



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Evaluación del biochar de pino en la remediación de
aguas contaminadas por actividades pecuarias en el
cantón Pucará.**

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

AUTOR: FABIOLA ELIZABETH CARMONA SUÁREZ

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 INGENIERIA AMBIENTLA

Evaluación del biochar de pino en la remediación de aguas contaminadas por actividades pecuarias en el cantón Pucará.

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

AUTOR: FABIOLA EIZABETH CARMONA SUÁREZ

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

CUENCA - ECUADOR

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

DECLARACIÓN

Yo, Carmona Suárez Fabiola Elizabeth, declaro bajo juramento que el trabajo aquí 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 black ink, appearing to read 'Fabiola Elizabeth Carmona Suárez', enclosed within a circular scribble.

Fabiola Elizabeth Carmona Suárez

AUTOR

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Fabiola Elizabeth Carmona Suárez, bajo mi supervisión.



Ing. Sergio Fernando Iglesias Abad Ph.D.

DIRECTOR

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Fabiola Elizabeth Carmona Suárez, bajo mi supervisión.



Ing. Juan José Vázquez Guillén MGS.

CO-DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, a mis padres por haberme acompañado y guiado a la largo de mi carrera, por ser fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias.

Agradezco a la Universidad de Católica de Cuenca por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de sus conocimientos científicos para poder estudiar mi carrera, así como a los diferentes docentes que brindan sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al Dr. Sergio Iglesias, director e Ing. Juan José Vázquez, codirector de esta tesis, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por acompañarme y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Con inmenso amor y cariño a mis padres, Luz María Suárez Redrován y Gonzalo Carmona Heras por ser los pilares fundamentales demostrándome siempre su amor, apoyo incondicional y sobre todo depositaron la confianza en mí para culminar mis estudios en esta larga trayectoria compartiendo conmigo todos los buenos y malos momentos de mi vida estudiantil y personal.

A mi hija Violeta Dainerys y esposo Roberto Carlos quienes me acompañaron en esas noches de desvelo de esta investigación, con su comprensión me impulsaron y no darme por vencida para así poder realizar mi trabajo de titulación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	i
CERTIFICACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE IMÁGENES.....	ix
LISTA DE GRÁFICAS	x
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
CAPÍTULO II	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Biochar	4
2.1.1. Fuentes de biochar.....	4
2.1.2. Características físico – químicas	4
2.1.3. Aplicaciones de biochar.....	5
2.1.4. Ventajas y desventajas del uso del biochar	7
2.1.5. Elaboración de biochar.....	10
a) Elegir la materia prima	10
c) Pirólisis	12
2.1.6. Horno pirolítico	13

2.1.7. Producción de la biomasa (pirólisis) y sus impactos ambientales	14
2.1.8. Actividades pecuarias.....	14
a) Aguas contaminadas por actividades pecuarias.....	15
b) Propiedades físicas – química del agua contaminada.....	17
CAPÍTULO III	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 Zona de estudio.....	21
3.1.2 Ubicación política administrativa y geográfica	22
a) Ubicación política.....	22
a) División política	23
3.2 Diseño experimental.....	23
3.2.1. Caracterización de variables.....	24
a) Concentración de biochar	24
b) Tiempo de contacto.....	24
c) Revoluciones por minuto (rpm)	24
3.2.1. Elaboración de la matriz experimental para el diseño 2^3 (factorial completo)	25
3.3 Definición del proceso experimental	26
3.3.1. Elaboración de biochar.....	26
a) Materiales y equipos de campo para la elaboración del biochar.....	26
b) Procedimiento elaboración de biochar	27
3.3.2. Variables respuesta	32
a) DQO	33
b) Nitratos	33
c) Fósforo total.....	34
3.2.2. Prueba de selección de variables que definen el proceso	34
CAPÍTULO IV.....	36
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1. Producción del biochar	36
4.2.1. Caracterización del biochar	36

a) Macronutrientes	37
b) pH	38
c) Conductividad eléctrica	38
d) Densidad.....	38
4.2.2. Caracterización del agua contaminada.....	39
4.3 Evaluación los efectos del biochar de pino en el agua contaminada por actividades pecuarias	39
4.3.1. DQO	40
a) Datos de DQO y análisis de varianza.....	41
b) Análisis de los de efectos DQO.....	41
c) Análisis gráfico de los efectos en las interacciones (principales, dobles y triples) DQO	43
4.3.2. Nitratos.....	45
a) Análisis de varianza de los datos de Nitratos	47
b) Análisis de cálculos de efectos Nitratos	47
c) Análisis gráfico de los efectos en las interacciones (principales, dobles y triples) Nitratos.....	48
4.3.3. Fósforo total	50
a) Análisis de varianza de los datos de Fósforo total.....	51
b) Análisis de cálculo de efectos Fósforo total.....	51
c) Análisis gráfico de los efectos en las interacciones (principales, dobles y triples) Fósforo total	52
CAPÍTULO V.....	55
5. CONCLUSIONES.....	55
CAPÍTULO IV.....	57
6. RECOMENDACIONES	57
Bibliografía	58
ANEXOS	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Árbol de pino (<i>Pinus patula</i>) ubicado en el predio de la Cooperativa Nariguiña	12
Figura 2: Esquema de la pirólisis rápida y lenta.....	13
Figura 3: Cámara externa e interna del horno pirolítico	14
Figura 4: Electrodo de vidrio para medición de pH.....	19
Figura 5: Multiparamétrico medición de pH	20
Figura 6: Configuración esquemática de una celda de medición de la conductividad	20
Figura 7: Ubicación de la Cooperativa de Producción Agropecuaria Nariguiña (Fabricación Biochar de pino)	21
Figura 8: Ubicación de la toma de muestra del agua contaminada, en la comunidad de Sarayunga del cantón Pucará	22
Figura 9: Mapa de ubicación del cantón Pucará	23
Figura 10: Materiales de campo para la elaboración de biochar	27
Figura 11: Selección de materia prima (ramas de pino) con similares características	27
Figura 12: Horno pirolítico artesanal de doble tambor	28
Figura 13: Dimensiones del tambor cilíndrico externo	29
Figura 14: Dimensiones del tambor cilíndrico interno	29
Figura 15: Proceso productivo de biochar representado por medio de un diagrama de flujo	31

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1: ANOVA de estimación de los efectos del biochar en el agua contaminada por actividades pecuaria para DQO.....	41
Imagen 2: ANOVA de estimación de los efectos del biochar en el agua contaminada por actividades pecuaria para Nitratos.....	47
Imagen 3: ANOVA de estimación de los efectos del biochar en el agua contaminada por actividades pecuaria para Fósforo Total	51

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Diagrama de Pareto para la interacción de factores en la remoción de la variable DQO	43
Gráfica 2: Representación de los efectos principales DQO	44
Gráfica 3: Efectos de las interacciones dobles de la variable DQO	44
Gráfica 4: Interacción triple de la variable DQO	45
Gráfica 5: Diagrama de Pareto para la interacción de factores en la remoción de la variable Nitratos	48
Gráfica 6: Representación de los efectos principales Nitratos	48
Gráfica 7: Efectos de las interacciones dobles de la variable Nitratos	49
Gráfica 8: Interacción triple de la variable Nitratos	49
Gráfica 9: Diagrama de Pareto para la interacción de factores en la remoción de la variable Fosfatos	52
Gráfica 10: Representación de los efectos principales Fosfatos	52
Gráfica 11: Efectos de las interacciones dobles de la variable Fósforo total	53
Gráfica 12: Interacción triple de la variable Fósforo total	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Aplicaciones de biochar por elementos abióticos	6
Tabla 2: Ventajas y desventajas del uso del biochar	8
Tabla 3: Factor y su dominio experimental	25
Tabla 4: Para el diseño factorial completo 2^3 tenemos la siguiente matriz de experimentos	25
Tabla 5: Proceso en el experimento	26
Tabla 6: Macro-Nutrientes	32
Tabla 7: Propiedades químicas	32
Tabla 8: Matriz de efectos e interacciones	34
Tabla 9: Cálculo de efectos e interacciones	35
Tabla 10: Entrada y salida de materia prima (ramas de pino) y condiciones climatológicas	36
Tabla 11: Reporte de análisis físico - químico	37
Tabla 12: Resultados de: DQO, Nitratos, Fósforo total, pH y C.E	39
Tabla 13: Porcentaje de remoción en DQO	40

Tabla 14: Cálculo de efectos de la variable DQO.....	42
Tabla 15: Porcentaje de remoción en Nitrato	46
Tabla 16: Cálculo de efectos de la variable Nitratos.....	47
Tabla 17: Porcentaje de remoción en Fósforo total	50
Tabla 18: Cálculo de efectos de la variable Fósforo total	51

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Criterios de calidad admisibles. Acuerdo Ministerial 061 basado en el TULSMA 2015, Calidad ambiental. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	66
Anexo 2: Acuerdo Ministerial 061 basado en el TULSMA 2015, Calidad ambiental. Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego.	66
Anexo 3: Proceso de elaboración del biochar de pino.....	67
Anexo 4: Resultados de las características físico-químicas del biochar de pino, se determinó en el laboratorio IHTALAB.....	68
Anexo 5: Aplicación del biochar de pino en el agua contaminada.	69

RESUMEN

El presente estudio utilizó la biomasa del pino, para la elaboración del biochar y evaluar su aplicación en la remediación de agua de actividades pecuarias en el cantón Pucará. En primer lugar, se inició con la producción en un horno que permite el uso de pirólisis rápida, una vez obtenido el producto fue necesario determinar sus características fisicoquímicas, para poder evaluar su desempeño. El empleo de esta tecnología emergente es por el interés de investigación al ser el biochar un adsorbente renovable, de bajo costo de obtención. De ahí la importancia de estudiar la remoción de compuestos como: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitratos (NO_3) y Fósforo total (PO_4), cuantificados mediante espectrofotometría UV, en el agua residual recolectada en zonas de actividad pecuaria del cantón. Los datos experimentales obtenidos mediante en diseño factorial 2^k se sometieron a evaluación utilizando herramientas estadísticas como Análisis de varianza (ANOVA), así como las interacciones de los efectos (principales dobles y triples). Donde se obtuvo una remoción promedio (44,3 %, 49,5 % y 30,5 %) para DQO, NO_3 y PO_4 , respectivamente considerando las variables de la corrida siete concentraciones de biochar (CB) 1,5 mg/ml, tiempo de contacto (TC) 5 horas y agitación constante de 160 revoluciones por minuto (rpm), Demostrando el potencial de aplicación de biochar en aguas contaminadas como herramienta medio ambiental.

PALABRAS CLAVE: BIOCHAR PINO, BIOMASA RESIDUAL, HORNO PIROLÍTICO, PIRÓLISIS RÁPIDA, BIORREMEDIACIÓN AGUA, REMOCIÓN SIMULTANEA.

ABSTRACT

The present study utilized the biomass of pine trees for the elaboration of the biochar and to evaluate its application in the remediation of water from livestock activities in the Pucará canton. Firstly, the production began in an oven that allows the use of rapid pyrolysis, once the product was obtained, it was necessary to determine its physicochemical characteristics to evaluate its performance. The use of this emerging technology is for the research interest as biochar is a renewable adsorbent, with a low cost of obtaining. Hence the importance of studying the removal of compounds such as Chemical Oxygen Demand (COD), Nitrates (NO₃), and Total phosphorus (PO₄), quantified by UV spectrophotometry in the wastewater collected in areas of livestock activity in the canton. The experimental data obtained through the 2k factorial design were evaluated using statistical tools, such as Analysis of Variance (ANOVA), as well as the interactions of the effects (main, double, and triple), where an average removal (44.3%, 49.5%, and 30.5%) was obtained for COD, NO₃ and PO₄ respectively, considering the variables of the run seven concentration of biochar (CB) 1.5 mg/ml, contact time (TC) 5 hours and constant stirring of 160 revolutions per minute (rpm), demonstrating the potential of applying biochar in contaminated waters as an environmental tool.

KEYWORDS: BIOCHAR, PYROLYTIC OVEN, RAPID PYROLYSIS, WATER BIOREMEDIATION, SIMULTANEOUS REMOVAL.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería y la agricultura representan a los sectores de mayor contaminación a nivel mundial frente a los otros focos de contaminación como la industria, minería, actividades humanas en general. Este tema es de mucha controversia en los países como EE.UU, Canadá, México, Argentina, Chile, Colombia, Ecuador y Europa, quienes se enfocan en auspiciar campañas superficiales de concientización para el ahorro, consumo (huella hídrica) y contaminación del agua; lo ven más como un problema político-económico y lo más preocupante es Organizaciones no Gubernamental (ONGs) que defiende al medio ambiente no se pronuncian sobre la contaminación por actividades pecuarias en nuestra Amazonía y páramos (Rodríguez *et al.*, 2012).

El recurso natural agua es finito, y esencial para cualquier forma de vida. El sector agrícola y ganadero goza el mayor empleo de agua con un consumo del 70 % al contrastarlo con las demás actividades antropogénicas (Ordóñez *et al.*, 2007). De esta actividad, el agua residual presentará variables como: Nitratos, Fosfatos y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) los mismos valores que no cumplen las normativas de descarga. En el sector agroindustrial su problemática se da a su expansión que se orienta áreas sensibles como: quebradas, ríos, lagunas, estos lugares facilitan el acceso a líquido vital, las aguas superficiales contaminadas por purines ganaderos que van a los cauces de agua por infiltración, percolación, también se da de forma indirecta por escorrentías por zonas de pastoreo y cultivos (Rodríguez *et al.*, 2012).

Un problema adicional detectado en la actualidad, en áreas de influencia agrícola, y principalmente en las provincias de la sierra sur de Ecuador, es la acidificación del suelo debido a acumulación y descomposición de la biomasa residual de especies forestales introducidas (Iglesias, 2018), como en el caso de esta investigación lo es el *Pinus patula* en todas sus partes (ramas, cortezas y hojas). Por esta razón, resulta necesario buscar alternativas ambientales, para la disminución de esta biomasa, dándole un uso de valor agregado obteniendo productos como biocombustibles, abono verde, fabricación de biochar, de esta última las investigaciones demuestran a su propiedad adsorbente en materia orgánica, nitrógeno mediante de sus maneras iónicas (amonio, nitrito y nitrato) y Fosfatos (Hina *et al.*, 2015; Chuquimboques *et al.*, 2019)

Realiza biochar a partir de residuos de biomasa forestal de pino, ayuda a generar una estrategia viable para los nutrientes en un mismo sitio (Iglesias, 2018), garantizando un aprovechamiento sustentable del exceso de biomasa residual de esta familia forestal en la zona la misma que fue introducida. La implementación de este tipo de tecnologías verdes se verá directamente reflejada en el rendimiento y el potencial de los cultivos

generando alimentos de mayor calidad comercial. Así también en la remediación de aguas naturales o residuales para la eliminación de contaminantes como: metales pesados, compuestos orgánicos e inorgánicos. Por último y no menos importante, el incremento en el uso de tecnologías verdes favorece la provisión de aire limpio y menos contaminado (Moreno-Barriga *et al.*, 2015).

