 a 2 horas aproximadamente, y para el enfriamiento de cada sistema o contenedor de biomasa tomó de 4 a 5 horas.

Tabla 12: Resultados de la producción de biochar.

QUEMA 1 (kg)			
ESPECIE	ENTRADA	SALIDA	RENDIMIENTO
Acacia	4	0,88	22 %
Urapán	4	0,9	22,5 %
Eucalipto	4	1,15	28,75

QUEMA 2 (kg)			
ESPECIE	ENTRADA	SALIDA	RENDIMIENTO
Acacia	4	0,82	20,5 %
Urapán	4	0,93	23,25 %
Eucalipto	4	1	25%

QUEMA 3 (kg)			
ESPECIE	ENTRADA	SALIDA	RENDIMIENTO
Acacia	4	0,79	19,75 %
Urapán	4	0,89	22,25 %
Eucalipto	4	1,07	26,75 %

En un estudio realizado para la “*Obtención de biochar a partir de la biomasa de podas forestales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca*” (Arevalo, 2018), se sacó los promedio de tiempo y salida del biochar el cual se obtuvo para la acacia un peso de salida promedio de 2,40 kg en un tiempo promedio de 120 min, seguido por el urapán de 2,40 kg, con un tiempo de 90 min y el eucalipto con un peso de 3.15 kg, con un tiempo de 90min.

Se puede observar en la figura 34 como el biochar conserva su forma y tamaño de original.



Figura 34: Biochar obtenido a partir de pirólisis

4.2. Caracterización del biochar

Tabla 13 se determinó los siguientes componentes del biochar, con sus respectivos valores, en el laboratorio BIONIKA de la ciudad de Quito

Tabla 13: Análisis de los componentes del biochar

RESULTADOS	UNIDADES	URAPAN	ACACIA	EUCALIPTO
pH		10,3	9,3	9,5
Alcalinidad	ppm (CaCO ₃)	160	250	310
Conductividad Eléctrica	mS/cm	0,21	0,15	0,12
Densidad Aparente	gml ⁻¹	0,173	0,162	0,151
Materia Orgánica	%	75,5	62,3	55,1
Carbono Orgánico Total	%	62,2	55,7	72,9
Nitrógeno Total	%	3,3	5,2	7,6
C/N		18,84	10,71	9,59
P	ppm	87,6	224,14	1123,6
K	ppm	96,5	150	953
Fe	ppm	69	80	88,03

A partir de los valores obtenidos por la caracterización del biochar se pudo determinar que su pH es alcalino y va de 9,3 a 10,3 dando a conocer que su rango de diferencia es mínimo.

4.2.1. Potencial de hidrogeno (pH):

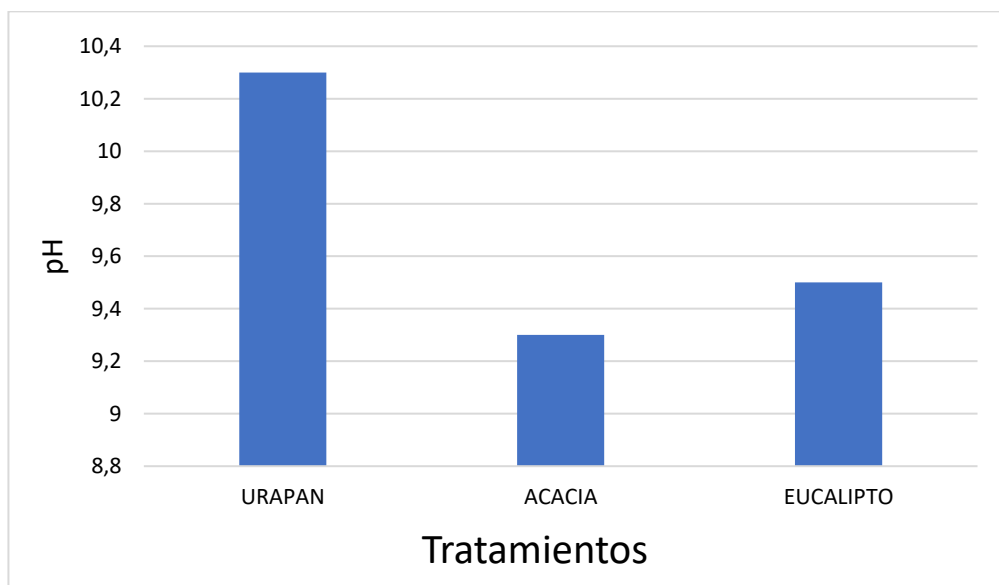


Figura 35: Niveles de pH de cada especie forestal de biochar.

El pH obtenido a partir del urapán es el más elevado con un valor de 10,3 lo que significa que tiene una propiedad alcalina; todo depende del tipo de biomasa y la temperatura a la cual fue expuesta para el proceso de pirólisis (Escalante *et al.*, 2016).

(Lehmann, 2009) en su estudio “*Biochar for Environmental Management*” determinó que los biocarbones que se producen térmicamente tienen un pH alcalino. (Lee *et al.* 2013) menciona que los biocarbones producidos a partir de la madera poseen un pH de 9,6; mientras que la paja de arroz tiene un pH de 10,5 y la turba de coco un pH de 10,3; estos resultados coinciden con los valores obtenidos del urapán y eucalipto. (Lal y Mukherjee 2015) menciona que los biocarbones hechos de estiércol poseen un pH más elevado que los de biomasa forestal.

(Herrera, 2018) en su estudio “*Pirólisis de biomasa para la obtención de biocarbón y su efecto en el rendimiento de tomate*” el olote de maíz obtuvo un potencial de hidrógeno (pH) de 5,99, rastrojo de maíz 6,19 (pH); rastrojo de ajonjolí 6,02 (pH) y en cascarilla de arroz de 5,86 (pH); el tiempo de proceso de pirólisis rápida fue de 60 minutos aproximadamente.

(Arevalo, 2018) en su estudio “*Obtención de biochar a partir de la biomasa de podas forestales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca*” demostró que el pH para las diferentes especies forestales fue: urapán (7,5), acacia (7,3) y eucalipto (7,3) el

método de pirólisis fue rápida con un tiempo empleado de 1 a 2 horas aproximadamente.

4.2.2. Conductividad eléctrica

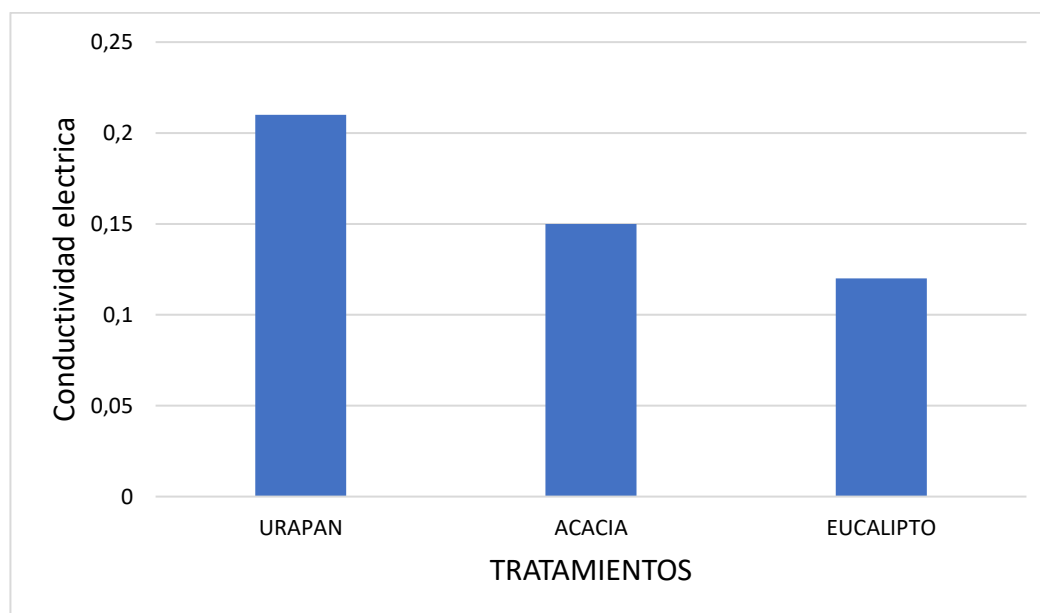


Figura 36: Conductividad eléctrica de los tipos de biochar (mS/cm)

En la figura 36 se observa los valores obtenidos de la conductividad eléctrica de los diferentes tipos de biochar, el urapán tuvo un valor de 0,21 mS/cm siendo mayor con respecto a las demás especies. Estos resultados son muy bajos a comparación con otros estudios realizados por diferentes autores, sin embargo (Abenza, 2012) en su estudio “Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta” menciona que la conductividad eléctrica es un parámetro variable, ya que las concentración de sales solubles en el biochar son sensibles, a los procesos de mineralización de la materia orgánica y absorción de nutrientes, el aumento similar en el valor de salinidad inicial de todos los tratamientos se explicaría debido al aporte de fertilizante mineral.

Canales, (2017) en su estudio “Valorización de biocarbones obtenidos mediante pirólisis de residuos orgánicos” indica que es apropiado caracterizar los valores de la conductiva eléctrica del biochar para impedir la creación de los efectos de las sales, especialmente en tasas altas de aplicación de biochar. Los valores que Canales, (2017) obtiene del biochar derivado del pino fue de (1,45 mS/cm), del limón (1,03 mS/cm) y de la cáscara de almendra (0,27 mS/cm), estos valores indican niveles bajos de sales para los biochars.

(Arevalo, 2018) en su estudio “Obtención de biochar a partir de la biomasa de podas forestales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca” menciona que los valores de conductividad eléctrica para los diferentes biocarbones fueron de (1,2 mS/cm) urapán, (1,4 mS/cm) acacia y (1,5 mS/cm) eucalipto.

4.3. Características físico-químicas del suelo

Tabla 14: Resultados de las características físico-químicas del suelo

RESULTADOS	SUELO INICIAL		
	ITEM	UNIDADES	VALORES
	pH	-	8,9
	Humedad	%	22
	Materia Orgánica	%	1,2
	Conductividad eléctrica	mS/cm	0,13
	Hidrocarburos	TPH ppm	1550
	Aceites y Grasas	%	80
	Densidad	g ml-1	1,8

Fuente: Laboratorio BIONIKA

El suelo extraído inicialmente tiene una gran cantidad de hidrocarburos, al ingresar al suelo produce un efecto llamado hidrofobicidad, esto resulta una disminución de la tasa de infiltración. Al acumularse los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) los poros de las partículas del suelo reduce la disponibilidad de permeabilidad y oxígeno (Teutli, *et al.* 2003).

El suelo que se extrajo inicialmente presentó un pH de 8,9, por lo que tiende a ser un suelo alcalino y esto no es favorable ya que existe una gran cantidad de sales en el suelo, esto puede impedir que las plantas absorban los nutrientes del suelo impidiendo su desarrollo. Según el (Ministerio del Ambiente, 2015) los criterios de remediación están establecidos para el uso de suelo (agrícola, comercial, residencial y comercial) en esta investigación el uso de suelo es comercial, el pH debe ser de 6 a 8.

4.4. Concentración de hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) no volátiles en el suelo

En esta investigación se analizó que efecto tiene el biocarbón en los suelos contaminados por los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) en un taller

automotriz de las cuales se obtuvieron muestras de suelo para ser analizadas en tiempo de dos meses de acuerdo a la metodología presentada.