En este trabajo de investigación se evaluó el biochar producido con biomasa de pino (ramas) en la remediación de aguas contaminadas por actividades pecuarias en el cantón Pucará. Esto fue posible mediante la construcción de un horno artesanal de pirólisis rápida, siendo el producto obtenido caracterizado fisicoquímicamente. En segundo lugar, se procedió a la caracterización de fuentes de contaminación de agua por las actividades pecuarias mediante la aplicación del biochar definida por el diseño experimental 2^k , se determinó mediante el uso de la estadística la influencia de las variables seleccionadas en el proceso.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Aprovechar la biomasa del pino mediante la elaboración del biochar para la remediación de aguas residuales productos de actividades pecuarias en el cantón Pucará.

1.1.2. Objetivos específicos

- Elaborar biochar de pino en un horno pirolítico.
- Analizar características físico-químicas del biochar y del agua contaminada.
- Evaluar el efecto al emplear el biochar de pino en aguas contaminadas por actividades pecuarias.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Biochar

El biochar es rico en carbono y minerales con una composición homogénea (Schmidt *et al.*, 2016). Su producción se lleva a cabo con biomasa de altas concentraciones de carbono (madera, estiércol o residuos de cultivos) sometidos a temperaturas entre los 250 a 700 °C en un recipiente cerrado con limitación de oxígeno (Lehmann y Joseph, 2015), empleando tecnología limpia. Obteniendo un producto de características definidas por el tipo de biomasa seleccionado en el proceso (Qin *et al.*, 2019).

Para obtener las características que definen al producto como biochar, es necesario una adecuada selección de materia prima, un criterio de selección de los equipos a manejar que faciliten el desarrollo del pirólisis (duración, temperatura y tiempo), así como los ajustes necesarios del proceso productivo (Moreno-Barriga *et al.*, 2015).

2.1.1. Fuentes de biochar

La biomasa natural es la fuente de producción de biochar, cuyos orígenes van desde la agricultura, ganadería, sector forestal (celulosa de poda de pino), incluso los residuos municipales orgánicos habituales (Abenza, 2012). Lo expuesto por Trujillo (2017), indica que la materia prima más utilizada para elaboración de biochar son los restos de cosecha, biomasa de árboles, plantas secas, remanentes del arroz (tamiz); desperdicios orgánicos de la vida urbana.

2.1.2. Características físico – químicas

Las características físicas del biochar cabe mencionar las variaciones existentes, según el tamaño de la partícula y origen de la materia prima, partiendo de la descripción del biochar como un sólido que no dispone de un sistema de cristalización definido, se considera como amorfo de color negro, la capacidad de retención del recurso hídrico varía entre 32,9 % en peso húmedo a 63,9 % en peso seco, la conductividad eléctrica de 0,007-8,33 mS cm⁻¹, valores superiores a este, el pH será más bajo (Yargicoglu *et al.*, 2015). La densidad va desde 0,19 a 0,43 g/cm³ considerándola baja (Angin y Sensoz, 2011; Nieto, 2015), con área superficial promedio de 611,87 m²/g (Yargicoglu *et al.*, 2015), formado por micro, meso y macro poros, presentando tamaños comprendidos entre menor a 2 nanómetro y mayor a 50 nanómetro, (Escalante *et al.*, 2015). El volumen de los microporos y el área de superficie son el éxito para la capacidad de adsorción y el total de carbono fijo (la cantidad de carbono orgánico es

564,02 g kg⁻¹ a 300 °C, y disminuye en un 28,03 % a 450 °C y en un 54,02 % a 600 °C) (Tan *et al.*, 2017). Las propiedades de adsorción conferida por los poros depende de la clase de biochar, su superficie, heterogeneidad, tomaremos como ejemplo la biodisponibilidad de los poros para el hábitat microbiano en el biochar de la Madera jarrah (*Eucalyptus marginata*); después de 56 días de incubación el bloqueo de poros más pequeños (20 µm de diámetro) por partículas de suelo fue mayor que el de poros más grandes, las bacterias e hifas fúngicas se observaron en poros más grandes (aproximadamente 100 µm de diámetro) (Jaafar *et al.*, 2015).

Las características químicas del biochar se definen las siguientes: posee una composición elemental de Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno de concentraciones cuyos límites de concentración están comprendidos entre 23,5 % a 78,1 % C, 0,35 % a 3,8 % H y 0,005 % a 0,4 %N (Yargicoglu *et al.*, 2015). Además, se encuentran presente elementos traza como Magnesio (Mg), Azufre (S), Calcio (Ca), Potasio (K), Fósforo (P), cationes básicos, compuestos orgánicos y metales pesados (Arévalo, 2019).

Los valores de pH van de 6,2 a 13 esto nos indica que tiende siempre ser alcalinos (Chan y Xu, 2009), debido a la formación durante el proceso de pirólisis de sales insolubles (metales alcalinos), mientras más alto el valor de pH, las fracciones de metales como el K y P serán en mayor monto, en consecuencia el biochar es directamente proporcional a la cantidad de sal metálica y al nivel de carbonización de la biomasa (Yargicoglu *et al.*, 2015).

2.1.3. Aplicaciones de biochar

Desde el inicio el biochar se empleaba principalmente en secuestro de carbono, actualmente se han descubierto métodos de ingeniería, usados para expandir las aplicaciones de este compuesto, tales como: energía, agricultura y tratamiento de contaminantes inorgánicos y orgánicos en aguas contaminadas y suelos.

Las múltiples aplicaciones del biochar obedecen a su estructura estable, amplia área superficial específica, buena conductividad eléctrica, por su producción económica y respetuosa con el medio ambiente ocasionando un creciente y multidisciplinario interés en áreas de las ciencias ambientales e ingeniería (Wang *et al.*, 2018).

Los principales usos del biochar encontrados por revisión bibliográfica desde el año 2010 en adelante, se resumen en la tabla 1 donde se mencionan los principales usos en función de los elementos abióticos según distintos trabajos de investigación.

Tabla 1: Aplicaciones de biochar por elementos abióticos

ABIÓTICOS	APLICACIÓN	FUENTE
Agua	Se utilizó biochar, como absorbente para el tratamiento de aguas residuales y eliminar:	
	-Contaminantes de solución acuosa.	(Wang <i>et al.</i> , 2018)
	- Contaminantes orgánicos (pesticidas. Herbicidas, colorantes, antibióticos entre otros).	(Ahmad <i>et al.</i> , 2014)
	- Contaminantes inorgánicos (nitrato y fosfato).	(Wan <i>et al.</i> , 2017; Li <i>et al.</i> , 2016 ^a ; Xue <i>et al.</i> , 2016; Yao <i>et al.</i> , 2013b; Zhang <i>et al.</i> , 2012b)
	- Remoción simultánea con tiempos de contacto con el biochar de fosfato, amonio, nitrato y nitrito en aguas residuales.	(Marrero <i>et al.</i> , 2019)
	- Como biochar activo empleado a través de biofiltros, en el tratamiento de agua potable.	(Schmidt, 2014)
Gases	- El biochar ha demostrado inhibir la emisión de Dióxido de carbono (CO ₂), metano (CH ₄) y Óxido nitroso (N ₂ O) de los suelos agrícolas.	(Lehmann, 2007; Olmo, 2016)
	- El biochar impregnado con hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio y óxido de hierro mejora su porosidad y el área de superficie específica incrementando la capacidad de absorción en contra de los gases efecto invernadero.	(Creamer <i>et al.</i> , 2016)
Suelo	- En el suelo se utiliza al biochar como: acondicionador, fertilizante de carbono y oligoelementos, compost, protección de plantas debido a las nuevas condiciones redox y el cambio en la actividad biológica del suelo.	(Schmidt, 2014)

Suelo	<p>-Filtración, adsorción de pesticidas y aumento en la disponibilidad de nutrientes para las vegetaciones.</p> <p>En bioremediación se ha encontrado que:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El biochar reduce la morbilidad en algunos contaminantes orgánicos e inorgánicos. - Tiene la capacidad de retener, estabilizar, inactivar y disminuir la fototoxicidad de los metales pesados. 	<p>(Paz-Ferreiro <i>et al.</i>, 2014; Zhang <i>et al.</i>, 2013c; Beesley <i>et al.</i>, 2011; Uchimiya <i>et al.</i>, 2010a; Uchimiya <i>et al.</i>, 2010b; Uchimiya <i>et al.</i>, 2011a)</p>
Sostenibilidad pecuaria y agrícola	<p>En la cría de animales el biochar se utiliza como: agente de ensilaje, suplemento alimenticio, aditivo de basura, tratamiento de lodos, compostaje de estiércol, tratamiento de agua en piscicultura.</p>	<p>(Schmidt, 2014)</p>

2.1.4. Ventajas y desventajas del uso del biochar

En cuanto al estudio de ventajas y desventajas de biochar, no debe pasarse por alto el proceso productivo puesto que puede ser simple o complejo, adicional a las ventajas conocidas de beneficio del medio ambiente, así como una valoración económica sostenible (Vassilev *et al.*, 2015).

La fabricación del biochar es amplia, simple y pertinente. De ahí que obtener información de trabajos de investigación recientes, donde se muestran las principales ventajas y desventajas encontradas hasta la actualidad, pueden ser resumidas, como se registra en la tabla 2.

Tabla 2: Ventajas y desventajas del uso del biochar

VENTAJAS	FUENTE
<ul style="list-style-type: none">- Optimiza características productivas del suelo por retención de agua, aumento del pH, así como la disponibilidad de Ca, Mg, P y K, evita pérdida de nutrientes, aumenta la respiración microbiana, y la cantidad de biomasa microbiana, disminuye la acidez y estimula la fijación de nitrógeno en leguminosas por consiguiente agiliza el desarrollo de las plantas permitiendo una producción de alimentos sostenible.- Contrarresta y reduce las emisiones peligrosas (CH₄, CO₂, NO_x, SO_x, oligoelementos tóxicos), alrededor de un 50 % mitigando el cambio climático y sus consecuencias.- Disminuye la necesidad de fertilizantes alrededor de un 10 %.- Contrae la toxicidad del aluminio.- Aumenta la cantidad de hongos micorrizosos.- Incrementa la capacidad de la compensación catiónico.	(Phillip, 2018)
<ul style="list-style-type: none">- Optimiza la calidad y minimiza la contaminación de las aguas subterráneas por el arrastre de nutrientes.- Usado en la restauración de océanos, mares, suelos de baja calidad y tierras no agrícolas, degradadas y contaminadas.- Transición a una economía baja en carbono, es decir, de hidrocarburos a carbohidratos y recurso hídrico.- Recurso biodegradable con gran reactividad y bajas temperaturas iniciales de ignición y combustión durante la conversión.	(Vassilev et al., 2015).
<ul style="list-style-type: none">- Es un recurso para la producción de biocombustibles, solventes, fertilizantes, agentes alcalinos de cal y neutralización, materiales de construcción, síntesis de algunos minerales y recuperación de ciertos elementos y compuestos, conservando los de origen fósil- Revitalización rural con creación de nuevos empleos e ingresos.	(Férez et al., 2014)

DESVENTAJAS	FUENTE
<ul style="list-style-type: none"> - En cultivos inhibe la germinación y disminuye la absorción de agua y nutrientes. - Reduce la efectividad de pesticidas y herbicidas usados en cultivos adsorbidos por el biochar. - Actúa como fuente de contaminantes, posterior uso en la remediación de: metales pesados, COV (compuestos orgánicos volátiles), HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) y DOC (carbono orgánico disuelto). - La ceniza fina asociada con el biochar es la fuente perfecta de polvo, presentando un riesgo de enfermedades respiratorias. - La eliminación a largo plazo de los residuos de cultivos, como tallos, hojas y vainas de semillas, que se empleara para la elaboración de biochar puede reducir la salud general del suelo al disminuir la cantidad de microorganismos del suelo y alterar el ciclo interno de nutrientes. - Para el aumento de la capacidad de intercambio catiónico depende de la composición del suelo: es mínimo en suelos con alto contenido de arcilla u materia orgánica, especialmente a tasas realistas de adiciones de biochar. - En suelos con un pH alto (alcalino), no es deseable un aumento en el pH del suelo ya que los cultivos solo toleran un cierto rango de pH del suelo. 	<p>(Vassilev et al., 2015).</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Problemas tecnológicos durante el procesamiento (aglomeración, formación de depósitos, escorias, incrustaciones, corrosión, erosión), olor, emisión y lixiviación de componentes peligrosos durante la eliminación y el procesamiento. - Grandes costos de cultivo, cosecha, recolección, traslado, acopio y pretratamiento. 	<p>(Six y Zürich, 2014).</p>

2.1.5. Elaboración de biochar

La Producción biochar es práctica, efectiva, sostenible y beneficiosa para el medio ambiente, de ahí se hecho notoria la tendencia vista en trabajos de investigación, cuyo enfoque es la optimización del rendimiento, así como el mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas adsorbentes y valorización de coproductos (Iglesias, 2018; Mohan *et al.*, 2014).

Resulta importante enfatizar, que el proceso productivo de biochar obedece a una conversión termoquímica desarrollada por combustión, gasificación o pirólisis (Guerra, 2015), además se debe considerar la definición de parámetros de cada tratamiento, así como la biomasa a utilizar, definirán las características del biochar y su aplicación, razón por la cual es importante su revisión (Abenza, 2012)

a) Elegir la materia prima

La biomasa vegetal, es la materia orgánica que se encuentra en un ecosistema forestal o en debajo del suelo siendo las ramas, tronco, hojas, corteza y madera muerta (Sione *et al.*, 2019). Además, es considerada como una fuente renovable de energía y productos químicos consecuencia de la conversión en la energía del sol a través de las plantas en el proceso de fotosíntesis (Abril y Navarro, 2012).

Para la selección de la biomasa es necesario la sostenibilidad que integra tres criterios: crecimiento económico, respeto al medio ambiente y bienestar social, con respecto a lo ambiental al elegir la biomasa se requiere la consideración de la erosión del suelo, la biodiversidad, el secuestro de dióxido de carbono y la contaminación del agua (Cobuloglu y Büyüktaktakın, 2015). Se puede emplear una variedad de tipos de biomasa vegetal, establecida primordialmente por hemicelulosa, lignina y celulosa en diferentes proporciones, compuestos encontrados en los residuos de madera de pino (Rutherford *et al.*, 2012).

Esta biomasa se selecciona por los componentes químicos mencionados y al pertenecer a la categoría no extractivos tiene propiedades de resistencia mecánica impidiendo directamente el proceso de hidrólisis enzimática (Romero-Uscanga *et al.*, 2014). El residuo final es un material sólido y duro, con alto concentración de carbono (Schlegel *et al.*, 2018).

De forma general se establece que la biomasa forestal es la materia prima base para la elaboraación de biochar utilizando pirolisis rápida y con el desarrollo de esta tecnología, es apropiado y relevante especificar que no compite con la seguridad alimentaria (a diferencia de los procesos de transesterificación y fermentación) (Escalante *et al.*, 2015).

b) Especie utilizada para hacer biochar: Pino (*Pinus patula*)

Al sur de Ecuador se puede encontrar la especie *P. patula* (pino) es monoica, crecen bien sobre suelos ácidos y buen suministro de humedad (Kindt *et al.*, 2016), se desarrolla de manera óptima en altitudes entre 1500 a 3100 ms.n.m., precipitaciones por año de 600 a 2500 mm (Ospina *et al.*, 2011). La absorción de agua por el pino está relacionada directamente con el tamaño, utilizando un total promedio de 5 y 60 litros de agua por día los mismos con un diámetro a la altura del pecho de 10 y 40 cm, respectivamente (Kindt *et al.*, 2016).

En el Ecuador a finales de los 1800 se comenzó con las plantaciones forestales y se tiene pruebas de las mismas alrededor de los años 1920. La reforestación según la FAO (2008) calcula una tasa anual que no supera las 3500 hectáreas/año y en el 90 % de estas plantaciones se han utilizado especies forestales exóticas de los géneros *Pinus* (*P. patula*) y *Eucalyptus*. De igual manera se han reportado ensayos a altitudes que van desde los 2500 a 4000 ms.n.m., temperatura media anual de 10 a 19 °C (Amaya & Villegas, 2017).

- Taxonomía

Pinus “proviene de la palabra griega pinos (pino), y posiblemente de la palabra celta “pin” o “pyn” (montaña o roca)”, que se refiere al hábitat del pino, es un género de plantas vasculares del grupo de las coníferas y a la familia de las pináceas, siendo su nombre científico *Pinus patula* (figura 1), los nombres más comunes con quienes se relaciona están el pino llorón, pino chino, pino colorado, lo que corresponde a su descripción botánica su tronco se caracteriza por ser cilíndrico y recto, consiguen alcanzar entre los 20 - 40 m de altura y de 40 - 150 cm de diámetro, tiene una forma cónica en su copa, el tallo y sus ramas son de color rojizo en la parte superior, con una corteza papirácea, siendo sus hojas formadas en conjuntos de 3, 4, ocasionalmente 5 en algunos fascículos, color verde claro brillante delgadas, aciculares, verticalmente caídas, con bordes finamente aserrados (Ospina *et al.*, 2011).



Figura 1: Árbol de pino (*Pinus patula*) ubicado en el predio de la Cooperativa Nariguiña

c) Pirólisis

Es un proceso endotérmico y químico realizado en ausencia de oxígeno para descomposición de la materia prima, siendo esta principalmente biomasa, es conocida también como desvolatilización de componentes orgánicos debido a la transformación desde 75 al 90 % de material volátil en la forma de hidrocarburos líquidos, gaseosos, y carbón (Ortega, 2018).

Los sistemas de pirolisis se realizan por medio de hornos, retortas y termogravimétrico (Pantoja, 2015). Existiendo principalmente dos tipos de procesos de pirólisis: rápida y lenta, cuya diferencia radica, en los tiempos de residencia, en la temperatura y además en la obtención de los productos finales (AGRO WASTE, 2011). Apreciándose en la figura 2 un esquema ampliamente aceptado por (Bridgwater *et al.*, 1999).

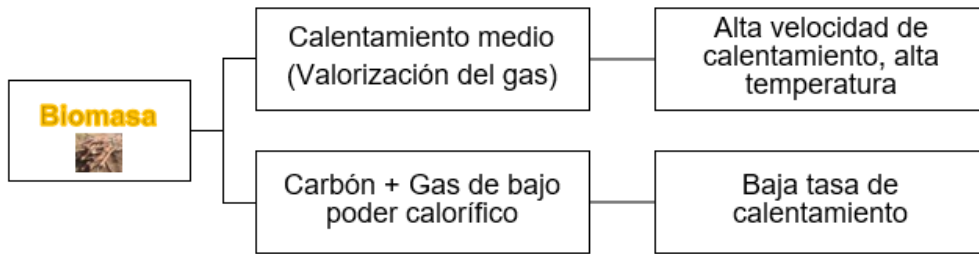


Figura 2: Esquema de la pirólisis rápida y lenta
Fuente: Bridgwater *et al.*, (1999)

- **Pirólisis rápido**

Se identifica por su calentamiento “veloz” de la biomasa, donde se presenta una producción de bioaceites del 60-75 % en comparación con la producción de biochar que va en un rango del 10-25 % dependiendo de la biomasa utilizada (Abenza, 2012).

En este proceso se destaca la facilidad de la transferencia de calor, permitiendo que la biomasa externa e interna alcancen conjuntamente una temperatura que por definición estaría entre 200 a 550 °C para lograr una carbonización completa, además de los cortos tiempos de residencia de los gases de combustión que no van más allá de los 2 segundos (Bridgwater *et al.*, 1999). Influyendo significativamente en la química y biodisponibilidad del biochar. El rendimiento característico de este tratamiento oscila entre un 10 al 30 % de material resultante en base al peso de la materia prima (Brewer *et al.*, 2012).

2.1.6. Horno pirolítico

Los hornos pirolíticos son equipos desarrollados para los tratamientos de desperdicios tóxicos, patológicos y contaminantes, sean orgánicos o inorgánicos, es una tecnología medioambiental para el aprovechamiento energético de residuos sólidos gestionados mediante pirólisis (Caltec, 2015).

El horno pirolítico está conformado por dos cámaras: (figura 3), la interna en donde se pone la biomasa, y al mismo se le permite el máximo control de la corriente de gases y la entrada mínima de aire, durante el proceso de carbonización, la externa es en donde tiene lugar la pirólisis del residuo, debido al calor aportado por los quemadores y a la inyección de la cantidad de aire para conseguir la combustión de los restos (FAO, 2008; Iglesias, 2018; Trujillo, 2017).

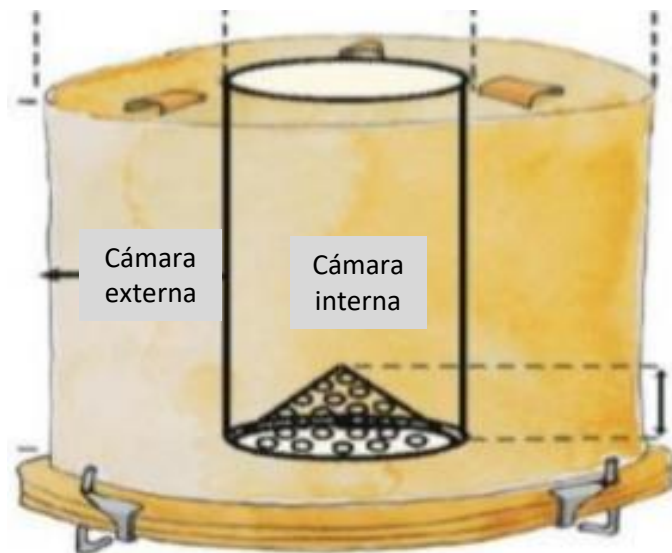


Figura 3: Cámara externa e interna del horno pirolítico
Fuente: Trujillo., (2017)

2.1.7. Producción de la biomasa (pirólisis) y sus impactos ambientales

La quema de biomasa produce efectos ambientales que son los siguientes: la muerte de fauna, siendo la causa principal la emanación de humo (huida y muerte de las distintas especies), el cambio total, en el hábitat de todos los seres vivos, debido a que el fuego es un disturbio que afecta a la estructura dinámica y funcional de los ecosistemas relacionada con lo que dice Iglesias, (2018). Además en el medio ambiente los alquitranes y licores piroleñosos se caracteriza por contaminar el recurso hídrico ya que en su composición presentan compuesto como: el monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), hidrógeno (H₂), y el azufre (S), siendo ésta una de las sustancias que originan la lluvia ácida (Maia, 2011).

Durante la combustión y debido a la naturaleza química de los residuos de madera se pueden presentar más efectos a la salud que impactos ambientales propiamente dichos, puesto que el gas producido durante la carbonización tiene un contenido elevado de (CO), alquitranes, material particulado (PM) menor a 2,5 µm (Robertson *et al.*, 2014), y humo si bien no son venenosos a largo plazo, producen afecciones en el sistema respiratorio, de igual manera se encuentra presente como resultado de la combustión el ácido piroleñoso mismo que puede ocasionar irritación a la piel (FAO, 2008).

2.1.8. Actividades pecuarias

La historia del Ecuador en cuanto a la actividad del sector agroindustrial, según el informe del año 2012 realiza por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, estableció la superficie de uso y cobertura para el sector agropecuario aproximadamente de 12'355.881 ha a los cuales 3'357.167 ha conciernen a cultivos de pastos en 298.962 ha

y 1'129.701 ha a pastos naturales en 205.833 unidades productoras representa el 36 % del suelo de uso y cobertura agropecuaria está ocupado por pastos, estas parcelas de tierras cumplen con las urgencias vitales alrededor de 4'486.020 de ganado vacuno y 3'517.214 de diferentes animales (caballos, mulas, asnos, ovejas, etc.) y, el 32,0 % restante por cultivos perennes, 5 % de páramo nativo, 32 % de bosques y montes, 3 % en descanso y 3 % de distintos usos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2013).

De la información recopilada por la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) en el censo del año 2019 información recopilada de la página oficial del INEC, para el sector pecuario la existencia a nivel nacional muestra que la provincia de Manabí cuenta con mayor número de cabezas de ganado vacuno con un 22 % y aquella con el menor número es Santa Elena con un 0,04 %, en lo relacionado al ganado porcino la provincia líder es Guayas con un 14 % y la que menor producción posee es Napo con un 0,23 %, la información disponible para la provincia del Azuay se presenta una cantidad de 329.670 unidades de ganado vacuno, 47.140 porcinos, 48.337 ovinos, 693 asnales, 20.195 caballares, 473 mulares y 752 Caprinos (INEC, 2019).

En los diferentes sistemas de producción dentro del cantón Pucará, se puede manifestar que la principal actividad productiva es la pecuaria; donde destaca principalmente la crianza de ganado vacuno que se encuentra de manera dispersa dentro del cantón, en menor medida el ganado porcino, ovino y caballar las mismas que se encuentran dentro de espacios confinados; además se encuentran especies menores destaca la crianza de cuyes (Plan de Manejo Integral, 2016).

La actividad pecuaria se sirve del 8 % del líquido vital del planeta, se calcula que se necesita 20.000 litros de este líquido para producir un kg de carne vacuno, la ganadería a nivel industrial además de ser el origen de mayor contaminación del agua por las excretas, residuos de los piensos (metales pesados, antibióticos), hormonas, así como de los fertilizantes y pesticidas manipulados en los monocultivos de granos para el aprovechamiento de los animales permitiendo la degradación de ríos y, litorales y eutrofización (Londoño *et al.*, 2012).

a) Aguas contaminadas por actividades pecuarias

Se define como agua contaminada a aquella cuya composición es directa o indirectamente transformada por actividades antropogénicas como por ejemplo la actividad pecuaria donde los animales generan purines y excretas ricos en Fósforo, Nitrógeno y materia orgánica provocando alteraciones de la fauna y flora acuáticas, así como también la posibilidad de eutrofización en los cuerpos de agua (Proaño, 2015). En general se conoce que un animal equivale al impacto generado por 10 personas en

relación al uso del agua, además el exceso de pastoreo y compactación de la capa vegetal es otro factor que contribuyen a la contaminación de aguas, que se caracterizan por poseer concentraciones mayores de Nitrógeno = 70,2 kg/cabeza/año, Fósforo = 7,65 kg/cabeza/año (Segarra, 2006) y materia orgánica (DQO= 184.96 kg/cabeza/año) (Peralta, 2005).

Los residuos de esta industria son ricos en compuestos nitrogenados; de los cuales los nitratos son aquellos que se presentan de forma estable y soluble en agua, estos compuestos sin la mano del hombre o en condiciones naturales y por acción de bacterias son absorbidos por plantas, este ciclo natural es desequilibrado por actividades antropogénicas relacionadas al uso inadecuado de fertilizantes dando lugar a que el agua de lluvia disuelva los mismos provocando contaminación difusa, debido a la facilidad de arrastre hacia cauces fluviales o además a la infiltración en el suelo y posterior paso a aguas subterráneas (Proaño, 2015).

El Fósforo (P), al presentarse en grandes cantidades se convierte en una problemática atribuyéndose como factor determinante en la contaminación en los cuerpos superficiales de agua causando la eutrofización, principalmente por el fenómeno de vertido directo o escorrentía, este efectúa un período del cual se considera reiteradamente los procesos de mineralización y inmovilización, durante estas transformaciones, este elemento continua en la forma más estable como fosfato (Peralta, 2005).

La materia orgánica está presente en el suelo y agua la misma que es originada por la descomposición de material biológico procedente de plantas, animales y el hombre (Fuentes *et al.*, 2015). En el suelo se destaca que si en las aportaciones de materia orgánica, en terrenos que presenten grandes fisuras, la descarga será mayor a la capacidad de la conductividad hidráulica del mismo, generando grandes problemas de contaminación involucrando de manera directa a los cuerpos de agua cercanos, el riesgo de contaminación es latente cuando los vertidos son depositados de manera directa a una quebrada, riachuelo, río o distintos cuerpos de agua, considerando que si las contribuciones de materia orgánica son superiores a su capacidad de depuración, es posible el agotamiento del oxígeno disponible, provocando liberación de nutrientes que aceleran el fenómeno de eutrofización (Blázquez, 2012). Al poseer un contenido orgánico mayor (DQO), tiende a degradarse de forma anaeróbica, generando olores si no existe control (Peralta, 2005).

b) Propiedades físicas – química del agua contaminada

La característica del agua está formada por tres átomos pequeños, dos de hidrógeno y una de oxígeno, sus enlaces polares facilitan establecer puentes de hidrógeno y así unirse moléculas adyacentes (Azcona & Fernández, 2012).

Una agua se puede considerar inadecuada cuando sobrepasa los distintos límites permisibles definidos en relación al uso considerando según criterios, de descarga en un cuerpo de agua dulce ver tabla 19 (Anexo 1), así como también para uso de agua de riego ver tabla 20 (Anexo 2) (TULSMA, 2018). Estas normas se tienen que cumplir para evitar la muerte de animales, destrucción de los tipos de ecosistemas, además de la interrupción en la cadena alimentaria, lluvia acida y enfermedades en los humanos (Cumbre Pueblos, 2020).

Es importante destacar que las actividades pecuarias hoy en día generan un mayor número de residuos, basado en una realidad los grados de contaminación pueden ir desde los meramente estéticos hasta afectar los recursos abióticos, los residuos ganaderos (purines), son vertidos incontrolados a las fuentes de agua con poca capacidad de depuración lo que generan problemas de insalubridad y contaminación en general (Peralta, 2005), causando una mayor preocupación, la eutrofización, misma que puede definirse como "*un proceso evolutivo, natural o provocado, por el que un lago experimenta un progresivo aumento de nutrientes (nitratos y fosfatos, especialmente), dando lugar, por tanto, a un enriquecimiento cada vez mayor en organismos vivos y materia orgánica*" (Martínez, 2016).

a) Nitrato

Son iones que se forma de 3 átomos de oxígeno, una de nitrógeno y una con carga negativa (NO_3), su principal característica es que no posee sabor ni color, es conocido como contaminante que afecta a la calidad del agua, el nitrógeno se encuentra de forma natural en las aguas superficiales o subterráneas, la alteración del ciclo del nitrógeno natural se da por el aumento de nitratos por un excesivo uso de abonos nitrogenados y el arrastre de las aguas lluvias o riegos (Kalaruban *et al.*, 2016).