Tabla 15: Resultados de la concentración de HTP's en el suelo inicial (0 días).

suelo inicial (testigo)		
Hydrocarburos	TPH ppm	1550

En la tabla 15 se muestra los resultados de los análisis de suelo contaminado con hidrocarburos totales de petróleo (HTP's), en su estado inicial (0 días).

Tabla 16: Resultados de la concentración de HTP's en 30 días en el suelo

Dosis	Tratamiento	Concentración de HTP's a los 30 días (ppm)
5% de biochar	urapán	1040
	acacia	1257
	eucalipto	1400
10% de biochar	urapán	1250
	acacia	1110
	eucalipto	1360
20% de biochar	urapán	823
	acacia	1005
	eucalipto	1120

En la tabla 16, se muestra los resultados obtenidos de la concentración de HTP's en el suelo contaminado, el cual posee diferentes dosis y tratamientos de biochar para la minimización de los hidrocarburos, las muestras fueron tomadas a partir de los 30 días.

Tabla 17: Resultados de la concentración final de HTP's a los 60 días en el suelo.

Dosis	Tratamiento	Concentración de TPH a los 60 días (ppm)
5% de biochar	urapán	1059
	acacia	1177
	eucalipto	1388
10% de biochar	urapán	1130
	acacia	990
	eucalipto	1238
20% de biochar	urapán	744
	acacia	965
	eucalipto	1100

En la tabla 17 se muestra la concentración de los HTP's en el suelo contaminado a los 60 días con diferentes dosis y tratamientos de biochar.

En la norma vigente (Ministerio del Ambiente, 2015) nos dan límites máximos permitidos o permisibles dependiendo el uso de suelo, en este caso el uso de suelo es comercial y los límites permisibles para el TPH es de <620 ppm o mg/kg. El uso de biocarbón nos ayudó a comprobar en los dos meses establecidos para la investigación que el biochar si disminuye los contaminantes que se encontraban en el suelo, pero al mismo tiempo no cumplió con los rangos de la norma vigente.

4.4.1. Eficiencia de los tratamientos (urapán, acacia y eucalipto)

Una vez obtenido los resultados por el laboratorio, se obtuvo los porcentajes de absorción de los hidrocarburos en el suelo de los tratamientos a cantidades diferentes de biochar. Por medio de la siguiente fórmula se verifica la absorción de hidrocarburos logrado en el suelo (Romero, 2017).

$$\% Ads = \frac{Cis(ppm) - Cfs(ppm)}{Cis(ppm)} \times 100$$

%Ads= Adsorción de hidrocarburo en suelo.

Cis= Concentración inicial en el suelo.

Cfs= Concentración final del suelo.

4.4.2. Adsorción de hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) en el suelo

Mediante la fórmula de absorción se determinó el porcentaje (tabla 18) que se logró por cada tratamiento con biochar (Romero, 2017):

Tabla 18: Porcentaje de absorción de HTP's en el suelo.

DOSIS	TESTIGO	URAPAN	ACACIA	EUCALIPTO
5 %	0	31,68	24,06	10,45
10 %	0	27,10	36,13	20,13
20 %	0	52,00	37,74	29,03

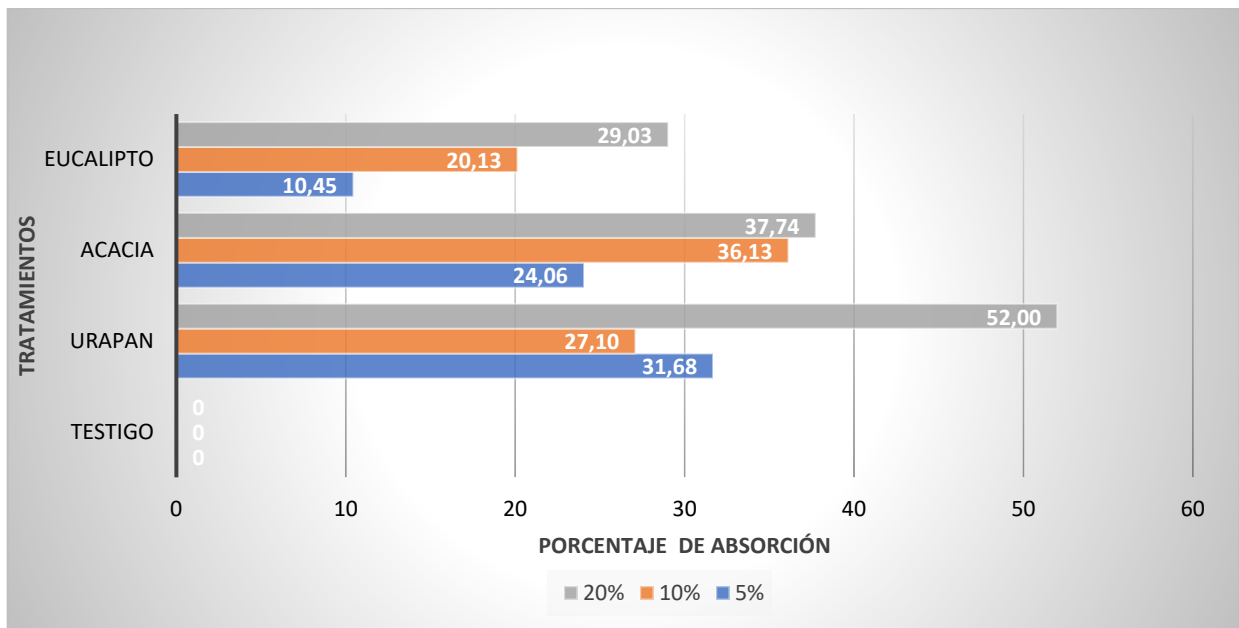


Figura 37: Grafico de la absorción de HTP's en el suelo

En la figura 37, se observa cual es la absorción del HTP's en el suelo con diferentes tratamientos (urapán, acacia y eucalipto). Para esto se aplicó diferentes cantidades de biochar que fueron 0 %, 5 %, 10 % y 20 %,

El testigo se mantuvo con la misma concentración, en este tratamiento no se aplicó biochar, por eso la absorción es nula. El biocarbón de eucalipto que se aplicó nos dio conocer que existe una proporcionalidad en cuanto al porcentaje de absorción de las dosis aplicadas.

Las dosis del 5 %, 10 % y 20 % de biocarbón se pudo obtener los porcentajes de eficiencia de absorción que alcanzo 31,68 % (Urapán), 36,13 % (Acacia) y 52 % (Urapán) del TPH, siendo la más baja la utilizada en el tratamiento del eucalipto con dosis del 5 % con una eficiencia del 10,45 %, varios estudios también señalan que el biocarbón no solo puede ser utilizado para remediación de metales pesados, también tiene buenas propiedades para mejorar suelos agrícolas adsorbiendo compuestos químicos como herbicidas y pesticidas.

En el estudio realizado para la “Eficiencia en la Inmovilización de Plomo en el Suelo Mediante la Aplicación de Cantidades de Biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima” (Herrera, 2018), para la eficacia de inmovilización de plomo en el suelo mediante biocarbón de excretas de animal obtuvo diferentes tratamientos aplicando diferentes porcentaje las cuales fueron de 5 %, 10 % y 20 %, en este caso el tratamiento donde se aplicó el 20 % obtuvo un porcentaje de eficiencia de minimización de plomo de un 70,34 %.

4.5. Análisis descriptivo de los resultados de la absorción de los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) en el suelo

En la tabla 19, se muestran los resultados de adsorción de HTP's en el suelo obtenidos a partir de la resta entre los valores de HTP's del suelo inicial (1500 mg/kg) y los valores de HTP's del suelo con los respectivos tratamientos (urapán, acacia y eucalipto) y dosis (5 %, 10% y 20%) a los 60 días del experimento.

Tabla 19: Resultados de la absorción de HTP's en el suelo

DOSIS	UNIDAD	URAPAN	ACACIA	EUCALIPTO
5 %	mg/kg	491	373	162
10 %	mg/kg	420	560	312
20 %	mg/kg	806	585	450

Mediante R studio se realizó el cálculo de la mediana de los resultados analizados; en la siguiente tabla 20 se muestra los datos obtenidos.

Tabla 20: Análisis descriptivos de los diferentes tratamientos utilizados

TRATAMIENTO				
	UNIDAD	URAPAN	ACACIA	EUCALIPTO
Mediana	mg/kg	491	560	312

Tabla 21: Análisis descriptivos de las diferentes dosis utilizadas en la investigación

DOSIS				
	UNIDAD	d1	d2	d3
Mediana	mg/kg	373 mg/kg	420 mg/kg	585 mg/kg

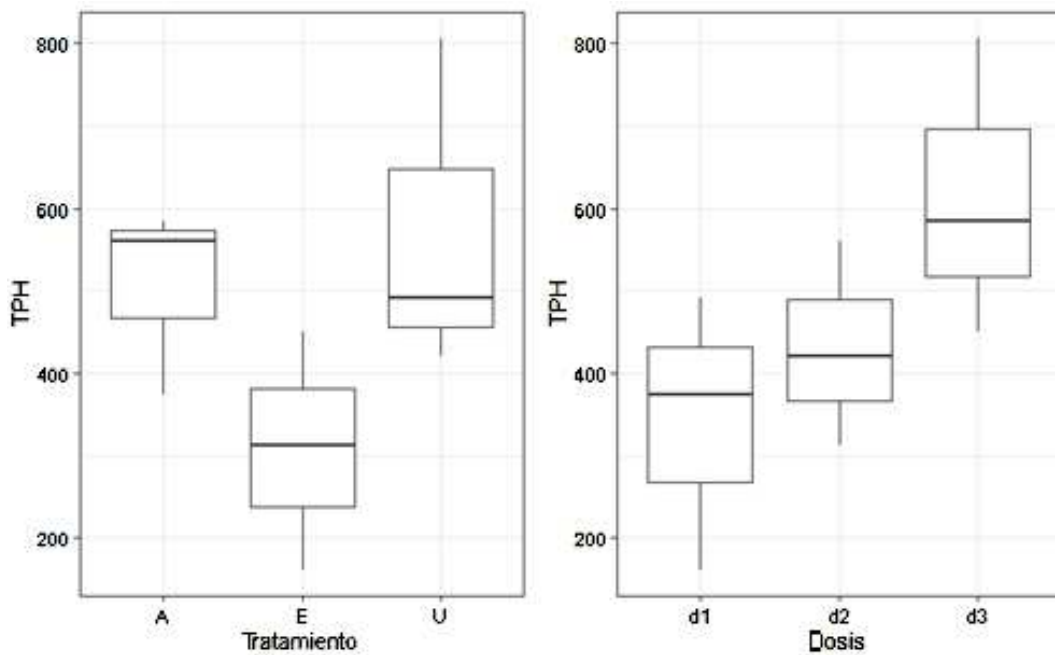


Figura 38: Tratamiento y dosis para la absorción de HTP's

En la figura 38, se muestra una mayor mediana en cuanto a la acacia, seguido por el urapán y finalmente con el eucalipto, en cuanto a la dispersión encontramos el tratamiento de la especie de urapán lo que muestra poca homogeneidad en los datos de los muestreos. En el eucalipto tenemos un sesgo equitativo en cuanto a porcentaje y absorción de hidrocarburos a diferencia del urapán en donde encontramos un sesgo positivo que nos muestra una mayor absorción de hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) en porcentajes altos y la acacia con sesgo negativa tiene una absorción parecida al urapán en porcentajes bajos.