Los nitratos pueden ser producidos tanto por fuentes antropogénicas como naturales, siendo las responsables del significativo aumento en su concentración en las aguas, así, los residuos industriales componen una fuente significativa de nitratos, siendo las industrias más contaminantes los criaderos, mataderos, azucareras, industrias de levadura, de almidón, textiles, destilerías y fertilizantes (Kalaruban *et al.*, 2016). Siendo hasta ahora, un problema para determinar las fuentes de NO_3 ha sido la dificultad de

identificar el origen, una de las dificultades ambientales más graves relacionados con la contaminación por nitratos es la eutrofización en los cuerpos de agua naturales como ríos y lagos; afecta a los peces y a otras especies acuáticas (Toetz, 2006). El límite máximo permisible de concentración de nitrato recomendado para la calidad del agua es 10 mg/l (Normas oficiales para la calidad del agua México, 1994).

La cuantificación de Nitrato (NO_3) se realiza químicamente, utilizando el cadmio metálico para la reducción a nitritos los nitratos presentes en el agua, el ion de nitrito reacciona en un medio ácido con el ácido sulfanílico para formar una sal intermedia de diazonio, esta sal se une al ácido gentísico para constituir un producto de color ámbar (Holm *et al.*, 2018).

b) Fósforo total

El fósforo soluble en los fertilizantes, posee el símbolo o letra P, este compuesto está disponible de forma inmediata y se usa frecuentemente como parámetro para caracterizar algunos productos (Carrillo *et al.*, 2002).

El exceso de NO_3 , fósforo y potasio en el suelo por exceso de fertilizantes y estiércol animal permite la lixiviación a aguas superficiales y del subsuelo causando eutrofización, a nivel mundial la ganadería aporta 32 % de fósforo que contamina el agua, en el caso de las heces porcinas en especial las hembras son las producen el más alto porcentaje de fósforo en relación a otros animales (Nava, 2012).

Para la determinación del fósforo disponible o reactivo las soluciones en gran medida ácidas, el molibdato amónico reacciona con el ortofosfato para constituir ácido molibdofosfórico, este complejo prontamente se reduce por acción del reactivo de aminoácido y da como resultado un compuesto de molibdeno color azul intenso (Standars Methods, 2018). El límite máximo permisible en descarga es 15 mg/l en fósforo total (TULSMA, 2018).

c) Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la DQO, en términos de contaminación acuática, representa a un valor obtenido mediante un análisis de laboratorio que permite establecer químicamente la cantidad total de oxígeno necesario para la oxidación de materia orgánica presente en una muestra de agua natural o residual (Zambrano-Franco y Isaza, 1998).

La cuantificación de la DQO utiliza un oxidante químico fuerte en una solución ácida y caliente para oxidar el carbono orgánico a CO_2 y el H_2O , por lo tanto, es *"una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra que es*

susceptible a la oxidación por un oxidante químico fuerte", a la prueba no se ve afectada negativamente por sustancias tóxicas (Standars Methods, 2018). El límite máximo permisible en la DQO, en los criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico es (>4) mg/l (TULSMA, 2018).

d) Potencial de hidrógeno (pH)

El pH, indica la alcalinidad o acidez, del agua, en realidad es una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno $[H]$, las mediciones de pH pueden alcanzar un rango comprendido entre 0 - 14 donde 7.0 se considerado neutro, las soluciones con un pH inferior a 7,0 se consideran ácidos, así también con aquellas cuyo pH es superior a 7,0 hasta 14,0 se las define como alcalinos o bases (Carrillo *et al.*, 2002).

El pH es una de las pruebas importantes para el uso frecuente en la química del agua. Prácticamente la mayoría de las fases del suministro de agua y el tratamiento de aguas residuales dependen de la variabilidad del pH, cuando se encuentre en un rango de 4 a 9 el pH son generalmente aguas naturales y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de los metales alcalinos y alcalinotérreos (Standars Methods, 2018).

En la figura 4 se muestra una celda la cual contiene dos electrodos de referencia, cada uno con un potencial independiente y constante del pH; uno de estos electrodos de referencia es el interno de plata/cloruro de plata, que es un componente de vidrio pero que no es sensible al pH. En resultado, es la delgada membrana en el extremo del electrodo, la que responde a los cambios de pH (Toledo, 2014) el multiparamétrico se basa en el principio antes descrito, a partir del electrodo de referencia y el indicador, como indica en la figura 5.

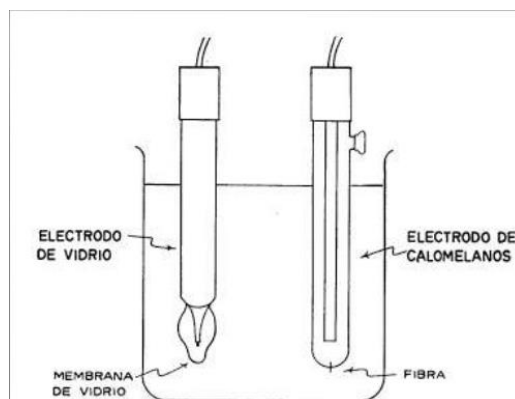


Figura 4: Electrodos de vidrio para medición de pH
Fuente: Garcia E., (2014)

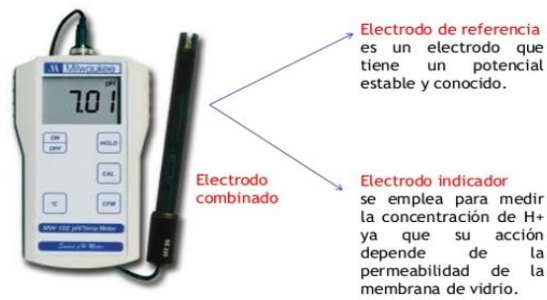


Figura 5: Multiparamétrico medición de pH
Fuente: Garcia R., (2017)

e) Conductividad eléctrica (CE)

La CE refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua, la medida de esta propiedad físico química se realiza mediante un multiparamétrico consta de una celda (figura 6) de un par de electrodos o polos a los que se aplica una tensión (Toledo, 2014).

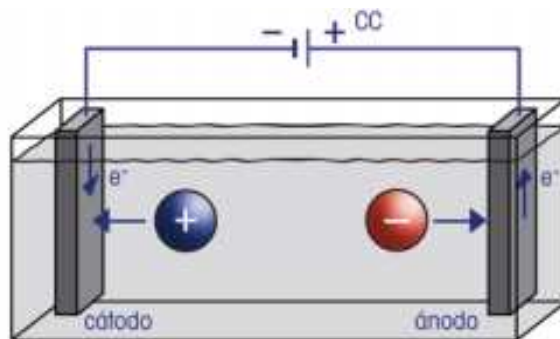


Figura 6: Configuración esquemática de una celda de medición de la conductividad
Fuente: Toledo., (2014)

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Zona de estudio

El desarrollo de esta investigación está centrado en la obtención del biochar, mismo que se realizó con los residuos de pino recolectados en la propiedad de la Cooperativa de Producción Agropecuaria Nariguiña perteneciente a la comunidad de Quinuas (figura 7), tiene una altitud entre 3500 y 3600 ms.n.m., cuenta con 390 ha en su extensión total; existiendo 91,05 ha de pino sembrado de los cuales el 32,50 ha constituye el área de explotación forestal, las coordenadas donde se realizó el biochar son UTM 9652177, 0666390 WGS84 17S.

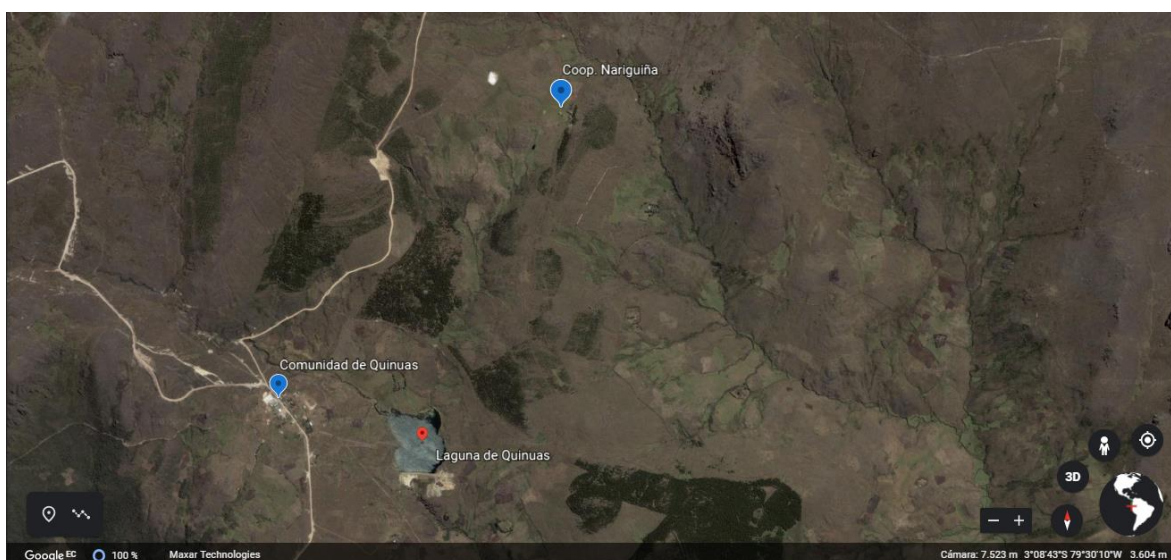


Figura 7: Ubicación de la Cooperativa de Producción Agropecuaria Nariguiña (Fabricación Biochar de pino)

Fuente: Google Earth, 2020

Por su parte, la recolección agua contaminada por actividades pecuarias (siguiendo el procedimiento descrito por el instituto de Toxicología de la Defensa, 2016) para la remediación se realizó en la propiedad de la señora Rosa Espinoza quien se dedica a la actividad de crianza animales porcinos, perteneciente a la comunidad de Sarayunga (figura 8), en las siguientes coordenadas UTM 9633447, 0657495 WGS84 17 S y a una altitud de 523 ms.n.m.; ambos locaciones en el cantón Pucará, provincia del Azuay.

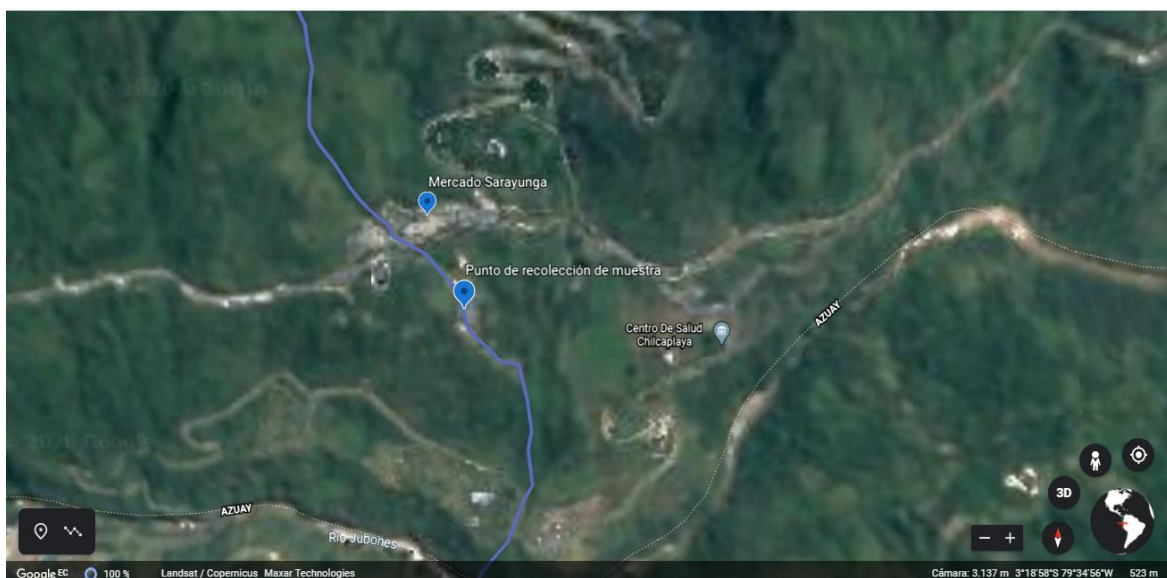


Figura 8: Ubicación de la toma de muestra del agua contaminada, en la comunidad de Sarayunga del cantón Pucará
Fuente: Google Earth ,2020

3.1.2 Ubicación política administrativa y geográfica

a) Ubicación política

El cantón Pucará se localiza en el sur oeste en la provincia del Azuay, pertenece al territorio andino de la república del Ecuador dentro de un rango altitudinal entre 100 - 4060 ms.n.m. (figura 9). Es una ciudad caracterizada por poseer varios pisos climáticos: zona fría, templada y tropical-subtropical, diferenciándose claramente por su producción ganadera y agrícola. De acuerdo a la actividad productiva en la zona alta fría se trabaja en la producción de papas, mellocos, ocas, etc., en la zona media templada en la producción de maíz, caña de azúcar, plantas medicinales, etc., y la zona tropical y subtropical en la producción de cacao, banano, naranjas, mandarinas entre otros, mientras que en todas las zonas en respecto a la actividad pecuaria se dedican a la producción de ganado vacuno, porcino, aviar, cuyes generalmente (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pucará, 2016).

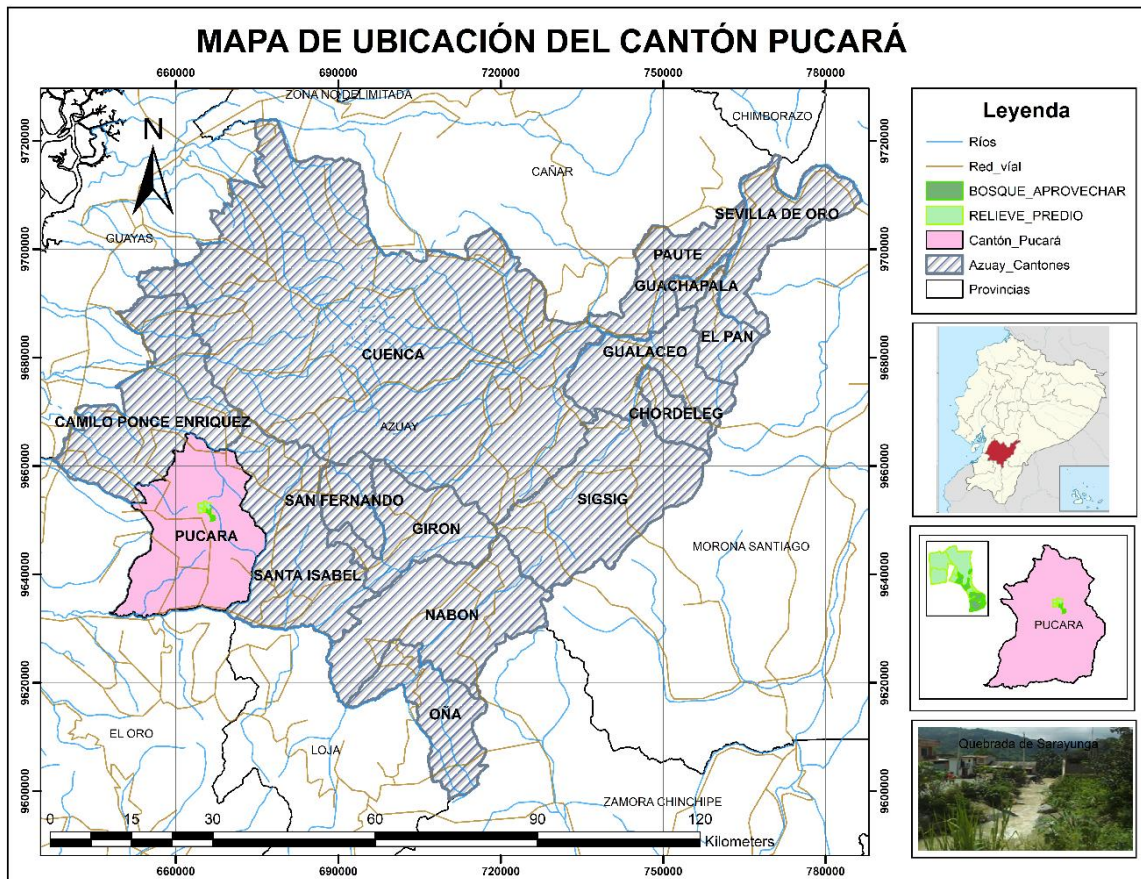


Figura 9: Mapa de ubicación del cantón Pucará

a) División política

Parroquias Urbanas

- Cabecera cantonal: San Juan Bautista de Pucará y San Rafael de Sharug

Los límites del cantón Pucará son al:

- Norte: Con el cantón Camilo Ponce Enríquez
- Sur y el Oeste: Con el cantón Pasaje perteneciente a la provincia del Oro
- Este: Con el cantón Santa Isabel

3.2 Diseño experimental

El diseño 2^k favorecerá explorar una zona determinada de estudio, la influencia experimental planteada y determinar la dirección competente para un perfeccionamiento posterior, donde se utilizó el software especializado R Studio. La ventaja de este programa son las herramientas que provee para realizar el análisis de interacciones de variables y sus combinaciones, también permite la construcción de un diagrama de Pareto y finalmente el análisis de varianza (ANOVA), datos que facilitarán la discusión y análisis de resultados.