En el boxplot de las dosis se puede observar una mayor mediana en 20 %, seguido por 10 % que no difiere de mucho con 5 % aunque su porcentaje es el doble, en cuanto a la dispersión encontramos que la dosis 20 % y 5 % lo que muestra poca homogeneidad en los datos de muestreo. No se identifica ningún dato atípico dentro de los dos gráficos.

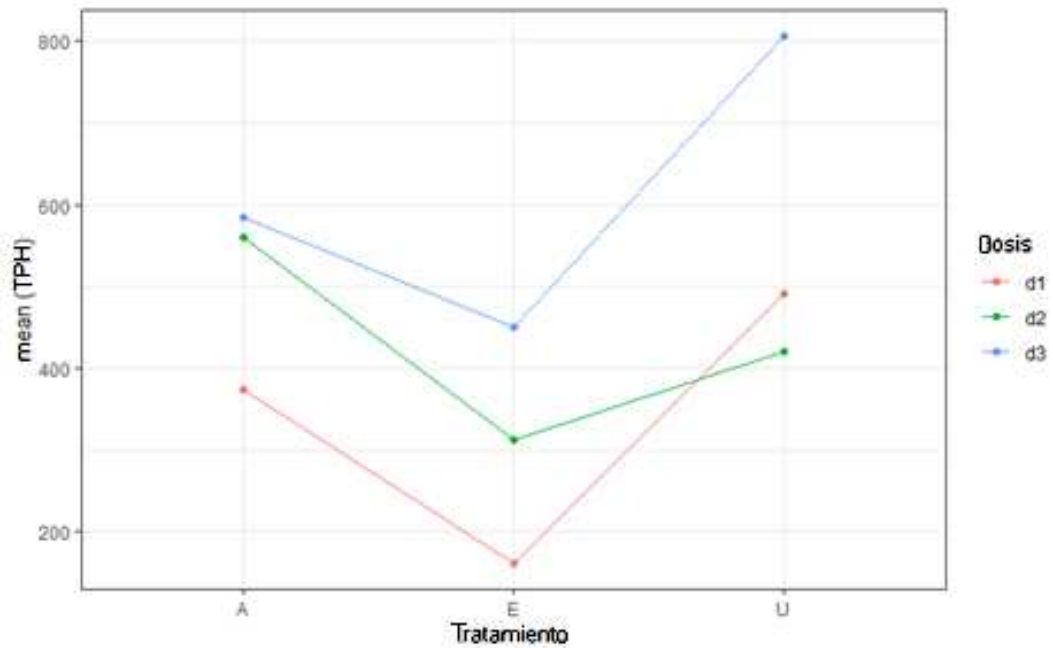


Figura 39: Interacción de las dosis

En la figura 39, se muestra la interacción entre los tratamientos del urapán con dosis 5 % y 10 % obteniendo comportamientos diferentes lo que genera una desproporción en cuanto a la cantidad de dosis con la cantidad de absorción de los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's), mientras que la dosis 5 % y 20 % muestran comportamientos similares en la proporción dosis y absorción para cada tratamiento lo que evidencia que no existe interacción.

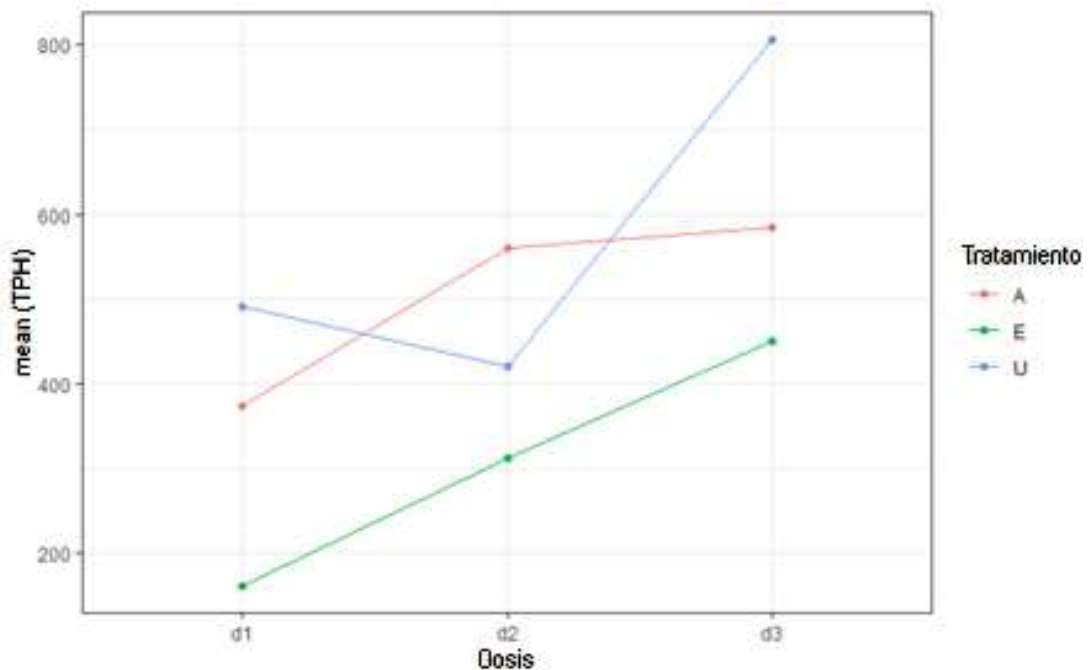


Figura 40: Interacción de los tratamientos

La interacción se evidencia entre el urapán y las acacias, la absorción de HTP's en dosis 10 % se esperaba q sea el urapán mayor que el de la acacia como se observa en dosis 5 % y 20 %, esto muestra un comportamiento diferente en el tratamiento del urapán siendo descendente la absorción de HTP's y no en proporciones ascendentes al aumentar su dosis como en los demás tratamientos, de igual manera el tratamiento de eucalipto se visualiza su comportamiento lineal con su proporción en porcentaje de dosis.

Para la obtención de los resultados, su dosis se realizó en diferentes cantidades tomando como base un porcentaje del suelo total contaminado. Las dosis de aplicación corresponden al 5 %, 10 % y 20 % respectivamente, en dosis al 5 % su mayor absorción fue de 491 HTP's con el tratamiento de eucalipto, en dosis al 10 % la absorción con mejores resultados fue de 560 HTP's con el tratamiento de la acacia y con dosis al 20 % se obtuvo una absorción de 806 HTP's con tratamiento del urapán.

En el estudio "Evaluación de la eficacia de *Trichoderma* sp y *Pseudomona* sp para biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos" (Muñoz Cuaical, 2016), el suelo inicial fue de 42070,3 (TPH mg/kg) con cuatro tratamientos los cuales fueron: el tratamiento T0 fue suelo más hidrocarburo el cual degrado gracias a la carga microbiana propia del suelo (bacterias, hongos y levadura) esto ayudo degradar al hidrocarburo llegando a un valor de 24152,4 (TPH mg/kg), el tratamiento T1 fue la mezcla de suelo más hidrocarburo más *trichoderma* alcanzo a un valor de degradación de 714,1 (TPH mg/kg), el tratamiento T2 fue la mezcla de suelo más hidrocarburo más *Pseudomonas* y el tratamiento T3 fue suelo más hidrocarburo más *trichoderma* más *Pseudomonas* estos tratamientos obtuvieron valores de degradación similares los cuales fueron de 396,1 (TPH mg/kg) y 379,2 (TPH mg/kg).

En otro estudio para "Evaluación de la biodegradación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando *Aspergillus niger*, *Pleurotus ostreatus* y *Pseudomonas aeruginosa*" (Díaz, 2012), el suelo contaminado tuvo una concentración de HTP's inicial de 104231 mg/kg, con 5 tratamientos los cuales fueron: T2 es la mezcla de suelo contaminado con hidrocarburo mas *Aspergillus niger* alcanzo un valor de 84722 mg/kg , el tratamiento que tuvo mayor remoción de los HTP's fue el T5 con una mezcla de suelo contaminado más *Aspergillus niger*, *Pleurotus ostreatus* y *Pseudomonas aeruginosa*, obteniendo un resultado de 58342 mg/kg.

4.6. Análisis descriptivo de los resultados de la absorción de los aceites y grasas en el suelo

En el presente trabajo investigativo se analizó los efectos que tiene el biocarbón sobre los suelos contaminados por aceites y grasas, la zona de estudio en la que se llevó a cabo la investigación fue en un taller automotriz de las cuales se obtuvieron muestras de suelo para ser analizadas en tiempo de dos meses de acuerdo a la metodología presentada.

Tabla 22: Resultados de concentración de aceites y grasas en el suelo inicial (0 días).

Parámetro	Suelo inicial	Unidad
Aceites y Grasas	800000	mg/kg

En la tabla 22, se muestra los análisis obtenidos del suelo contaminado con aceites y grasas, en su estado inicial (0 días).

Tabla 23: Resultados de concentración de aceites y grasas en 30 días en el suelo

Dosis	Tratamiento	Concentración de aceites y grasas a los 30 días	Unidad
5% de biochar	urapán	750000	mg/kg
	acacia	710000	mg/kg
	eucalipto	1000000	mg/kg
10% de biochar	urapán	740000	mg/kg
	acacia	620000	mg/kg
	eucalipto	810000	mg/kg
20% de biochar	urapán	620000	mg/kg
	acacia	450000	mg/kg
	eucalipto	700000	mg/kg

En la tabla 23, se observa los resultados obtenidos de la concentración de aceites y grasas en el suelo contaminado, el cual posee diferentes dosis y tratamientos de biochar para reducir la contaminación del mismo, las muestras fueron tomadas a partir de los 30 días.

Tabla 24: Resultados de la concentración de aceites y grasas en 60 días en el suelo

Dosis	Tratamiento	aceites y grasas a los 60 días	Unidad
5% de biochar	urapán	740000	mg/kg
	acacia	720000	mg/kg
	eucalipto	1000000	mg/kg
10% de biochar	urapán	710000	mg/kg
	acacia	590000	mg/kg
	eucalipto	770000	mg/kg
20% de biochar	urapán	550000	mg/kg
	acacia	480000	mg/kg
	eucalipto	630000	mg/kg

En la tabla 24, se observa los resultados obtenidos de la concentración de aceites y grasas en el suelo contaminado, el cual posee diferentes dosis y tratamientos de biochar para reducir la contaminación del mismo, las muestras fueron tomadas a partir de los 60 días.

4.6.1. Análisis descriptivo de los resultados de la absorción de los aceites y grasas en el suelo

En la tabla 25, se puede observar el análisis descriptivo del suelo contaminado con aceites y grasas según los tratamientos aplicados a partir de los 30 y finalizando en los 60 días.

Tabla 25: Análisis descriptivo de la concentración de aceites y grasas en el suelo contaminado (30 y 60 días), por tratamiento en mg/kg

ESTADISTICO	TRATAMIENTO (mg/kg)					
	30 días		60 días		30 días	
	URAPAN	URAPAN	ACACIA	ACACIA	EUCALIPTO	EUCALIPTO
MEDIA	703333,33	666666,67	593333,33	596666,67	836666,67	800000
MEDIANA	703333,33	590000	593333,33	590000	836666,67	770000
DESV.ESTANDAR	132035,35	102143,69	151767,37	120138,81	151767,37	186815,42
C.V. (%)	19	15	26	20	18	23
MINIMO	620000	550000	450000	480000	700000	630000
MAXIMO	750000	740000	710000	720000	1000000	1000000

En la tabla 25, se observa un valor mínimo de aceites y grasas encontrados en el suelo contaminado el cual es 450000 mg/kg con un coeficiente de variación del 26

% en la especie forestal de acacia a los 30 días del experimento, mientras que el valor máximo es de 1000000 mg/kg con un coeficiente de variación del 18 % el cual se encontró en el tratamiento de la especie forestal del eucalipto el cual da a conocer que la especie forestal que remedió fue la acacia. A los 60 días del experimento tenemos un valor mínimo de 480000 mg/kg con un coeficiente de variación del 20 % el cual se presenta en la acacia, al mismo tiempo se puede observar un incremento en el valor, esto se debe a que el nivel de absorción del carbón sobrepasó sus límites por lo cual se presenta un pequeño incremento del contaminante en el suelo, el valor máximo lo presenta el eucalipto con un valor de 1000000 mg/kg con un coeficiente de variación del 23 %.

En cuanto a la variabilidad de los niveles de aceite y grasas en los tratamientos (urapán, acacia y eucalipto) respecto a los 30 días fue la acacia con un valor de variabilidad del 26 % C.V. sin embargo en el urapán y eucalipto la variabilidad tuvo un rango similar (19 y 18 %) C.V; con respecto a los tratamientos con una duración de 60 días, el urapán fue el que obtuvo menor variabilidad con el 15 % C.V, seguido del tratamiento de la acacia con el 20 % C.V., y con una mayor variabilidad el tratamiento de eucalipto con el 23 % C.V.

En conclusión, la especie forestal que tuvo mayor impacto como descontaminante fue la acacia tanto en el primer mes como en el segundo mes, mientras que la especie que tuvo menos eficacia fue el eucalipto.

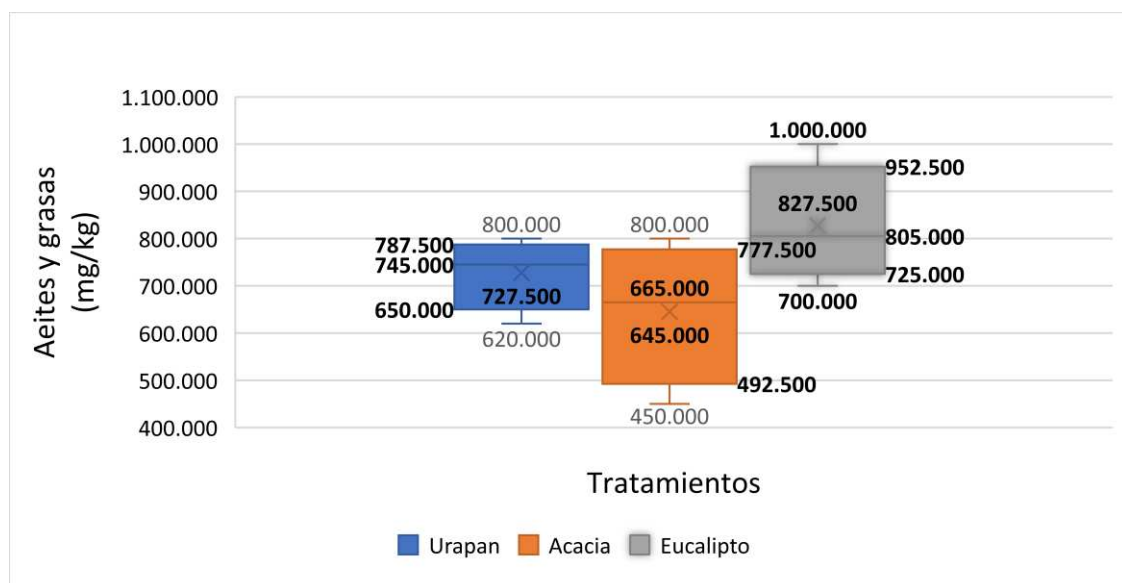


Figura 41: Análisis descriptivo de aceites y grasas por tratamiento (30 días)

En la figura 41, se observa que el mejor tratamiento utilizado para la minimización de contaminantes en el suelo fue la acacia con un valor de 450000 mg/kg, seguido

el urapán con un valor de 620000 mg/kg y finalmente el tratamiento con menos relevancia fue el eucalipto con un valor de 1000000 mg/kg.

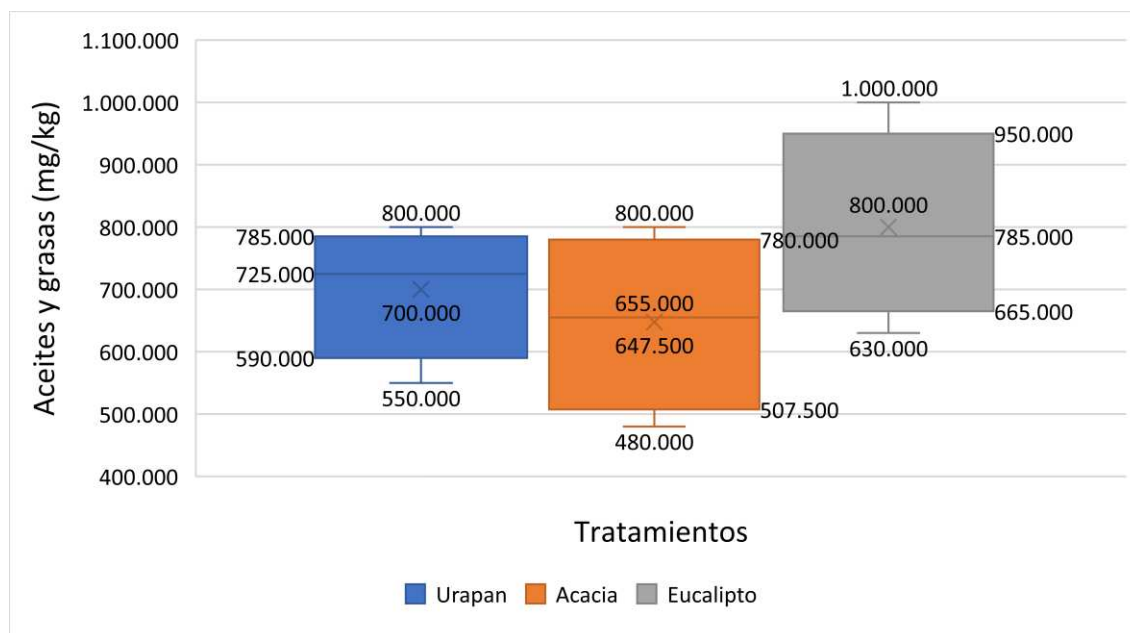


Figura 42: Análisis descriptivo de aceites y grasas por tratamiento (60 días)

En la figura 42 se observa que el mejor tratamiento utilizado para la minimización de contaminantes en el suelo fue la acacia con un valor de 480000 mg/kg en este caso se puede observar un aumento, esto se debe a que la absorción del carbón sobrepasó sus límites, seguido el urapán con un valor de 550000 mg/kg y finalmente el tratamiento con menos relevancia fue el eucalipto con un valor de 1000000 mg/kg.

Tabla 26: Análisis descriptivo de la concentración de aceites y grasas en el suelo contaminado (30 y 60 días), por dosis en mg/kg

ESTADISTICO	DOSIS					
	30 días 5%	60 días 5%	30 días 10%	60 días 10%	30 días 20%	60 días 20%
MEDIA	820000	820000	723333,33	690000	590000	553333,33
MEDIANA	750000	740000	740000	710000	575000	550000
DESV.ESTAN.	157162,34	156204,99	96090,24	91651,51	127671,45	75055,53
C.V. (%)	19	19	13	13	22	14
MINIMO	710000	720000	620000	590000	450000	480000
MAXIMO	1000000	1000000	810000	770000	700000	630000

En la tabla 26, se observa un valor mínimo de aceites y grasas encontrados en el suelo contaminado el cual es 450000 mg/kg en la especie forestal de la acacia a los 30 días del experimento con una dosis del 20 %, mientras que el valor máximo es de 1000000 mg/kg el cual se encontró en el tratamiento de la especie forestal del

eucalipto con una dosis de 5 % a los 30 días, el cual da a conocer que la especie forestal que remedió fue la acacia con dosis del 20 %. A los 60 días del experimento tenemos un valor mínimo de 480000 mg/kg el cual se presenta en el eucalipto con una dosis del 20 %, al mismo tiempo se puede observar un incremento en el valor, esto se debe a que el nivel de absorción del carbón sobrepasó sus límites por lo cual se presenta un pequeño incremento del contaminante en el suelo, el valor máximo lo presenta el eucalipto con una dosis de 5 % con un valor de 1000000 mg/kg a los 60 días.

Para la variabilidad de los niveles de aceites y grasas en dosis respecto a los 30 días, se observa mayor variabilidad en la dosis del 20 % con un 22 % C.V, seguido de la dosis al 5% con el 19 % C.V, y finalmente los niveles de aceites y grasas con menor coeficiente de variación es la d2(10%) con el 13 % C.V; a los 60 días del experimento la dosis que obtuvo menor variabilidad fue la dosis al 10 % obtuvo 13 % C.V, seguido de la dosis al 20 % con el 14 % C.V y finalmente con mayor variabilidad obtuvo la dosis al 5 % con 19 % C.V.

En conclusión, la especie forestal que tuvo mayor impacto como descontaminante fue el eucalipto con dosis del 20 % tanto en el primer mes como en el segundo mes, mientras que la especie que tuvo menos eficacia fue el urapán con dosis del 5 %.

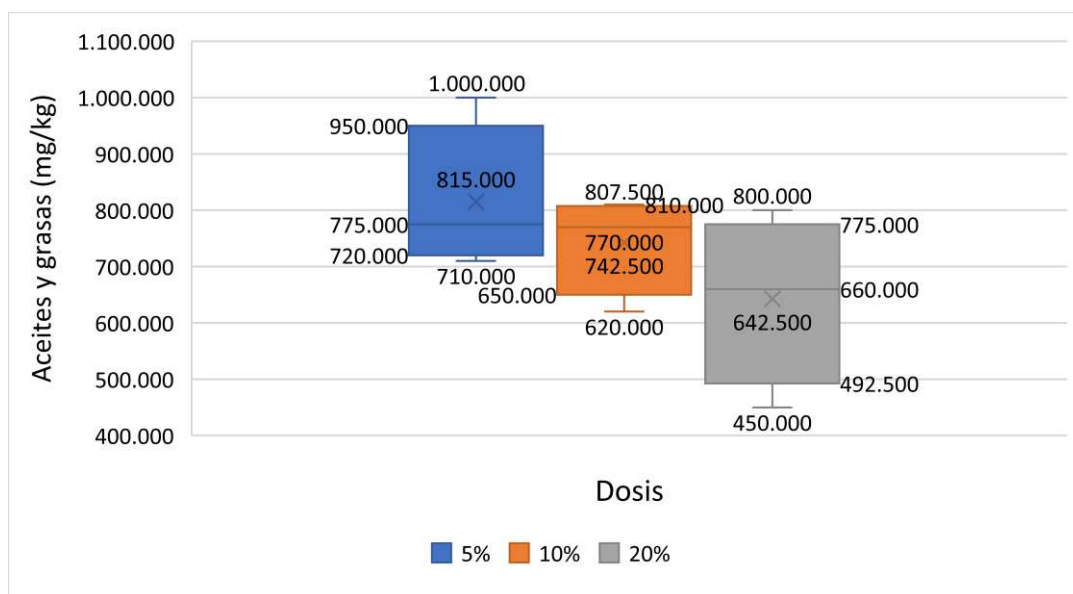


Figura 43: Análisis descriptivo de aceites y grasas por dosis (30 días)

En la figura 43, se observa que la mejor dosis utilizada para la disminución de aceites y grasas en el suelo fue el 20 %, esta dosis contribuyó con una reducción de 450000 mg/kg del contaminante, mientras que la dosis del 10 % arrojó resultados de 620000 mg/kg y finalmente le sigue el 5 % con un valor de 710000 mg/kg, estas

dos últimas dosis no tuvieron un impacto relevante sobre el suelo a la hora de su descontaminación.