En el diseño factorial 2^k analiza k factores en dos niveles, donde cada nivel Utiliza la notación “+” y “-” para representar los valores bajo y alto de los factores, las corridas producto son la potencia definida pueden ajustarse en la conocida matriz de diseño, la cual abarca las combinaciones e interacciones posibles que definen el experimento a desarrollar (Gutierrez & Roman, 2015). Para definir las variables se recurre a experiencias similares, a los objetivos planteados en la investigación.

3.2.1. Caracterización de variables

Establecer el orden de los experimentos es factible mediante la definición de las variables, y sus respectivos límites, siendo éstas las que se describen a continuación:

a) Concentración de biochar

Uno de los usos del biochar es la remoción de contaminantes orgánicos, metálicos, que pueden estar presentes en el agua, experiencias realizadas bajo similares condiciones, como las realizadas por: (Chuquimboques *et al.*, 2019), en optimizaron la remoción simultánea de nitrato, nitrito, amonio y fosfato de aguas residuales municipales, obtuvieron resultados satisfactorios empleando biochar en una cantidad de 1,5 mg por ml de agua a tratar. Y por (Chintala *et al.*, 2013) donde el mejor resultado para la remoción de nitratos es 10 mg/ml. Por este motivo se decidió tomar estos rangos como valores mínimo y máximo respectivamente para la evaluación experimental.

b) Tiempo de contacto

El tiempo de contacto es una variable independiente en el proceso, y en este estudio se toma como base lo realizados por: (Chuquimboques *et al.*, 2019), donde se obtuvieron mejores resultados en un tiempo de contacto del biochar con el agua en 3,6 horas, valor a considerar como mínimo. Una experiencia que se rescata de acuerdo al trabajo realizado por (Cui *et al.*, 2016), donde la estabilización de la adsorción de fósforo se establece a las 5 horas de contacto entre los componentes estudiados, se tomará como máximo para la matriz experimental.

c) Revoluciones por minuto (rpm)

El éxito en la remoción de contaminantes se asocia con agitación constante del biochar y el agua según la investigación realizada por (Hafshejani *et al.*, 2016), donde el resultado satisfactorio de remoción de nitratos en agua se obtiene a 120 rpm, dato a considerar como mínimo dentro de la experimentación. De igual forma, en el estudio realizado por (Cui *et al.*, 2016), se estableció que 160 rpm fueron ideales para la

remoción de fósforo y este dato se coloca como máximo para el desarrollo práctico plateado.

Los valores ya establecidos en cada una de los factores se pueden simbolizar según los niveles de máximo y mínimo a estudiar cada uno de los dominios experimentales (tabla 3).

Tabla 3: Factor y su dominio experimental

FACTORES		DOMINIO EXPERIMENTAL	
		Nivel (+)	Nivel (-)
CB	Concentración de biochar (mg/ml)	10	1.5
TC	Tiempo de contacto (horas)	5	3,6
rpm	Revoluciones por minuto	160	120

3.2.1. Elaboración de la matriz experimental para el diseño 2³ (factorial completo)

La matriz es construida por la interacción entre los factores (tabla 4), por tal razón, los experimentos consideran todas las combinaciones posibles de cada uno de los niveles (+ o -) con todos los de los otros factores (Gutierrez % Roman, 2015).

Tabla 4: Para el diseño factorial completo 2³ tenemos la siguiente matriz de experimentos

Corrida	CB	TC	rpm	RESPUESTAS
1	-	-	-	r ₁
2	+	-	-	r ₂
3	-	+	-	r ₃
4	+	+	-	r ₄
5	-	-	+	r ₅
6	+	-	+	r ₆
7	-	+	+	r ₇
8	+	+	+	r ₈

Fuente: (Escobar, 2018)

Según las variables seleccionadas en la presente investigación, se tendrá una experimentación que se define de la siguiente manera como se observa en la tabla 5.

Tabla 5: Proceso en el experimento

Concentración de Biochar mg/ml	Tiempo de contacto horas	Revoluciones por minuto
1,5	3,6	120
10	3,6	120
1,5	5	120
10	5	120
1,5	3,6	160
10	3,6	160
1,5	5	160
10	5	160

Considerando que La tabla 5 muestra el orden experimental a desarrollar, obedeciendo la naturaleza del propio diseño propuesto, combinando las variables mínimas y máximas con sus respectivas interacciones, para finalmente obtener un número total de 8 experimentos. Siendo necesaria la repetición por triplicado misma que permite ver la correlación entre repeticiones experimentales.

Para evidenciar la efectividad de la acción del biochar en el agua contaminada, se adiciona un experimento a los 8 propuestos en la tabla 5. Al que se denomina en adelante como muestra testigo puesto que sigue los lineamientos experimentales definidos, pero sin este material adsorbente, garantizando la eficiencia de remoción para los parámetros físico-químicos planteados en los objetivos de la investigación.

3.3 Definición del proceso experimental

La investigación presenta dos partes perfectamente definidas, que para un mejor entendimiento se describen en el orden cronológico desarrollado, indicando la metodología empleada:

3.3.1. Elaboración de biochar

a) Materiales y equipos de campo para la elaboración del biochar

- Libreta de apuntes
- Esfero
- Cámara fotográfica
- Guantes de protección

- Machete
- Saco plástico de 50 kg
- Soga
- Balanza
- Horno pirolítico artesanal
- Fundas cierre hermético
- GPS



Figura 10: Materiales de campo para la elaboración de biochar

b) Procedimiento elaboración de biochar

- **Materia prima:**

— **Recolección**

Se recogieron los residuos (ramas), de la explotación forestal de pino (*Pinus patula*). Para garantizar la homogeneidad las ramas fueron seleccionadas acuerdo a similitud de tamaño y grosor (Guerra, 2015), tomadas al azar dentro del predio, recolectándose 2 cargas de 50 kg (figura 11). La recolección se realizó en la zona de la cooperativa Agropecuaria Nariguiña de la comunidad de Quinuas del cantón Pucará.



Figura 11: Selección de materia prima (ramas de pino) con similares características

— Acondicionamiento

La materia prima que se utilizó para la fabricación del biochar, debe mantener una humedad no mayor al 10 % (Guerra, 2015). Por lo tanto, el material recolectado se dispuso en un espacio (bodega) que garantice la protección de la humedad ambiental, así como permitir el secado natural de las ramas.

— Adaptación del horno pirolítico artesanal

El horno artesanal a utilizar en la elaboración de biochar de pino se basó en los dos tambores cilíndricos (figura 12), realizado de una forma artesanal por (Arévalo, 2019; Iglesias, 2018)



Figura 12: Horno pirolítico artesanal de doble tambor

El horno empleado como se observa en las figuras 13 y 14 presenta dos cilindros: el uno de 45 cm de alto y 58 cm de diámetro, el mismo que representó la cámara externa y el otro para la cámara interna de 27 cm de diámetro y 28 cm de alto, con una capacidad de 5 kg de biomasa (Arévalo, 2019; Iglesias, 2018)



Figura 13: Dimensiones del tambor cilíndrico externo



Figura 14: Dimensiones del tambor cilíndrico interno

- **Producción del biochar**

Para la obtención de biochar se aplicó el proceso de pirólisis rápida, donde se resalta la importancia del control en la entrada de aire, puesto que este método se lleva a cabo en condiciones de oxígeno limitado (Lehmann & Joseph, 2015). Adicionalmente se presentan los pasos empleados en la obtención del biochar:

1. Se recolecto material seco (tablas rechazo) emplearlos como combustible, colocando los mismos en el cilindro externo del horno pirolítico artesanal.
2. Luego se colocó el material de residuo forestal (ramas) homogéneas, en el cilindro interno y tapar herméticamente, Evitando el contacto de la llama producida en el cilindro externo y garantizando una mínima cantidad de oxígeno por el pequeño espacio vacío entre las ramas y el cilindro (Iglesias, 2018; Arévalo, 2019).
3. Se tapó totalmente el horno, una vez incinerado el material de combustión, y dejar que se complete la combustión de la biomasa interna por un periodo de 3,5 horas.
4. Se destapo el horno y dejar reposar por un lapso de 2 horas.
5. Se colocó el producto obtenido sobre una superficie que soporte la presión debido al fraccionamiento de tamaño realizado en este paso.
6. Se lavó con agua natural y destilada (3 ocasiones cada uno) y se deja secar al ambiente.

Los pasos anteriormente detallados, se muestran resumidos en la figura 15 donde se aprecia a mayor detalle la elaboración del biochar por medio de un diagrama de flujo. Las fotografías que evidencian el cumplimiento de los pasos expuestos, se encuentran en el anexo 3.

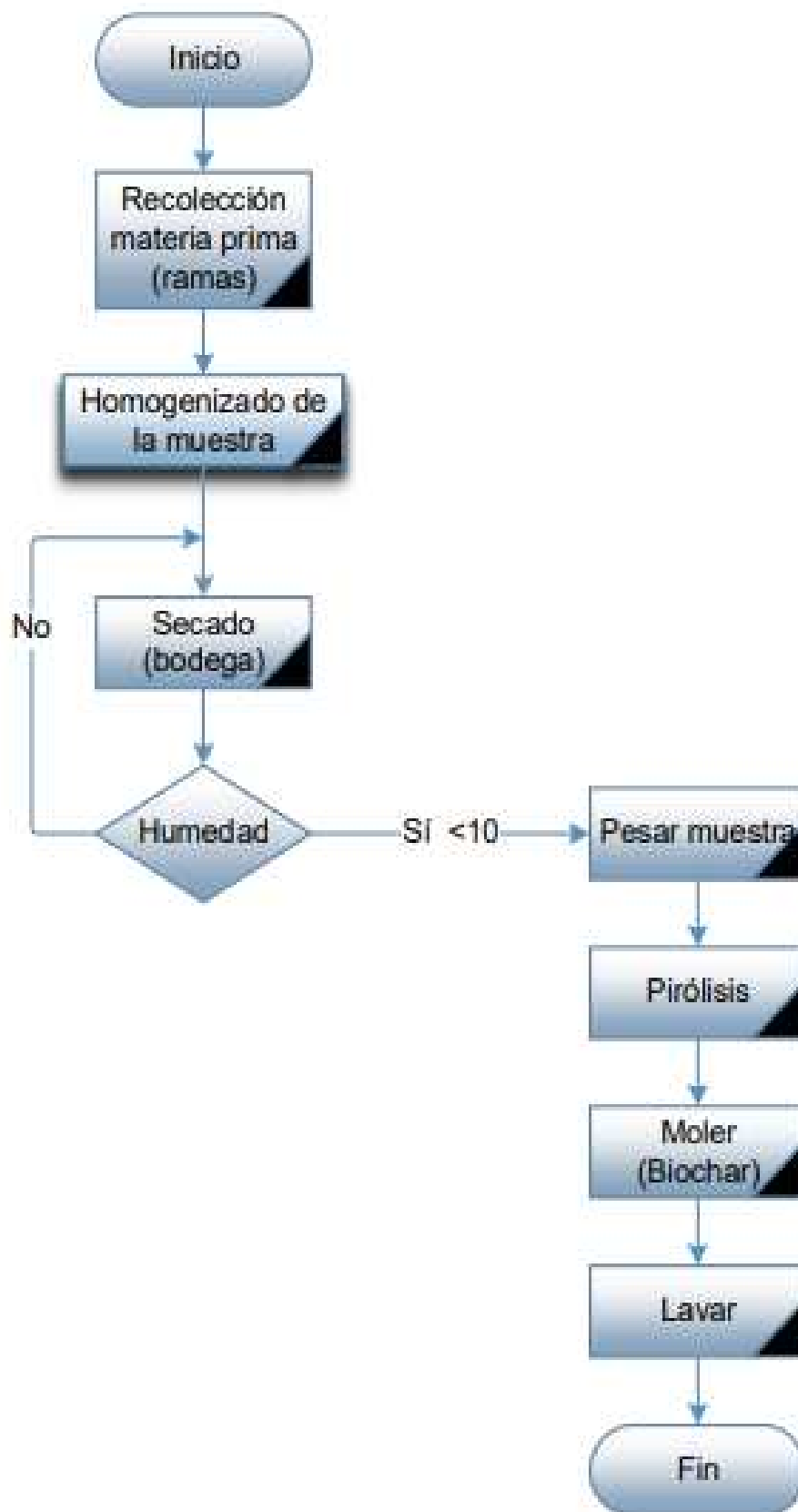


Figura 15: Proceso productivo de biochar representado por medio de un diagrama de flujo

c) Características del biochar de pino

Para el análisis de los elementos constituyentes del biochar de pino se determinó en el laboratorio IHTALAB (Ver anexo 4) los siguientes macro-nutrientes así como ciertas propiedades fisicoquímicas con los métodos de ensayos respectivos:

Tabla 6: Macro-Nutrientes

ELEMENTOS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO
Nitrógeno	Kjehdal*
Potasio	Absorción Atómica*
Calcio	Absorción Atómica*
Magnesio	Absorción Atómica*
Azufre	Espectrofotometría UV-Vis*
Fósforo	Espectrofotometría UV-Vis*
Carbono total	PA-35.00 ⁽¹⁾

- Análisis de las propiedades químicas elementales

Tabla 7: Propiedades químicas

ELEMENTOS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO
pH (4:10 sólido-líquido)	Electrometría*
Conductividad eléctrica	Electrometría*
Densidad	Método de probeta*

3.3.2. Variables respuesta

Uno de los usos del biochar es la remoción de contaminantes orgánicos, para comprobar la efectividad se utilizó agua contaminada de las actividades pecuarias localizada en la comunidad de Sarayunga, se tomó 3 litros de muestra en donde se midieron las propiedades insitu y se realizan las experimentaciones el mismo día de recolección evitando así la variación de las propiedades medidas.