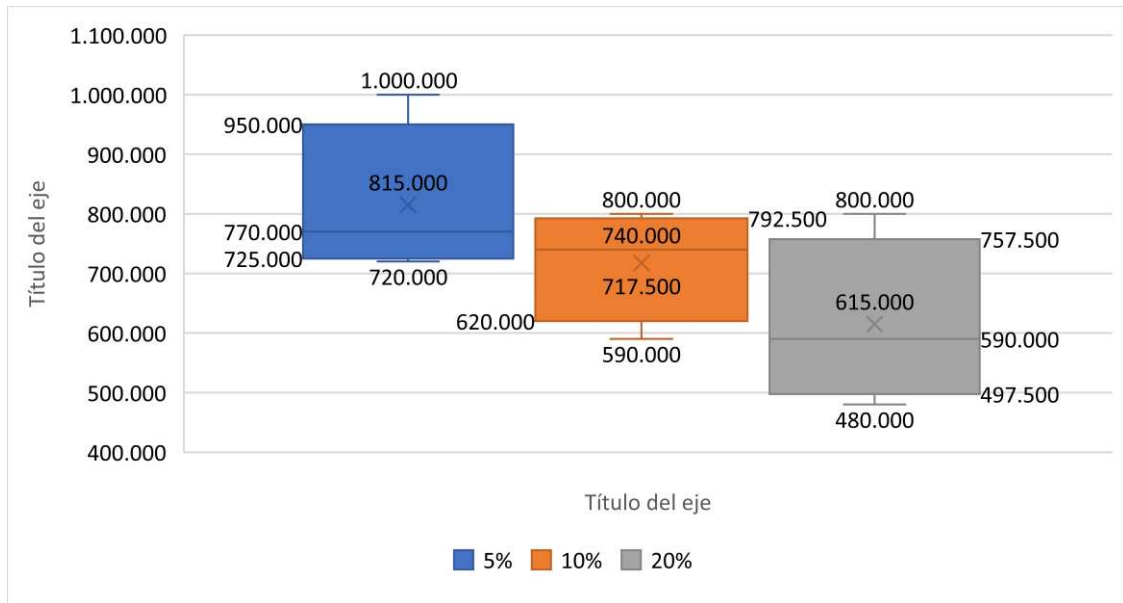


Figura 44: Análisis descriptivo de aceites y grasas por dosis (60 días)

En la figura 44, se observa que la mejor dosis utilizada para la disminución de aceites y grasas a los 60 días en el suelo fue el 20 % cuyo resultado de absorción del contaminante fue 480000 mg/kg, mientras que la dosis del 10 % arrojó resultados de 590000 mg/kg y finalmente le sigue el 5 % con un valor de 720000 mg/kg.

(Lobelo & Salcedo, 2017) en su estudio “*Evaluación de la remoción de grasas y aceites en el suelo contaminado con Diesel B10 y Biodiesel aplicando la tecnología ósea II implementada por EOM consulting S.A.S*” presento un análisis inicial de aceites y grasas en el suelo de 247069 mg/kg con Diesel B10 y 291642 mg/kg para Biodiesel, se aplicó la tecnología OSE II en diferentes dosificaciones 1:25 y 1:37,5 en un tiempo de 28 días, la reducción de aceites y grasas a los 28 días fue de 44062 mg/kg en el suelo contaminando con Diesel B10 y 153103 mg/kg para el suelo contaminado con Biodiesel, mientras que para la dosificación de 1:37,5 se obtuvo 86802 mg/kg y 207583 mg/ kg.

4.7. Resultados de la minimización del potencial de hidrógeno (pH) en el suelo.

Se analizó los efectos que posee el biocarbón sobre el suelo contaminado para la minimización o remediación del pH, la zona de estudio se llevó a cabo en el taller automotriz de las cuales se obtuvo muestra de suelo para ser analizados en tiempo de dos meses de acuerdo a la metodología presentada.

Tabla 27: Resultados de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) en el suelo inicial (0 días).

Parámetro	Suelo inicial
pH	8,9

En la tabla 27, se muestra los análisis obtenidos del suelo contaminado con la concentración inicial de potencial de hidrógeno (pH) en 0 días.

Tabla 28: Resultados de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) en 30 días en el suelo

Dosis	Tratamiento	Determinación del pH después de 30 días
5% de biochar	urapán	7,2
	acacia	7,5
	eucalipto	7,8
10% de biochar	urapán	6,8
	acacia	7,5
	eucalipto	7,3
20% de biochar	urapán	7,1
	acacia	8,2
	eucalipto	7,7

En la tabla 28, se puede observar los resultados del pH en el suelo, en el cual posee diferentes dosis y tratamientos de biochar, las muestras fueron tomadas a partir de los 30 días.

Tabla 29: Resultados de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) a los 60 días en el suelo

Dosis	Tratamiento	Determinación del pH después de 60 días
5% de biochar	urapán	7,9
	acacia	7,8
	eucalipto	7,5
10% de biochar	urapán	7,8
	acacia	7,9
	eucalipto	7,7
20% de biochar	urapán	7,8
	acacia	7,5
	eucalipto	7,5

En la tabla 29, se observa los resultados de los análisis obtenidos del pH en el suelo contaminado, el cual posee diferentes dosis y tratamientos de biochar, las muestras fueron tomados a partir de los 60 días.

4.7.1. Análisis descriptivo del potencial de hidrógeno (pH) en el suelo contaminado más biochar

Para realizar un análisis descriptivo no se puede utilizar los valores de pH obtenidos del laboratorio ya que son logarítmicos y no se los puede considerar como un número racional, por lo tanto, se aplicó un antilogaritmo para poder realizar la parte estadística.

Tabla 30: Análisis descriptivo del potencial de hidrógeno (pH) en el suelo contaminado (30 y 60 días), por tratamiento.

ESTADISTICO	TRATAMIENTO					
	30 días URUPAN	60 días URAPAN	30 días ACACIA	60 días ACACIA	30 días EUCALIPTO	60 días EUCALIPTO
MEDIA	7,03	7,83	7,76	7,76	7,62	7,59
MEDIANA	7,5	7,8	7,5	7,8	7,7	7,5
DESV.ESTAN.	0,21	0,06	0,40	0,21	0,26	0,12
C.V. (%)	3	1	5	3	3	2
MINIMO	6,8	7,8	7,5	7,5	7,3	7,5
MAXIMO	7,2	7,9	8,2	7,9	7,8	7,7

En la tabla 30, se muestran los valores del pH en el suelo por tratamiento y a los 30 y 60 días del experimento. A los 30 días del experimento se obtiene un valor mínimo de 6,8 pH correspondiente a la especie forestal del urapán con un coeficiente de variación del 3% y un valor máximo de 8,2 pH en la especie forestal de la acacia con un coeficiente de variación del 5%. A los 60 días del experimento la especie forestal de acacia y eucalipto dieron un valor mínimo de 7,5 (pH), y el valor máximo lo presenta la acacia con un valor de 7,9 (pH).

En cuanto a la variabilidad de los niveles de pH encontrados, en los distintos tratamientos a los 30 días con mayor variabilidad fue la acacia con un 5% C.V, seguido de los tratamientos del urapán y el eucalipto la variabilidad tuvo un rango similar (3%) C.V.

En conclusión, la especie forestal que tuvo mayor impacto como minimizador de la concentración del pH fue el urapán en el primer mes, para el segundo mes fue el eucalipto, mientras que la especie que tuvo menos eficacia fue la acacia.

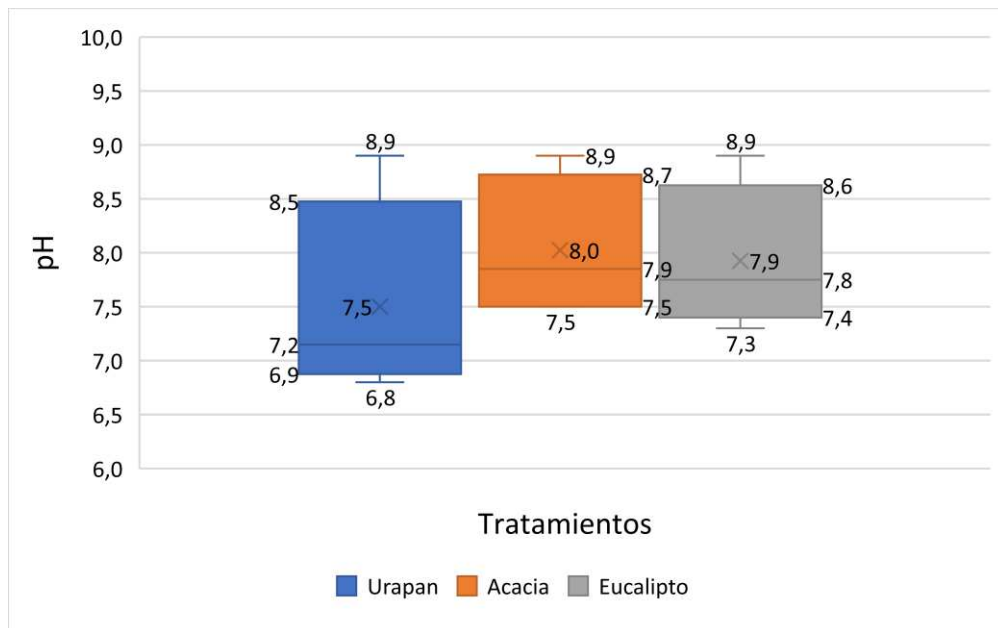


Figura 45: Análisis descriptivo de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) por tratamiento (30 días)

En la figura 45 se observa que el valor de concentración inicial del pH en el suelo fue 8,9, según este valor se puede confirmar que el tratamiento con mayor efectividad fue el urapán con una minimización del pH en el suelo cuyo valor fue 6,8, le sigue el eucalipto con un valor de 7,3 pH y finalmente la acacia con un valor de 7,5 pH. En conclusión, se puede observar que el urapán disminuyó 2,1 % de pH en 30 días.

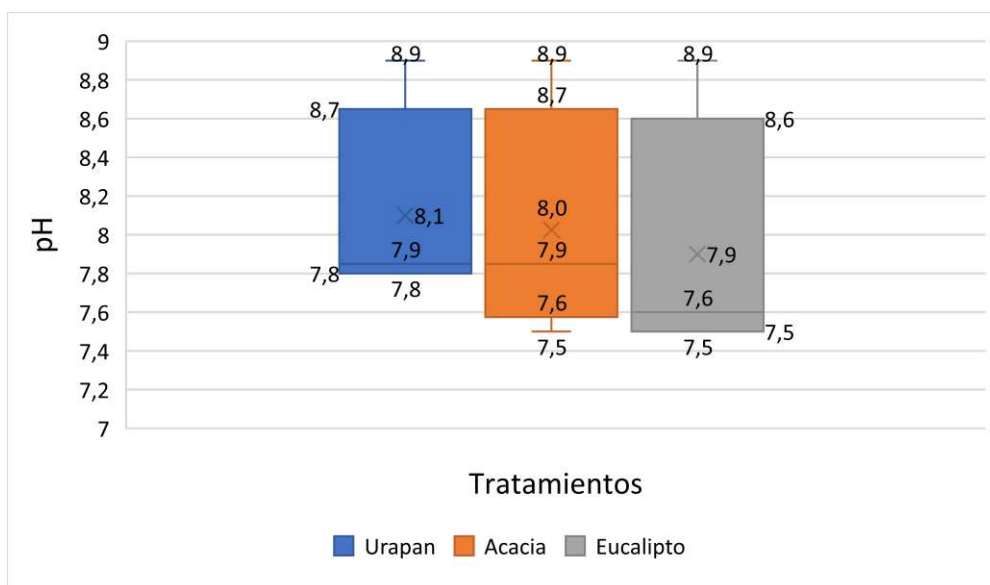


Figura 46: Análisis descriptivo de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) por tratamiento (60 días)

En la figura 46, se observa que el valor inicial del pH en el suelo fue de 8,9, el tratamiento con mayor impacto a los 60 días fue la acacia y el eucalipto con una minimización similar de la concentración del pH en el suelo cuyo valor es de 7,5 pH,

mientras que el urapán dio un valor de 7,8 pH, a los 60 días se puede observar un cambio notorio en la efectividad de los distintos tratamientos, es así que el urapán pasa de ser el mejor tratamiento a ser el menos efectivo, esto se debe a que el biocarbón sobrepasó su límite de absorción.

Otros valores obtenidos en “Evaluación de la biodegradación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando *Aspergillus niger*, *Pleurotus ostreatus* y *Pseudomonas aeruginosa*” (Díaz, 2012) se pudo observar que los tratamientos que se obtuvo fueron entre 7,20 y 7,1 pH y en algunos tratamientos se pudo observar un mayor pH con 7,20 y 7,16 estos valores observados están en rangos óptimos para biodegradación que oscila entre 6 y 8 pH esto permite que un desarrollo de la población microbiana.

Tabla 31: Análisis descriptivo de la concentración del potencial de hidrógeno (pH) en el suelo contaminado (30 y 60 días), por dosis.

ESTADISTICO	DOSIS					
	30 días	60 días	30 días	60 días	30 días	60 días
5 %	5 %	10 %	10 %	20 %	20 %	
MEDIA	7,53	7,76	7,23	7,82	7,69	7,62
MEDIANA	7,5	7,8	7,3	7,8	7,7	7,5
DESV.ESTANDAR	0,30	0,21	0,36	0,10	0,55	0,17
C.V. (%)	4	3	5	1	7	2
MINIMO	7,2	7,5	6,8	7,7	7,1	7,5
MAXIMO	7,8	7,9	7,5	7,9	8,9	7,8

En la tabla 31, se observa una disminución del potencial de hidrógeno (pH) encontradas en el suelo contaminado el cual es de 6,8 en la especie forestal de la acacia a los 30 días del experimento con una dosis del 10 %, mientras que el valor máximo es de 8,9 (pH) en el cual se encontró en el tratamiento de la especie forestal del eucalipto con una dosis de 20 % a los 30 días, el cual nos da a conocer que la especie forestal que remedio fue la acacia con dosis del 10 %, a los 60 días del experimento tenemos un valor mínimo de 7,5 (pH) el cual se repite en el urapán y eucalipto con dosis del 5 % y 20 %, el valor máximo lo presenta la acacia y el urapán con una dosis de 5 % y 10 % con un valor de 7,9 (pH) a los 60 días.

Para la variabilidad de los niveles de pH encontrados en la dosis que resulta tener mayor variabilidad a los 30 días es la dosis al 20 %, obtuvo el 7 % coeficiente de variación (C.V), seguido de la dosis en 5 % con un 5 % C.V. y finalmente los niveles de pH con menor variabilidad se puede observar en la dosis del 5 % con un 4 %

C.V.; seguido para las dosis que tuvo menor variabilidad a los 60 días es la dosis del 10 % que se observa el 1 % de C.V, seguidamente la dosis del 20 % y 5 % con rangos similares (2 % y 3 %) C.V.

En conclusión, la especie forestal que tuvo mayor impacto para la minimización del pH fue la acacia con dosis del 10 % a los 30 días del experimento, la especie que tuvo menor eficiencia al segundo mes fueron el urapán, acacia y eucalipto ya que tiene valores similares con las diferentes dosis aplicadas.

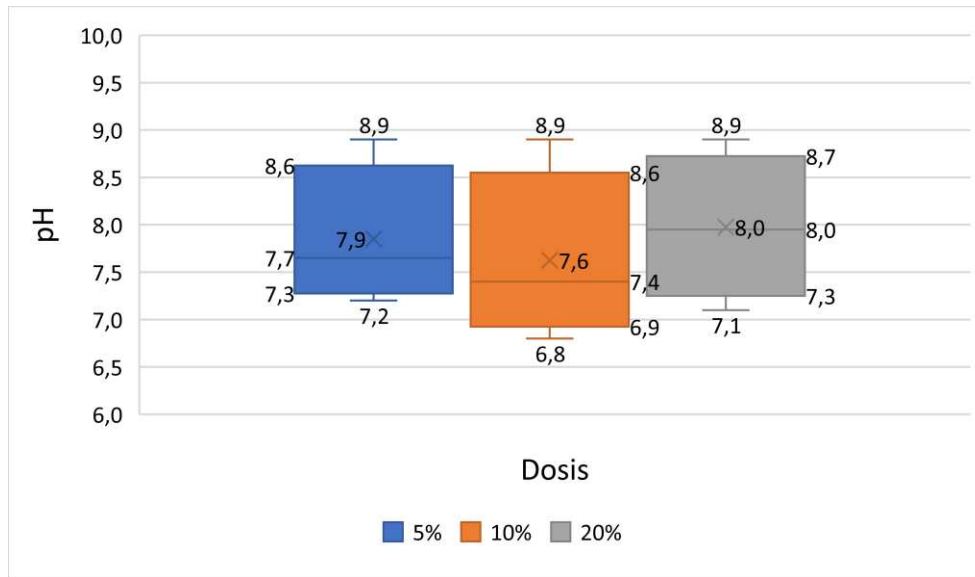


Figura 47: Análisis descriptivo de la concentración del potencial de hidrogeno (pH) por dosis (30 días)

En la figura 47, el suelo inicial tuvo un pH de 8,9, la dosis con mayor eficacia para la minimización del contaminante fue 10 % la cual disminuyó 2,1 % del contaminante, las dosis del 5 % y 20 % cuyos valores se asemejan disminuyeron 1,7 % y 1,6 % de los niveles de contaminación que se encontraba en el suelo.

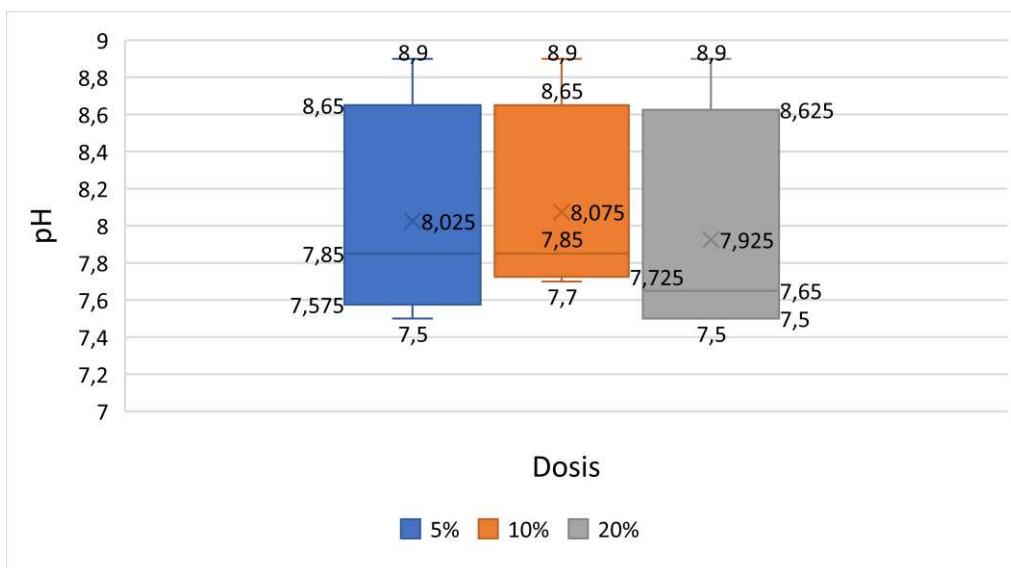


Figura 48: Análisis descriptivo de la concentración del potencial de hidrogeno (pH) por dosis (60 días)

En la figura 48, se puede observar que la mejor dosis utilizada a los 60 días para la disminución del pH en el suelo fue el 5 y 20 % ya que estas dosis disminuyeron 1,4 % del pH, mientras que la dosis del 10 % disminuyó 1,2 % del pH.

(Muñoz Cuaical, 2016) en su estudio “Evaluación de la eficacia de trichoderma sp y pseudomona sp para biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos” obtuvo un potencial de hidrógeno (pH) inicial del suelo de 7,8; obtuvo valores entre 7 y 6,9 pH se puede observar que disminuyó por la adición del hidrocarburo en el suelo, esto se debe por la alteración de la composición del medio, esto hace que disminuya el pH, esta disminución se puede dar por liberación de compuestos de hidrocarburos por la degradabilidad del hidrocarburo por los microorganismos.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES

Se realizó una fosa de manera artesanal con fines de análisis e investigación para la producción de biochar a partir de 3 especies de biomasa forestal (urapán, acacia y eucalipto), las cuales fueron sometidas a un proceso de pirólisis en un tiempo de 1,5 a 2 horas. Además, se tomó en cuenta la humedad y el tamaño homogéneo de las ramas de cada especie forestal obtenida de las podas realizadas por la EMAC-EP.

Obtenido el biochar se realizó la caracterización del mismo con base a los siguientes parámetros: pH, alcalinidad, conductividad eléctrica, densidad aparente, materia orgánica, carbono orgánico total, nitrógeno total, C/N, P, K, Fe, estos fueron fundamentales en el proceso de absorción de los contaminantes en el suelo.

El biochar producido a partir de podas forestales procedentes del urapán, acacia y Eucalipto, obtuvieron propiedades fisicoquímico diferentes. Se evidenció que el tratamiento de urapán con dosis del 20 % es el tratamiento más efectivo para adsorber las concentraciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP's) en el suelo, debido a que inicialmente el valor de HTP's fue de 1550 mg/kg y pasado el tiempo de dos meses el valor se redujo a 775 mg/kg, es decir la mitad de la concentración inicial.