Para evaluar las respuestas experimentales se seleccionaron parámetros físico-químicos DQO, Nitratos y Fosfatos que permiten medir el porcentaje de remoción luego

del tratamiento aplicado en el diseño experimental, tanto a las muestras de agua con biochar, así como también los ensayos sin este compuesto, estos fueron:

a) DQO

Se determinó la DQO en laboratorio acorde al método y procedimiento respectivo, mediante el método de Espectrofotometría utilizando dicromato, norma ISO 15705.

La DQO según método de digestión en reactor con dicromato de potasio, es apta para un rango de 20 – 1500 mg/l DBO, aceptado por USEPA para análisis de agua residual según el procedimiento Method 5220 D, Federal Register, April 21, 1980, 45(78), 26811-26812.

Pasos para determinar el proceso de DQO:

1. Se inició el termo reactor a 150 °C.
2. Luego se preparó la muestra retirando la tapa del vial manteniéndolo en un ángulo de 45 grados y con una pipeta se añadió 2 ml de la muestra.
3. Se preparó el blanco de igual forma con 2 ml de agua desionizada.
4. Se colocó los viales en el reactor y se calentó durante 2 horas.
5. Se puso los viales en soporte mientras se enfriaban a temperatura ambiente.
6. Inició a correr el programa 435 DQO HR del equipo espectrofotómetro.
7. Luego la celda con el blanco se insertó en el agujero del equipo, finalmente se presionó READ.
8. Los resultados se mostraron en mg/l DQO.

b) Nitratos

Los nitratos fueron determinados de acuerdo al método de reducción de cadmio, definido en el standard methods procedimiento 4500-NO₃ E, se ejecutó el programa 351 N, Nitrato RB del espectrofotómetro DR 6000.

Para obtener los resultados de nitratos se procedió de la siguiente manera:

1. Se llenó la celda con 10 ml de muestra.
2. Luego se añadió el contenido de un sobre del reactivo para la determinación de nitrato en la celda de muestra.

3. Se agitó y se disolvió el polvo para dar lugar a la reacción de esto, obteniendo un color rosa que indica la presencia de nitratos.
4. Se inició el temporizador del instrumento en un lapso de 5 minutos para desarrollo del complejo coloreado.
5. El blanco de reactivos se lo preparo en las mismas condiciones con 10ml de agua destilada, presionando ZERO en la pantalla, se mostró 0,0 mg/l de NO₃ N.
6. Se colocó las muestras a determinar la concentración y presionar READ. Los resultados se expresan en mg/l NO₃ N.

c) Fósforo total

Se determinó fósforo total basados en el método 4500 P.E, con la técnica de espectrofotometría, UV-Vis.

1. Se Inició el termo reactor a 150 °C.
2. Inicie el programa 542 P Total RA TNT, del equipo espectrofotómetro.
3. Añadió 5 ml de muestra en el vial para determinación de fósforo total. luego añadir el contenido de un sobre de persulfato de potasio, colocar la tapa en el vial y agitar para mezclar el reactivo.
4. Se dejó que ocurra una reacción de 30 minutos.
5. Se limpió el vial y se insertó en el agujero del equipo espectrofotómetro.
6. Siempre se hace un blanco la pantalla mostrará 0,0 mg/l de PO₄.
7. Limpie el vial e inserte en el agujero del equipo espectrofotométrico.
8. Presione READ. Los resultados se mostrarán en mg/l de PO₄.

3.2.2. Prueba de selección de variables que definen el proceso

Se partió desde las interacciones (matriz de efectos), entre los factores en sus niveles máximos y mínimos. Para lo que se construye la matriz de experimentos la misma que define el producto de cada uno de los factores (tabla 6). Indicando la combinación de las respuestas para el cálculo de los efectos (Escobar, 2018).

Tabla 8: Matriz de efectos e interacciones

N.º	CB	TC	Rpm	CB*TC	CB*rpm	TC*rpm	CB*TC*rpm
1	-	-	-	+	+	+	-
2	+	-	-	-	-	+	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	-	+	-	-	-
5	-	-	+	+	-	-	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	-	+	+	-	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+

CB: Concentración de Biochar

TC: Tiempo de contacto

rpm: Revoluciones por minuto

CB*TC: Interacción entre variables

Para los cálculos de las interacciones y efectos de los factores se usó la tabla 6 en donde se muestra las pruebas realizadas la fórmula del efecto, donde la variable “r” es la respuesta, estos valores son obligatorios para la interpretación de la incidencia de los mismos.

Tabla 9: Cálculo de efectos e interacciones

EFEECTO	CÁLCULOS	RESPUESTA
Promedio	$(+r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7 + r_8) / 8n$	P
CB	$(- r_1 + r_2 - r_3 + r_4 - r_5 + r_6 - r_7 + r_8) / 4 n$	a ₁
TC	$(- r_1 - r_2 + r_3 + r_4 - r_5 - r_6 + r_7 + r_8) / 4n$	a ₂
Rpm	$(- r_1 - r_2 - r_3 - r_4 + r_5 + r_6 + r_7 + r_8) / 4n$	a ₃
CB*TC	$(+ r_1 - r_2 - r_3 + r_4 + r_5 - r_6 - r_7 + r_8) / 4n$	a ₁₂
CB*rpm	$(+ r_1 - r_2 + r_3 - r_4 - r_5 + r_6 - r_7 + r_8) / 4n$	a ₁₃
TC*rpm	$(+ r_1 + r_2 - r_3 - r_4 - r_5 - r_6 + r_7 + r_8) / 4n$	a ₂₃
CB*TC*rpm	$(- r_1 + r_2 + r_3 - r_4 + r_5 - r_6 - r_7 + r_8) / 4n$	a ₁₂₃

Obtenidos todos los valores se procede a evaluar los coeficientes, tomando los valores más altos, sin interesar su signo. Una vez reconocidas las variables, se estableció la ecuación lineal del modelo experimental.

La evaluación de sus respectivos signos, se considera máximo con signo positivo (+) y el mínimo con el signo es negativo (-), de este modo se identifican los efectos importantes y qué interacciones son importantes en el experimento planteado.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Producción del biochar

La producción de biochar se desarrolló mediante la técnica de pirólisis rápida misma que definió las características el horno empleado, siendo este construido artesanalmente en función de la cantidad de materia prima disponible. El proceso productivo considero la combustión en ausencia de oxígeno, la determinación de las condiciones de entrada de la biomasa, las condiciones climatológicas, y un tiempo de 3:30 horas de quema. Donde se alcanzaron los rendimientos expuestos en la tabla 10.

Tabla 10: Entrada y salida de materia prima (ramas de pino) y condiciones climatológicas

Fecha	Condiciones climatológicas			Peso (kg)		Rendimiento
	Temperatura ambiente	Humedad ambiente	Humedad de la madera	Entrada	Salida	
25/10/19	6°C	96 %	9,0 %	4,2 kg	1,2 kg	31,40 %
26/10/19	8°C	94 %	9,5 %	4,2 kg	1,2 kg	31,57 %

Los rendimientos obtenidos son característicos en la producción del biochar mediante el proceso de pirólisis rápida encontrándose el rango establecido por (Escalante *et al.*, 2015). Experiencias similares como la desarrollada por (Iglesias, 2018) quien trabajó con ramas de eucalipto en pirólisis rápida, donde se obtuvo un rendimiento del 30,8 %, al trabajar con un 44 % en humedad ambiente y 22 °C en temperatura ambiente notándose una pequeña diferencia de condiciones climáticas que se reflejan sobre el rendimiento. Mientras que (Díaz, 2017) obtuvo un 30 % en su rendimiento con biomasa de acícula de pino, elaborado en el cantón Cuenca a una temperatura ambiente muy similar, no hay una variación significativa.

4.2.1. Caracterización del biochar

Una vez efectuado el proceso de pirólisis, resulta necesario analizar las propiedades físico-químicas del biochar, para conocer su composición de manera general. Para ello se ha de utilizar los macronutrientes, así como también el potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica (CE) y densidad. Por ende, establecer la composición general de biochar, así como también verificar su comportamiento fisicoquímico.

a) Macronutrientes

Los componentes analizados, se exponen en la tabla 11. Donde se observa que el biochar de pino, poseen los siguientes macronutrientes:

Tabla 11: Reporte de análisis físico - químico

Elementos	Unidad	Concentración
Nitrógeno	%	0,026
Potasio	%	0,114
Calcio	%	0,495
Magnesio	%	0,097
Azufre	%	<0.0003
Fósforo	%	0,018

Resulta importante destacar que en la producción por pirólisis rápida de biochar al trabajar con ramas de pino los elementos que se destacan por sus distintas aplicaciones, son: Calcio, Potasio y Nitrógeno.

Soportando la composición obtenida para el caso del Nitrógeno se toma como referencia al estudio realizado en la Universidad Nacional de Seúl por (Kim *et al.*, 2012) donde se trabajó con la especie de *Pinus rigida* obteniéndose un contenido que varía en un rango de 0,02 a 0,2 % encontrando un comportamiento similar para la especie de *Pinus patula*, objeto de este trabajo. El comportamiento de este elemento es motivo de un seguimiento especial debido a la variabilidad de su composición final en el proceso de pirólisis rápida, esto obedeciendo a fenómenos térmicos propios de esta producción, los cuales favorecen una volatilización de este componente o su condensación (Trujillo, 2017).

Como es conocido Potasio (K) es un metal alcalino, presente en la biomasa vegetal en alta concentración, el cual se vuelve volátil o aumenta durante la pirólisis. La razón de este comportamiento se evidenció en la investigación desarrollada por (Tan *et al.*, 2017); donde se sometió al K presente en la paja de arroz a descomposición adicional dado que la temperatura de pirólisis aumenta, lleva a una reducción en su contenido. Mientras tanto (Abenza, 2012) expone que el valor inicial del K en la biomasa de pino es 0,068 % por lo que su concentración en el biochar aumento a 0,114 %. Las composiciones en cuanto al contenido de K no reflejan un comportamiento homogéneo por su distinta naturaleza en cuanto a la biomasa, los autores han obtenido valores diferentes a pesar de que sea un mismo proceso pirolítico. En experiencias similares (Iglesias, 2018) no

ha encontrado una relación en cuanto al contenido de K, obteniendo rangos de 0,20 a 1,94 %, (Díaz, 2017) obtiene un valor de 6,891 %.

La composición teórica de la biomasa de pino según lo establecido por (Abenza, 2012) está en un valor de 0,067 %, con esta consideración con el resultado obtenido en el presente trabajo siguiendo el método de pirólisis rápida se obtuvo un valor de 0,495 % lo que indica un aumento en el contenido de Calcio al obtener un biochar, esto fue corroborado por (Arévalo, 2019) quien concluye que el contenido de Calcio es alto y se atribuye este fenómeno a la presentada en cuanto a la producción de biochar.

b) pH

El valor del pH fue de 7,51. Correspondiente a un total ligeramente alcalino, conclusión a la que llegaron autores como (Iglesias, 2018; Zwieteren *et al.*, 2010). Donde los distintos biochar estudiados poseían un comportamiento alcalino con un pH mayor a 7.

c) Conductividad eléctrica

El valor obtenido para el biochar de pino, en la determinación de la conductividad eléctrica fue de 138,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los resultados son heterogéneos difíciles de hacer una comparación porque dentro de una misma biomasa no se obtienen valores similares. En el estudio realizado por (Iglesias 2018) se observa la diferencia del biochar obtenido en la misma materia prima (eucalipto) la conductividad eléctrica de ramas con 6090 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a cortezas con 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que coincide con lo hace (Arévalo, 2019) y por esta razón es difícil establecer una relación de conductividad eléctrica en el biochar. A diferencia de (Abenza, 2012) en el biochar de astilla de pino con el valor de 250,42 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Se concluye una variación en los valores se debe a la naturaleza, composición y origen de la materia prima.

d) Densidad

En general, la densidad del biochar es menor que el agua, propiedad atribuible a la naturaleza porosa del biochar. En el presente estudio se obtuvo un valor 0,20 g/ml, coincidiendo con algunos autores los mismos que trabajan con igual biomasa: astillas de álamo y madera de pino, o lodo de aguas residuales municipales secado térmicamente, en donde se obtienen valores muy similares próximos al 0,25 g/ml (McElligott *et al.*, 2011; Méndez *et al.*, 2013; Ojeda *et al.*, 2015). La densidad no depende de la naturaleza y origen de la biomasa.

4.2.2. Caracterización del agua contaminada

En esta sección se exponen las concentraciones de los parámetros del agua, considerados en este estudio, que aporten información primaria para conocer su grado de contaminación. Empleando parámetros como: DQO, Nitratos y Fósforo total. En la tabla 12 se exhiben los valores para estos parámetros. Los valores fueron obtenidos con los métodos que dispone el Laboratorio de Contaminación Ambiental y Aguas Residuales del Centro de Investigación Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT)

Tabla 12: Resultados de: DQO, Nitratos, Fósforo total, pH y C.E

Corrida	Fecha de toma la muestra	Unidad	DQO	Nitratos	Fósforo total	pH	C.E.
1	20/01/2020	mg/l	756,0	0,72	253,0	7,47	1,39 μ S/cm
2	21/01/2020	mg/l	748,0	0,68	249,5	7,53	1,62 μ S/cm
3	22/01/2020	mg/l	808,0	0,54	421,5	7,27	1,09 μ S/cm
4	23/01/2020	mg/l	850,0	0,56	413,5	7,36	1,91 μ S/cm
5	24/01/2020	mg/l	718,0	0,80	416,0	7,43	1,79 μ S/cm
6	25/01/2020	mg/l	728,0	0,76	417,0	7,45	1,23 μ S/cm
7	28/01/2020	mg/l	786,0	0,52	317,5	7,55	1,56 μ S/cm
8	29/01/2020	mg/l	788,0	0,50	323,5	7,42	1,39 μ S/cm

Los datos de las distintas muestras presentan alta concentración para los parámetros DQO y Fósforo total. El Acuerdo Ministerial 061 basado en el TULSMA, Libro VI de Calidad Ambiental Anexo 1. Expresa que la calidad tolerable y sus criterios para la descarga en cuerpos de agua dulce deben cumplir un DQO 200 mg/l, y Fósforo total en 10 mg/l. Con la misma literatura se determina para el caso de la concentración de Nitratos, esta es baja, de igual forma para los parámetros pH para el caso de conductividad no aplica.

4.3 Evaluación los efectos del biochar de pino en el agua contaminada por actividades pecuarias

Alineado a la determinación de los efectos de biochar en el agua contaminada. Se exponen los resultados adquiridos en la experimentación en las tablas elaboradas en

base a la matriz factorial propuesta, para cada parámetro físico químico analizado y de acuerdo a esta se presenta los resultados de los componentes a evaluar.

4.3.1. DQO

En la tabla 13 se presentan los datos para DQO obtenidos en la cuantificación por medio del espectrofotómetro ultra violeta (UV). Cabe recalcar que existe remoción de materia orgánica en el agua contaminada por actividades pecuarias en un rango que va desde un 9 hasta un 47 %, utilizando biochar de pino (*Pinus patula*), considerando a la concentración de biochar y las revoluciones por minuto en su mínimo nivel, así como el tiempo de contacto en su máximo nivel como factores determinantes para remoción de esta variable.