El tratamiento de acacia y urapán con dosis del 20 % son los más efectivo para reducir las concentraciones de aceites y grasas en el suelo, debido a que inicialmente el valor del mismo fue de 800.000 mg/kg y pasado el tiempo de dos meses el valor se redujo a 550.000 mg/kg (acacia) y 480.000 mg/kg (urapán).

Se evidenció que el tratamiento de acacia y eucalipto con dosis del 20 % son los más efectivo para reducir las concentraciones del potencial de hidrógeno (pH) en el suelo, debido a que inicialmente el valor del mismo fue de 8,9 pH y pasado el tiempo de dos meses el valor se redujo a 7,5 pH (acacia) y 7,5 pH (eucalipto).

Las podas de las diferentes especies utilizadas como enmienda orgánica generalmente son tomadas para producir humus, sin embargo, con este trabajo experimental se pudo comprobar que dichas podas también pueden ser utilizadas para producir biochar dando resultados de absorción de los hidrocarburos derramados o encontrados en las mecánicas automotrices para mejorar las propiedades del suelo, su aprovechamiento beneficia ya que son materiales obtenidos de recursos naturales.

Se evidenció que el biochar de las distintas especies utilizadas en la investigación permitieron la absorción de los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) del suelo en diferentes cantidades dependiendo de la dosis utilizada en cada uno de ellos, mejorando la calidad del suelo en proporciones medias al mitigar las sustancias tóxicas contaminantes

CAPITULO VII

7. RECOMENDACIONES

- Aprovechar los residuos de las podas forestales que se realizan en la ciudad de Cuenca para la producción biochar esto como alternativa para minimizar o absorber hidrocarburos totales de petróleo presentes en el suelo, pH y aceites y grasas, debido a que estas podas se encuentran con facilidad y no tienen costo.
- Los resultados obtenidos de este trabajo experimental demuestran que la dosis al 20 % de biochar es la más recomendable para reducir los contaminantes en el suelo.
- Comparar con la Tabla 2: criterios de remediación del suelo, de la Normativa Ambiental vigente AM 097 A, los valores de HTP's, pH y aceites y grasas para saber cuándo llegar a un valor óptimo de absorción.
- Los estudios de los biochars como remediadores de suelo es un tema nuevo que necesita un amplio campo investigativo por lo que se recomienda para futuros trabajos aumentar el tiempo de experimentación, así como variables en los ensayos y la combinación de otras enmiendas bioamigables como por ejemplo compost y humus.

BIBLIOGRAFIA

- Abdullahi, M. S. (2014). Soil Contamination, Remediation and Plants: Prospects and Challenges. *Soil Remediation and Plants: Prospects and Challenges*, 525–546. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799937-1.00018-8>
- Agencia para Sustancia Tóxica y el Registro de Enfermedad (ATSDR). (1995). *Resumen de Salud Pública: Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)*. 7. Recuperado de http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs69.html
- Ahmad, W., Najeeb, U., & Zia, M. H. (2014). Soil Contamination with Metals. *Soil Remediation and Plants*, 37–61. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-799937-1.00002-4>
- Albuquerque, J., Calero, J., Barron, V., Torrent, J., Del Campillo, M., Gallardo, A., & Villar, R. (2013). El biocarbón como una herramienta para limitar las emisiones de CO₂ y mejorar las propiedades del suelo en el ámbito Mediterráneo. *Congreso Forestal Español*, 6, 1–10.
- Arevalo, D. R. E. (2018). *Obtencion de biochar a partir de la biomasa de podas forestales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca*. Católica de Cuenca.
- Baño-Ayala, D., Duchí-Duchí, N., Fiallos-Ortega, L. R., Flores-Mancheno, L. G., Flores-Mancheno, C. I., & Estrada-Orozco, L. (2016). Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de *Medicago sativa*. *Ciencia Y Agricultura*, 12(2), 13. <https://doi.org/10.19053/01228420.4349>
- Barrios, M., Sandoval, E., Bastardo, Y., & Márquez, O. (2012). Características físico-químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado Yaracuy. En *Bioagro* (Vol. 24). Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612012000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Bellido, J. F. G. (2018). Contaminación del suelo, evaluación de riesgos y remediación. *Universidad San Agustín de Arequipa*, 1–188.
- Bennadji, H., Smith, K., Serapiglia, M. J., & Fisher, E. M. (2014). Effect of particle size on low-temperature pyrolysis of woody biomass. *Energy and Fuels*, 28(12), 7527–7537. <https://doi.org/10.1021/ef501869e>
- Buendía R., H. (2012). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol [Biorestauration of hydrocarbons contaminated soils using sawdust and manure compost]. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*,

15(30), 1–15.

- Canales Izquierdo, I. (2017). *Valorización de biocarbones obtenidos mediante pirólisis de residuos orgánicos*. 1–112.
- Canals, M. V. (2005). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica Tesis*. Universidad de Barcelona.
- Carranza, S. (2007). Revisión bibliográfica sobre *Acacia melanoxylon*: su silvicultura y su madera. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 106(2), 145–154.
- Carrasquel, H. M. A. (2016). *Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos aplicando biocarbón y tratamientos térmicos*. Recuperado de <http://159.90.80.55/tesis/000172038.pdf>
- Coria, I. D. (2007). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. 13 abril, 1–7. <https://doi.org/Ingeniería y Gerenciamiento ambiental>
- de Lucas Herguedas, A. I., del Poso, C., Rodríguez, E., & Prieto, P. (2012). Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad. En *Universidad Complutense de Madrid*. [https://doi.org/10.1016/S0924-977X\(02\)00131-1](https://doi.org/10.1016/S0924-977X(02)00131-1)
- Díaz, T. C. C. P. J. D. G. (2012). *Evaluación de la biodegradación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando Aspergillus niger, Pleurotus ostreatus y Pseudomonas aeruginosa*. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3633/1/UPS-GT000348.pdf>
- Dunn, A. M., Hofmann, O. S., Waters, B., & Witchel, E. (2011). Production and characterization of coconut shell and mesquite wood biochar. *Proceedings of the 20th USENIX Security Symposium*, pp. 395–410.
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., ... Valtierra Pacheco D Etchevers Barra, E. J. (2016). *Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil Autora responsable (hidalgo@colpos.mx)*. 367–382. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- FAO. (1983). *Métodos simples para fabricar carbón vegetal*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/X5328S/X5328S00.htm>
- Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1994). *Química de los Suelos con énfasis en América Latina*.
- Felipe, J., & Humbser, L. (2014). *Evaluación de la toxicidad del suelo durante y después*

de un proceso de biorremediación de hidrocarburos aromáticos policíclicos HAPs.

- Flores Flores, R. E., & Quinteros Segovia, H. E. (2008). *Diseño de horno tipo retorta para elaborar carbón vegetal*. 65.
- Hagemann, N., Joseph, S., Schmidt, H. P., Kammann, C. I., Harter, J., Borch, T., ... Kappler, A. (2017). Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. *Nature Communications*, 8(1), 1–11.
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-01123-0>
- Hernández, H., & Piñeros, E. (2017). Evaluación del biochar producido por pirólisis lenta como medio adsorbente. *Universidad de la Salle, Bogota, Colombia*, 67. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria
- Herrera, J. (2018). Pirólisis de biomasa para la obtención de biocarbón y su efecto en el rendimiento de tomate. *Director*, 15(2), 2017–2019.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>
- Huerta-Fuentes, A., Serrano-Garzón, M., Vázquez-Silva, T., Chiffelle-Gómez, I., & Araya-Clericus, J. (2008). Susceptibility of eucalyptus species to *Gonipterus scutellatus* and electrophoretic profiles of adult marker proteins. *Agrociencia*, 42(3), 327–334.
- Iglesias, S. F. (2018). Aplicación de Biochar a partir de biomasa residual de Eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano. *Universidad Nacional Agraria La Molina*.
- Infante-Betancour Jhon, Jara-Muñoz Adolfo, & Rivera-Díaz Orlando. (2008). *Árboles y Arbustos más Frecuentes de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). INEC. Recuperado el 30 de junio de 2020, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>
- Jaimes Cáceres, D. C., Quintero, MSc, G., Benavides López de Mesa; MSc, J., Miranda García, J., Gutiérrez Riaño, S. M., & Guevara Vizcaíno, A. L. (2017). Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova*, 4(5), 82.
<https://doi.org/10.22490/24629448.351>
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., & Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la Zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47–56.
- Johannes Lehmann, S. J. (2009). Biochar for Environmental Management. En *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*.
- Juan Carlos Autino., Gustavo Romanelli, & Diego Manuel Ruiz. (2013). *Introducción a la Química Orgánica*. Recuperado de editorial@editorial.unlp.edu.ar

- Klug, M. (2012). *Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa*. 26, 1–4.
- Lobelo, L. M. C., & Salcedo, M. T. U. (2017). Evaluación de la remoción de grasas y aceites en suelo contaminado con diésel b10 y biodiésel aplicando la tecnología OSE II implementada por EOM CONSULTING S.A.S. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- López, M. A., Crespo, Y. A., Abreu, L. C., López, G. G., Quintana, Y. G., Martínez, I. C., ... No, C. M. (2013). *Efecto del biocarbón en las propiedades físicas de diferentes sustratos orgánicos*. 9.
- Martín Moreno, C., González Becerra, A., & Blanco Santos, M. J. (2004). Tratamientos biológicos de suelos contaminados: Contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación. *Revista Iberoamericana de Micología*, 21(3), 103–120.
- Mastandrea, C., Chichizola, C., Ludueña, B., Sánchez, H., Álvarez, H., & Gutiérrez, A. (2005). Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos Palabras clave: hidrocarburos aromáticos policíclicos * carcinógenos * mutá-genos * disruptores endocrinos * hidroxiderivados * aductos * biomarcadores. polycyclic aromat. *Acta Bioquím Clín Latinoam*, 39(1), 27–36.
- Maura Margarita Teutli, Aejandro Cesar Ruiz, Karla rodriguez Zamora, I. G. (2003). *Remediaicon de suelos contaminados por hidrocarburos y lodos de recorte mediante electrólisis, compuestos oxidantes y zeolitas naturales*. 10.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass: Overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)
- Minga Danilo, V. A. (2019). Árboles y arbustos de Cuenca. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para muestreo de suelo*. 72.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI, Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2*. 1–75. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Moreno, Eduardo, Guido Fellet, T. S. (2019). Biochar and heavy metals. *Biochar for Environmental Management*, (January), 1–2. <https://doi.org/10.4324/9780203762264-27>
- Municipalidad de Cuenca. (2011). *Municipalidad de Cuenca*. 720. Recuperado de <http://www.cuenca.gov.ec/>

- Muñoz Cuaical, S. D. (2016). Evaluación de la eficacia de *Trichoderma* sp y *Pseudomona* sp para biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Universidad Politécnica Salesiana Sede-Quito*, 125.
- Narváez-Ortiz, W. A., Morales-Díaz, A. B., Benavides-Mendoza, A., & Reyes- Valdés, M. H. (2018). Dinámica de la composición de la solución del suelo en cultivos del occidente de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (12), 2383. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i12.769>
- Nuria, G. C. A. (2005). *Estudio termico y cinetico de la pirolisis de residuos solidos urbanos*. 333.
- Oliver, J. (2019). Adsorbentes naturales en la mitigación del impacto adverso causado por derrames de crudo en fuentes hídricas. *Hilos Tensados*, 1, 1–476. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio Sampling Techniques on a Population Study. *Int. J. Morphol*, 35(1), 227–232. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
- Paco Abenza, D. (2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta*. 111.
- Pereira, C. (2015). Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas INIA Tacuarembó 20 de mayo de 2015. *Inia*. Recuperado de <http://inia.uy/Documentos/Públicos/INIA Tacuarembó/2015/El Suelo 20 de mayo.pdf>
- Pérez-lópez, M. E., Pinto-espinoza, J., Amelia, B., Ana, G., & Durango. (2011). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(3), 241–252. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000300009
- Ponce-Contreras, D. S. (2014). *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. 51–60.
- Rebolledo, A., López, G., Moreno, C., Collado, J., Alves, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2019). *Biocarbon (Biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil*. (October 2017), 1–16. Recuperado de <https://www.redalyc.org/html/573/57346617009/>
- Romero, J. R. (2017). *Eficiencia en la movilización de plomo en el suelo mediante la aplicación de cantidades de biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima*. 66–67. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/3598/Romero>

_LJR.pdf?sequence=1

Sabroso, C., & Pastor, A. (2004). Guía sobre suelos contaminados. *CEPYME Aragón / Gobierno de Aragón*, 7, 109. Recuperado de

http://www.conectapyme.com/files/medio/guia_suelos_contaminados.pdf

Safaie, E., Farahi, M. H., Cichella, V., Kaminer, I., Walton, C., Hovakimyan, N., ... Farahi, M. H. (2018). *Control de calidad de biocarbón para la producción de Terra Preta*.