Tabla 13: Porcentaje de remoción en DQO

Experimentos Corridas	Concentración de Biochar mg/ml	Tiempo de contacto horas	Revoluciones por minuto Rpm	Repeticiones	DQO (Remoción) %
1	1,5	3,6	120	1	20,61
				2	19,81
				3	18,22
				4	17,95
2	10	3,6	120	1	9,57
				2	10,11
				3	7,85
				4	7,45
3	1,5	5	120	1	46,14
				2	48,01
				3	47,54
				4	48,71
4	10	5	120	1	33,26
				2	36,30
				3	32,55
				4	36,77
5	1,5	3,6	160	1	16,32
				2	16,04
				3	16,87
				4	17,70
6	10	3,6	160	1	30,15
				2	29,60
				3	28,35
				4	28,08
7	1,5	5	160	1	43,88
				2	45,75
				3	43,88
				4	43,70
8	10	5	160	1	47,38
				2	45,17
				3	44,25
				4	45,72

a) Datos de DQO y análisis de varianza

Para el análisis estadístico se realizó el ANOVA con todos los efectos experimentales por medio de la herramienta informática R Studio, como se observa en la imagen 1, donde se observa el resumen de estimación de todos los efectos de la experimentación: tres efectos principales CB, TC, rpm; tres interacciones dobles CB-TC, CB-rpm, TC-rpm y una interacción triple CB-TC-rpm, y constatar la validez de cada uno de ellos mediante suma de cuadrados, cuadrado medio, prueba de F y p (<0.05) siendo significativos en todos los casos.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Valor P
CB	1	46	46	28,27	$1,87e^{-05}$
TC	1	4858	4858	2954,67	$<2e^{-16}$
rpm	1	325	325	197,70	$4,40e^{-13}$
CB:TC	1	90	90	55,02	$1,17e^{-07}$
CB:rpm	1	682	682	414,72	$<2e^{-16}$
TC:rpm	1	53	53	32,15	$7,71e^{-06}$
CB:TC:rpm	1	36	36	21,97	$9,19e^{-05}$
Residual	24	39	2		

Imagen 1: ANOVA de estimación de los efectos del biochar en el agua contaminada por actividades pecuaria para DQO

Con los resultados significativos obtenidos, resulta conveniente realizar un cálculo de efectos, y así determinar el grado de intervención dentro del experimento planteado, según los porcentajes de contribución.

b) Análisis de los de efectos DQO

La tabla 14 indica los valores tanto de la estimación del efecto de las variables, la suma de cuadrados y la contribución porcentual de las interacciones obtenidos a partir de los cálculos de estimación de los efectos y contrastes del parámetro de DQO.

El contraste es la suma de los totales de la columna de cada factor la misma se ocupa para el cálculo de los efectos principales es la suma de los totales divididos para $(4*n)$ donde n representa el número de repeticiones que contiene cada corrida del experimento. Para los contrastes y efectos de interacciones dobles se multiplican los signos de los efectos principales CB y TC y se obtiene los signos para CB-TC luego se realiza divide para $(4*n)$ y así se hace para cada una de las interacciones dobles

correspondientes. Siguiendo el mismo procedimiento se hace en la interacción triple promedio que resulte de CB-TC-rpm.

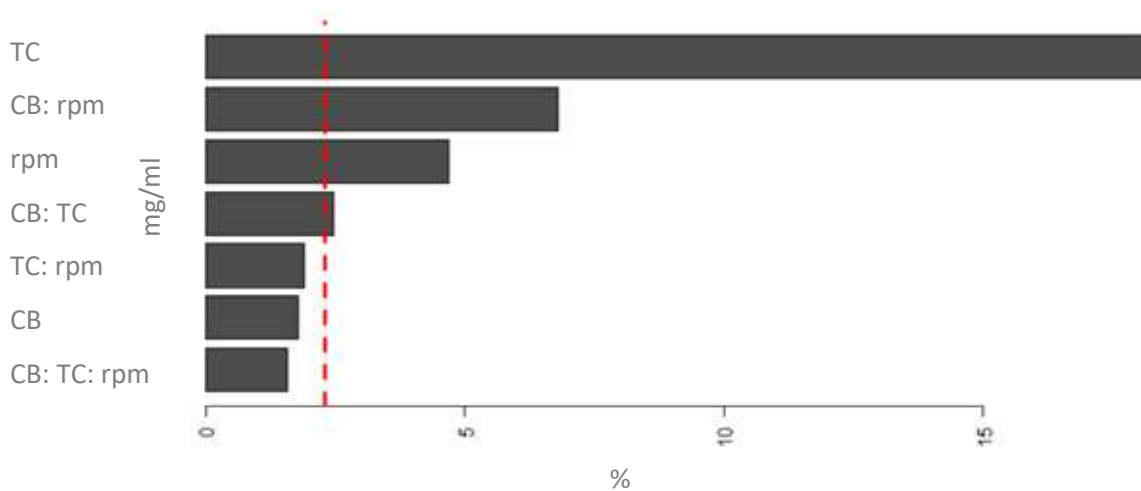
En la suma de cuadrados representa la descomposición de la variabilidad del experimento en todos los factores con sus efectos e interacciones. Se calcula con facilidad, ya que cada efecto tiene un contraste correspondiente, la suma de cuadrados de cualquier efecto es el contraste elevado al cuadrado dividido para $(8 \cdot n)$.

En el error de la suma de cuadrados se calcula mediante la sustracción de la suma de cuadrados de cada uno de los efectos y la del total. Mientras que para la suma total de cuadrados se mediante una ecuación establecida por (Gutierrez y Roman, 2015).

Tabla 14: Cálculo de efectos de la variable DQO

Factor	Estimación del Efecto	Sumad de Cuadrados	Contribución Porcentual
CB	-2,41	46,48	0,76
TC	24,64	4858,18	79,25
Rpm	6,37	352,06	5,30
CB-TC	-3,36	90,47	1,48
CB-rpm	9,23	681,89	11,12
TC- rpm	-2,57	52,86	0,86
CB-TC-rpm	-2,13	36,13	0,59
Error puro		39,46	0,64
Total		6130,53	100,00

Es posible representar esquemáticamente la contribución de los factores con sus efectos principales e interacciones es mediante la gráfica 1 correspondiente a efectos estandarizados en el diagrama de Pareto.



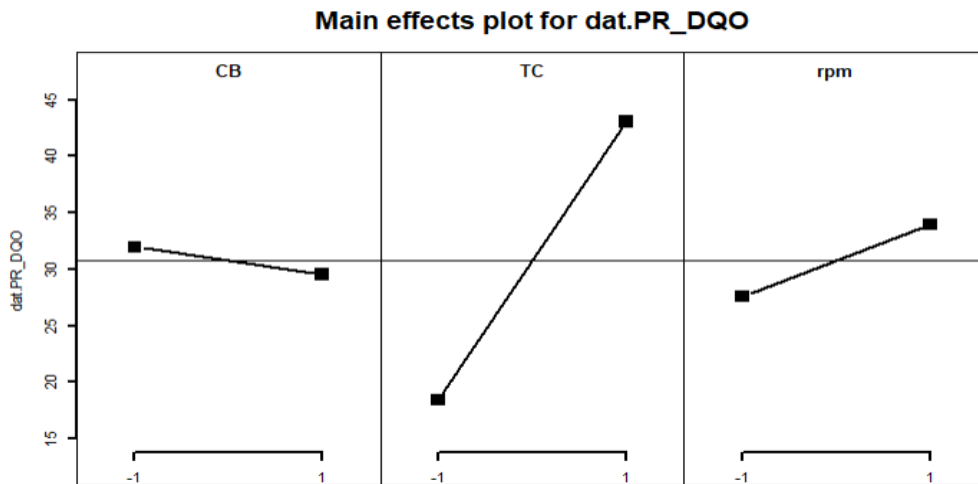
Gráfica 1: Diagrama de Pareto para la interacción de factores en la remoción de la variable DQO

El diagrama, muestra los efectos de los factores en la remoción de la variable DQO. Donde se destaca al valor absoluto de la experimentación (línea punteada color rojo) el cual permite definir la significancia de los efectos experimentales, cuando cada factor (sea principal, doble o de triple interacción) su valor porcentual exceda al 2,306 % (correspondiente al valor absoluto). La información obtenida de la gráfica uno así como la de la estimación del efecto en la tabla 14 permite destacar el caso del efecto principal tiempo de contacto TC en su valor máximo (5 horas) el cual posee un 79,25 % siendo mayor grado de significancia dentro del experimento, seguido de la interacción doble de efectos tales como concentración de biochar CB - revoluciones por minuto rpm en los valores máximos teniendo un 11,12 % no menos importante también el efecto principal rpm en su nivel máximo con un 5,30 %.

c) Análisis gráfico de los efectos en las interacciones (principales, dobles y triples) DQO

De acuerdo a la gráfica 2 se observan los comportamientos, en las interacciones principales, donde se define al efecto de cada factor en sus niveles, así se tiene: para el TC y rpm su efecto significativo en el nivel máximo (5 horas y 160 rpm respectivamente), mientras que para la CB el nivel mínimo (1,5 mg/ml).

GRÁFICA DE EFECTOS PRINCIPALES VARIABLE DQO

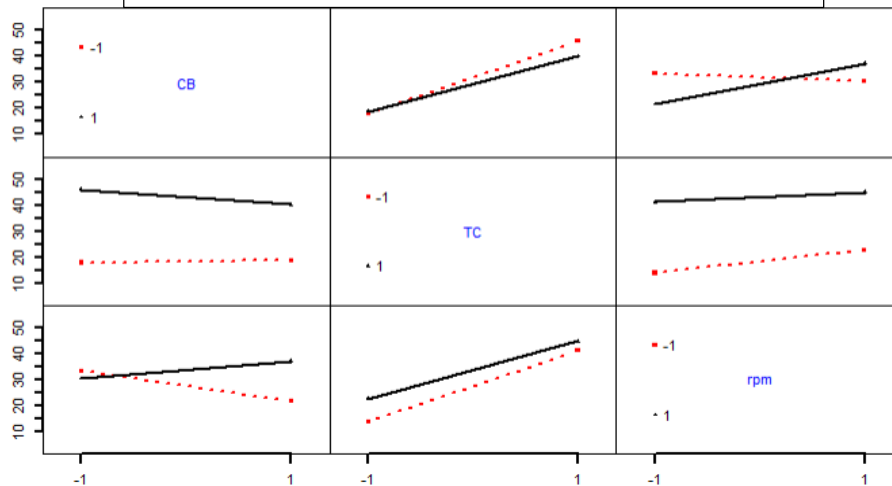


Gráfica 2: Representación de los efectos principales DQO

Los efectos de las interacciones dobles se observan en la gráfica 3, y para una mejor interpretación se recurre a la información presentada en el diagrama de Pareto. Donde se evidencia a aquellas interacciones dobles con una significancia experimental, las cuales son CB - rpm y CB -TC.

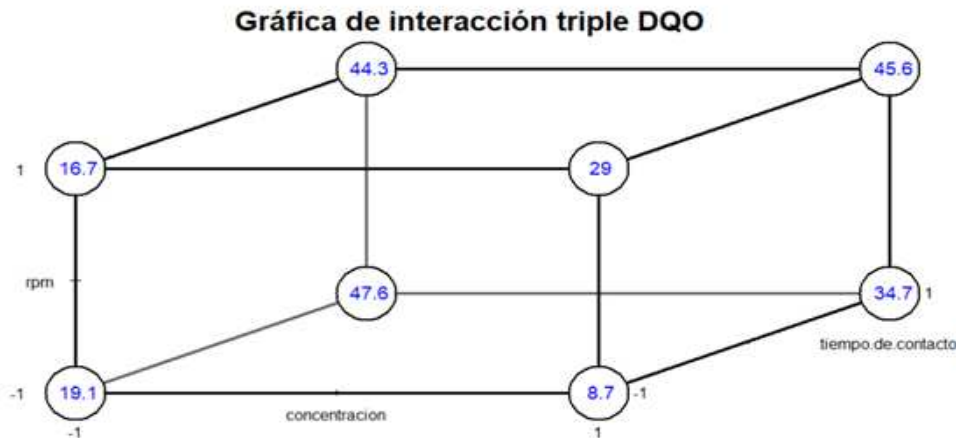
La interacción doble de CB - rpm, obedece a una experimentación significativa cuando la variable CB interviene en su valor mínimo (1,5 mg/ml) y rpm en su valor mínimo (120 rpm), cuando actúan en estas condiciones el efecto es significativo dentro del experimento. Igual para CB -TC se identifica que el valor CB actúa en su valor mínimo (1,5 mg/ml) y TC en su valor máximo (5 horas).

GRÁFICA DE INTERACCIONES DOBLE VARIABLE DQO



Gráfica 3: Efectos de las interacciones dobles de la variable DQO

La gráfica 4 de interacción triple sirve para confirmar al mejor resultado experimental en valor porcentual, identificando cada variable y sus valores máximos y mínimos. Donde se destaca el valor promedio de 47,6 % a la máxima remoción obtenida en el experimento definido, por las variables: CB (1,5 mg/ml) y rpm (120 rpm) en su mínimo nivel y TC (5 horas) en su máximo nivel.



Gráfica 4: Interacción triple de la variable DQO

El diseño experimental desarrollado en esta investigación constituyó una herramienta de fácil aplicación cuyos resultados obtenidos son confiables, según los autores (Artamónova, Fernandez, y Mosquera, 2010). También es importante destacar que este tipo de diseños experimentales son indispensables en las primeras etapas de la investigación, como la del presente documento propuesto. Donde la solución en el intervalo de los niveles elegidos (máximo y mínimo) de los variables a utilizar como mencionan (Álvarez-Gil *et al.*, 2018) son aproximadamente lineales.

El biochar de pino utilizado en este estudio, realiza la remoción DQO con un valor máximo del 47 % correspondiente a la corrida 3 en la experimentación. Comprobando la naturaleza adsorbente del biochar como lo afirman también (Huggins *et al.*, 2016) quienes establecieron un rango de remoción de DQO (8,5 al 30 %), al trabajar con biochar granular (madera). Valores similares fueron obtenidos por (Ramirez, 2018), en el estudio de la eficacia del biochar logrado a partir de residuos orgánicos municipales (tuza de maíz), cuya aplicabilidad fue evaluada la remoción de materia orgánica en el agua residual obteniendo una remoción efectiva del 25 % en valor de DQO.

4.3.2. Nitratos

Para evaluar la remoción del contenido de Nitratos en aguas contaminadas por actividades pecuarias. Se exponen los resultados obtenidos de la misma forma que en

la discusión anteriormente expuesta en la variable de la DQO en la remoción de este contaminante.

En la tabla 15 se presentan los valores para Nitratos obtenidos mediante la cuantificación empleando el espectrofotómetro UV. Existiendo una remoción en su contenido presente en el agua contaminada por actividades pecuarias en un rango que va desde un 31 hasta un 52 %, bajo las mismas condiciones experimentales expuestas para DQO.