<https://doi.org/10.1093/imamci/dnt037>

Sawhney, B. L., Brown, K., Weber, J. B., & Miller, C. T. (2013). *Organic Chemical*

Movement over and through Soil. (22). <https://doi.org/10.2136/sssaspepub22.c12>

Sepulveda Volke Tania, V. J. A. (2002). Tecnologías de remediación de suelos contaminados. En *SEMARNAT*.

Sizmur, T., Quilliam, R., Puga, A. P., Moreno-jiménez, E., Beesley, L., & Gómez-eyles, J. L. (2016). *Aplicación de biocarbón para la remediación de suelos*. 98104, 295–324.

Soria, M. L. H. (2016). *Producción y Evaluación de Biocarbón para la Absorción de Sodio en Suelos Salinos*.

Vega y Ortega Baez, R. A. (2016). Ciencia y ambiente en la aclimatación del eucalipto en el Valle de México a través de la prensa, 1869-1880. *Historia y Sociedad*, (30), 237–264. <https://doi.org/10.15446/hys.n30.53809>

ANEXOS



Anexo 1: Cubierta para reducir el ingreso de oxígeno a la fosa



Anexo 2: Biochar de eucalipto



Anexo 3: Biochar de urapán



Anexo 4: Biochar de acacia

Anexo 5: Informe de los resultados de las especies forestales y suelo inicial

DATOS DE IDENTIFICACION

Nombre del remitente:	Jean Pierre Ordóñez Jiménez	Fecha de muestreo:	08.11.2019
Código del Cliente:	JPO	Fecha de ingreso:	12.11.2019
Tipo de Análisis:	varios	Fecha de informe:	28.01.2019
Teléfono:	958831204	Orden de trabajo	PSL 1101
Email:	jpo2123@gmail.com	Factura:	

RESULTADOS	UNIDADES	CONTROL		
		URAPAN	ACACIA	EUCALIPTO
pH		10.3	9.3	9.5
Alcalinidad	ppm CaCO3	160	250	310
Conductividad Eléctrica	ms/cm	0.21	0.15	0.12
Densidad Aparente	g ml-1	0.173	0.162	0.151
Materia Orgánica	%	73.9	62.3	55.1
Carbono Orgánico Total	%	62.2	55.7	72.9
Nitrogeno Total	%	3.3	5.2	7.6
C/N		18.84	10.71	9.59
P	ppm	87.6	224.14	1123.6
K	ppm	95.5	150	953
Fe	ppm	69	80	8803

RESULTADOS	ITEM	SUELO INICIAL	
		UNIDADES	VALORES
pH		-	8.9
Humedad	%		22
Materia Orgánica	%		1.2
Conductividad eléctrica	ms/cm		0.13
Hydrocarburos	TPH ppm		1530
Acetiles y Grasas	%		80
densidad	g ml-1		1.8

CP

Dr. Carlos Falconi Borja PhD
 BIONIKA-labs
 0999796977-023460158
 www.bdkl.eu
 dfalconi-labs@biosoftware.de



Bionika
 LABORATORIOS

BELAVISTA DE CARRETERAS
 CALLE N758 Y N6
 TELE: 2477715 - 098 508 315

E-MAIL: PLANTSHERELABS@BIOSOFTWARE.DE
 www.bdkl.eu
 QUITO - ECUADOR

Anexo 6: Resultados de los análisis de los parámetros estudiados (parte 1)



BELLAVISTA DE CARRETAS
CALLE N75B Y N6
TELF: 2477715 - 098 508 315

E-MAIL: PLANTSPHERELABS@BIOSOFTWARE.DE
www.bdki.eu
QUITO - ECUADOR

DATOS DE IDENTIFICACION

Nombre del remitente:	Jean Pierre Ordoñez	Fecha de muestreo:	08.12.2019	08.01.2020
Codigo del Cliente:	JPO	Fecha de ingreso:	10.12.2019	10.01.2020
Tipo de Analisis:	varios	Fecha de informe:	27.12.2019	24.01.2020
Telefono:	958831204	Orden de trabajo	PSL 1101	
Email:	jpoj2123@gmail.com	Factura:		

TRATAMIENTOS

FECHA	08.12.2019
-------	------------

RESULTADOS	URAPAN 5%	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.2
Humedad	%	28
Materia Organica	%	5.1
Conductividad electrica	mS/cm	0.14
Hidrocarburos	TPH ppm	1040
Aceites y Grasas	%	75
densidad	g ml-1	0.852

RESULTADOS	URAPAN 10%	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	6.8
Humedad	%	32
Materia Organica	%	5.8
Conductividad electrica	mS/cm	0.11
Hidrocarburos	TPH ppm	1250
Aceites y Grasas	%	74
densidad		0.831

08.01.2020

RESULTADOS	URAPAN 5%	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.9
Humedad	%	30
Materia Organica	%	6.1
Conductividad electrica	mS/cm	0.25
Hidrocarburos	TPH ppm	1059
Aceites y Grasas	%	74
densidad	g ml-1	0.705

RESULTADOS	URAPAN 10%	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.8
Humedad	%	38
Materia Organica	%	6.3
Conductividad electrica	mS/cm	0.288
Hidrocarburos	TPH ppm	1130
Aceites y Grasas	%	71
densidad		0.772

CPS

Anexo 7: Resultados de los análisis de los parámetros estudiados (parte 2)

RESULTADOS	URAPAN 20%	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.1
Humedad	%	30
Materia Organica	%	6.2
Conductividad electrica	mS/cm	0.18
Hidrocarburos	TPH ppm	823
Aceites y Grasas	%	62
densidad		0.745

FECHA 08.12.2019

RESULTADOS	ACACIA 5%	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.5
Humedad	%	31
Materia Organica	%	3.3
Conductividad electrica	mS/cm	0.311
Hidrocarburos	TPH ppm	1257
Aceites y Grasas	%	71
densidad		0.935

RESULTADOS	ACACIA 10%	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.5
Humedad	%	28
Materia Organica	%	1.2
Conductividad electrica	mS/cm	0.297
Hidrocarburos	TPH ppm	1110
Aceites y Grasas	%	62
densidad		0.765

RESULTADOS	ACACIA 20 %	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	8.2
Humedad	%	29
Materia Organica	%	2.2
Conductividad electrica	mS/cm	0.376
Hidrocarburos	TPH ppm	1005
Aceites y Grasas	%	45
densidad		0.777

RESULTADOS	URAPAN 20%	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.8
Humedad	%	30
Materia Organica	%	7.1
Conductividad electrica	mS/cm	0.253
Hidrocarburos	TPH ppm	744
Aceites y Grasas	%	55
densidad		0.739

FECHA 08.01.2020

RESULTADOS	ACACIA 5%	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.8
Humedad	%	29
Materia Organica	%	4.1
Conductividad electrica	mS/cm	0.4
Hidrocarburos	TPH ppm	1177
Aceites y Grasas	%	72
densidad		0.941

RESULTADOS	ACACIA 10%	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.9
Humedad	%	30
Materia Organica	%	1.3
Conductividad electrica	mS/cm	0.353
Hidrocarburos	TPH ppm	990
Aceites y Grasas	%	59
densidad		0.686

RESULTADOS	ACACIA 20 %	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.5
Humedad	%	32
Materia Organica	%	3.3
Conductividad electrica	mS/cm	0.381
Hidrocarburos	TPH ppm	965
Aceites y Grasas	%	48
densidad		0.704

CPS

Anexo 8: Resultados de los análisis de los parámetros estudiados (parte 3)

FECHA

08.12.2019

RESULTADOS	EUCALIPTO 5 %	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.8
Humedad	%	31
Materia Organica	%	1.2
Conductividad electrica	mS/cm	0.142
Hidrocarburos	TPH ppm	1400
Aceites y Grasas	%	100
densidad		0.89

08.01.2020

RESULTADOS	EUCALIPTO 5 %	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.5
Humedad	%	29
Materia Organica	%	1.2
Conductividad electrica	mS/cm	0.25
Hidrocarburos	TPH ppm	1388
Aceites y Grasas	%	100
densidad		0.786

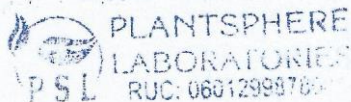
RESULTADOS	EUCALIPTO 10 %	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.3
Humedad	%	29
Materia Organica	%	1.5
Conductividad electrica	mS/cm	0.11
Hidrocarburos	TPH ppm	1360
Aceites y Grasas	%	81
densidad		0.82

RESULTADOS	EUCALIPTO 10 %	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.7
Humedad	%	31
Materia Organica	%	1.6
Conductividad electrica	mS/cm	0.277
Hidrocarburos	TPH ppm	1238
Aceites y Grasas	%	77
densidad		0.719

RESULTADOS	EUCALIPTO 20 %	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.7
Humedad	%	30
Materia Organica	%	2.2
Conductividad electrica	mS/cm	0.14
Hidrocarburos	TPH ppm	1120
Aceites y Grasas	%	70
densidad		0.697

RESULTADOS	EUCALIPTO 20 %	
ITEM	UNIDADES	
pH	-	7.5
Humedad	%	30
Materia Organica	%	3.3
Conductividad electrica	mS/cm	0.274
Hidrocarburos	TPH ppm	1100
Aceites y Grasas	%	63
densidad		0.623


 Dr. Carlos Falconi Borja PhD
 BIONIKA-labs
 0999796977-023460158
www.bdkl.eu
drfalconi-labs@biosoftware.de



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Yo, Jean Pierre Ordoñez Jiménez portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º 0105957419. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **"Remediación de suelos contaminados por residuos de hidrocarburos (HTP's) no volátil procedentes de mecánicas automotrices mediante el uso de biochar"** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 09 de julio de 2020



F:.....

Jean Pierre Ordoñez Jiménez

C.I. 0105957419