Tabla 15: Porcentaje de remoción en Nitrato

Corridas Experimentos	Concentración de Biochar mg/ml	Tiempo de contacto horas	Revoluciones por minuto rpm	Repeticiones	Nitratos (Remoción) %
1	1,5	3,6	120	1	48,57
				2	50,00
				3	52,86
				4	52,86
2	10	3,6	120	1	52,48
				2	51,43
				3	52,18
				4	51,43
3	1,5	5	120	1	32,73
				2	30,91
				3	34,55
				4	34,55
4	10	5	120	1	32,73
				2	32,81
				3	30,91
				4	29,09
5	1,5	3,6	160	1	38,46
				2	39,74
				3	41,03
				4	42,31
6	10	3,6	160	1	42,31
				2	41,03
				3	38,46
				4	37,18
7	1,5	5	160	1	49,02
				2	49,02
				3	50,98
				4	49,02
8	10	5	160	1	49,02
				2	47,06
				3	31,98
				4	47,06

a) Análisis de varianza de los datos de Nitratos

El análisis estadístico se resume en la Imagen 2. Donde se observa al efecto principal TC, la interacción doble TC-rpm como significativos, frente a los otros efectos que no lo son para este parámetro estudiado.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Valor P
CB	1	27,8	27,8	2,673	0,115
TC	1	315,7	315,7	30,378	1,14e ⁻⁰⁵
rpm	1	18,0	18,0	1,728	0,201
CB:TC	1	28,9	28,9	2,779	0,109
CB:rpm	1	14,0	14,0	1,346	0,257
TC:rpm	1	1323,6	1323,6	127,355	4,41e ⁻¹¹
CB:TC:rpm	1	3,3	3,3	0,320	0,577
Residual	24	249,4	10,4		

Imagen 2: ANOVA de estimación de los efectos del biochar en el agua contaminada por actividades pecuaria para Nitratos

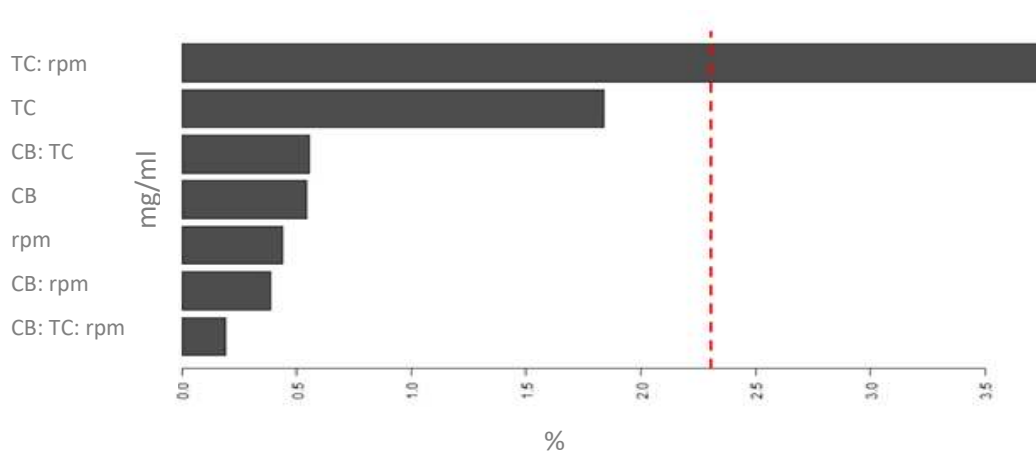
b) Análisis de cálculos de efectos Nitratos

La tabla 16 con los parámetros mostrados (estimación del efecto de las variables, suma de cuadrados y la contribución porcentual) sirve como base para la estimación de la influencia de los factores analizados conjuntamente con el Diagrama de Pareto.

Tabla 16: Cálculo de efectos de la variable Nitratos

Factor	Estimación del Efecto	Suma de Cuadrados	Contribución Porcentual
CB	-1,86	27,77	1,40
TC	-6,28	315,73	15,94
Rpm	1,49	17,96	0,91
CB-TC	-1,90	28,88	1,46
CB-rpm	-1,32	13,99	0,71
TC- rpm	12,86	1323,61	66,83
CB-TC-rpm	-0,64	3,32	0,17
Error puro		249,43	12,59
Total		1980,70	100,00

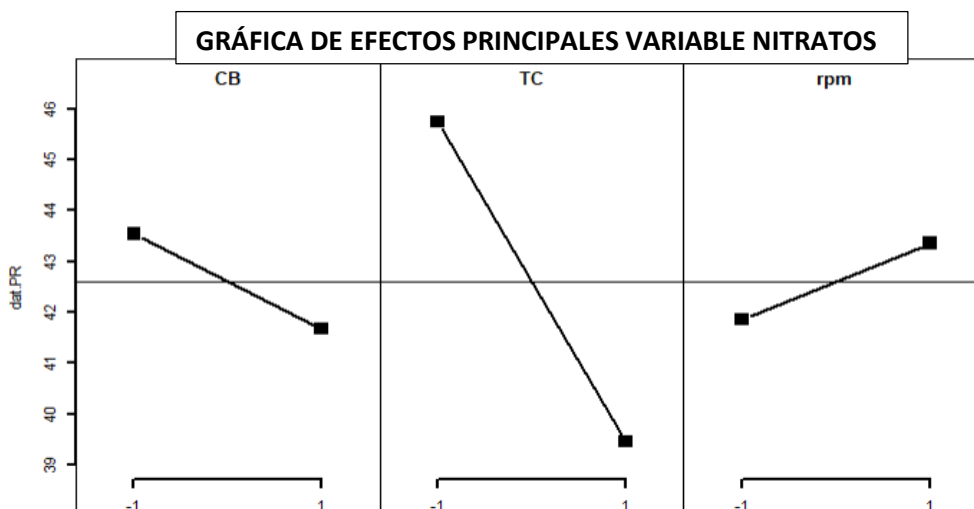
El gráfico 5 muestra después de excluir los efectos principales y el de interacción triple los cuales no son significativos frente al valor absoluto, a la experimentación donde la interacción doble en TC-rpm posee un 66,83 % representando el mayor grado de significancia sobre el experimento en la remoción de la variable Nitratos.



Gráfica 5: Diagrama de Pareto para la interacción de factores en la remoción de la variable Nitratos

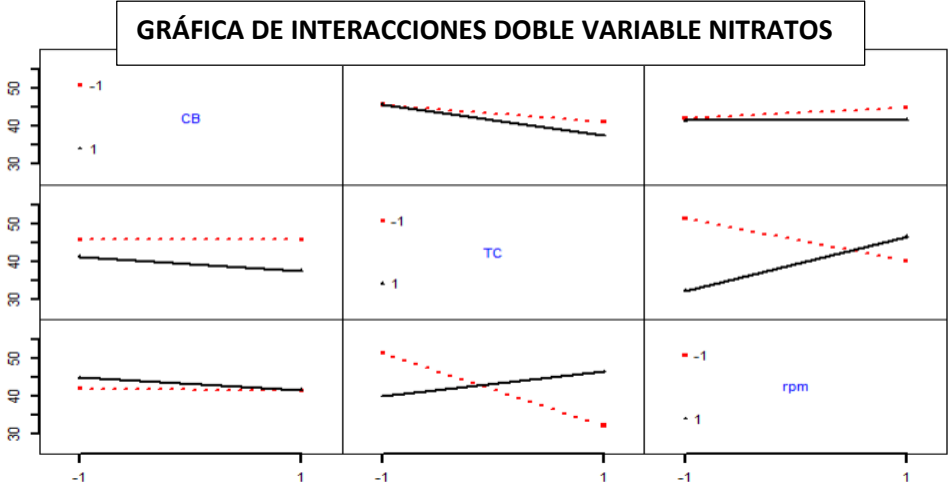
c) Análisis gráfico de los efectos en las interacciones (principales, dobles y triples) Nitratos.

En la gráfica 6 se observan los comportamientos, en las interacciones principales, donde se define al efecto de cada factor en sus niveles, así se tiene: para el CB y TC su efecto significativo en el nivel máximo (1,5 mg/ml y 5 horas respectivamente), mientras que para los rpm el nivel mínimo (160 rpm).



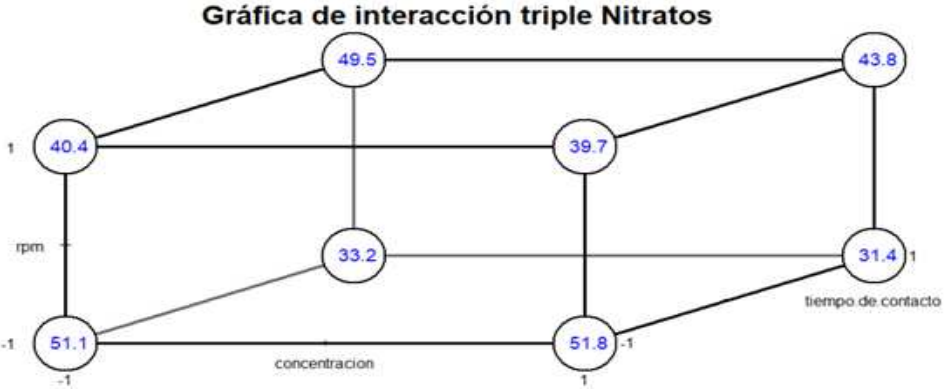
Gráfica 6: Representación de los efectos principales Nitratos

Los efectos de las interacciones dobles se observan en la gráfica 7. Siendo la interacción doble significativa, cuando actúa el nivel mínimo (3,6 horas) para TC y un nivel máximo (160 rpm) en rpm en la remoción de Nitratos.



Gráfica 7: Efectos de las interacciones dobles de la variable Nitratos

La interacción triple se observa en la gráfica 8, aquí se identifica al valor de 51,8 % como promedio del máximo de remoción para Nitratos de todas las experimentaciones, correspondiendo este valor a la corrida número dos, con los niveles mínimos en TC (3,6 horas) y de agitación constante (120 rpm) y con un nivel máximo en CB (10 mg/ml).



Gráfica 8: Interacción triple de la variable Nitratos

La remoción de Nitrato también fue demostrada por (Marrero *et al.*, 2019) quienes utilizaron un tiempo de contacto de 3,6 horas, una dosis de adsorción de 1,5 mg/ml y durante la agitación constante de 150 rpm y lo removieron en un 57 % al utilizar biochar de caña de azúcar. Una definición similar de variables fue planteada por (Chintala *et al.*, 2013) donde la remoción para Nitrato es del 57 % en madera de pino ponderosa residual para biochar no activado mientras que para el biochar activado es menor la adsorción

de este contaminante esto se debe a su mayor área superficial. Demostrando así la correcta definición de variables en el estudio de biochar de pino presentado.

4.3.3. Fósforo total

En la tabla 17 se encuentran los datos obtenidos en la cuantificación por medio del espectrofotómetro UV. Donde se establece el porcentaje de remoción en la variable de Fósforo total presente en el agua contaminada. Evidenciándose la eliminación de este parámetro en un intervalo comprendido entre el 17 hasta el 32 % de acuerdo la matriz experimental propuesta para esta investigación, bajo las mismas condiciones experimentales expuestas para DQO.

Tabla 17: Porcentaje de remoción en Fósforo total

Corridas Experimentos	Concentración de Biochar mg/ml	Tiempo de contacto horas	Revoluciones por minuto Rpm	Repeticiones	Fosfatos (Remoción) %
1	1,5	3,6	120	1	17,61
				2	18,81
				3	22,79
				4	21,00
2	10	3,6	120	1	18,21
				2	18,01
				3	16,62
				4	15,82
3	1,5	5	120	1	28,74
				2	29,7
				3	32,93
				4	31,62
4	10	5	120	1	33,65
				2	31,81
				3	31,68
				4	32,93
5	1,5	3,6	160	1	25,45
				2	25,93
				3	24,49
				4	25,21
6	10	3,6	160	1	27,49
				2	28,45
				3	29,05
				4	28,57
7	1,5	5	160	1	29,64
				2	31,83
				3	29,17
				4	31,2
8	10	5	160	1	29,33
				2	30,58
				3	31,98
				4	29,95

a) Análisis de varianza de los datos de Fósforo Total

Después de aplicar un modelo completo factorial 2³ en la imagen 3 se obtiene el ANOVA de la variable de Fosfato. Donde las significancias para el experimento son: los efectos principales TC y rpm, interacción doble TC - rpm y CB - rpm y la interacción triple CB-TC-rpm frente a los otros efectos que son no significativos para este parámetro.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Valor P
CB	1	2,6	2,6	1,477	0,236065
TC	1	564,7	564,7	314,939	2,65e ⁻¹⁵
rpm	1	95,3	95,3	53,140	1,57e ⁻⁰⁷
CB:TC	1	1,7	1,7	0,934	0,343470
CB:rpm	1	7,8	7,8	4,331	0,048275
TC:rpm	1	182,2	182,2	101,614	4,20e ⁻¹⁰
CB:TC:rpm	1	32,6	32,6	18,171	0.00271
Residual	24	43,0	1,8		

Imagen 3: ANOVA de estimación de los efectos del biochar en el agua contaminada por actividades pecuaria para Fósforo total

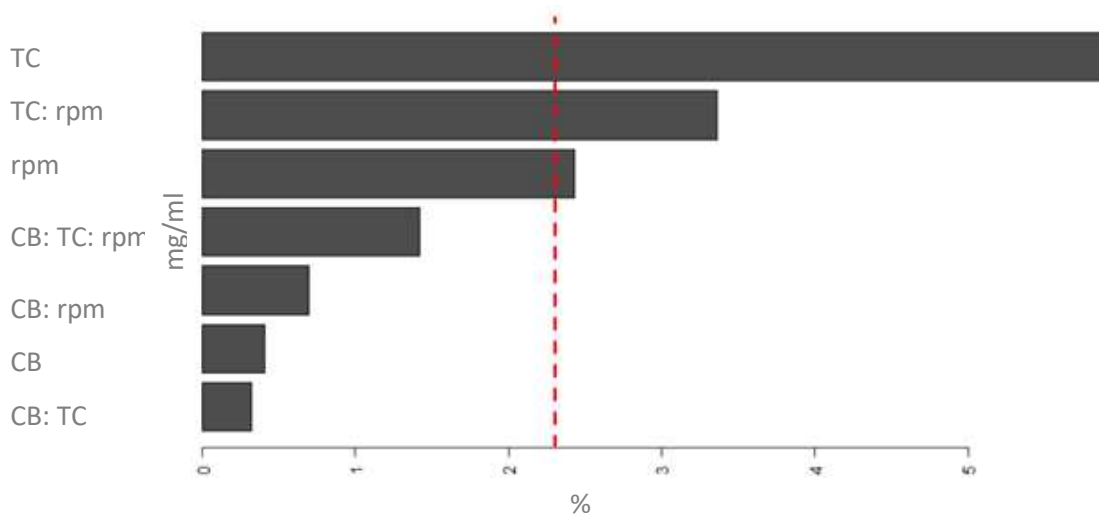
b) Análisis de cálculo de efectos Fósforo total

La tabla 18 ilustra los valores tanto de la estimación del efecto de las interacciones, suma de cuadrados y la contribución porcentual de Fósforo total. Se repitió el mismo procedimiento de la variable DQO.

Tabla 18: Cálculo de efectos de la variable Fósforo total

Factor	Estimación del Efecto	Suma de Cuadrados	Contribución Porcentual
CB	0,58	2,65	0,28
TC	8,40	564,75	60,73
rpm	3,45	95,29	10,25
CB-TC	0,46	1,67	0,18
CB-rpm	0,99	7,77	0,84
TC- rpm	-4,77	182,21	19,59
CB-TC-rpm	-2,02	32,58	3,50
Error puro		43,04	4,63
Total		929,96	100,00

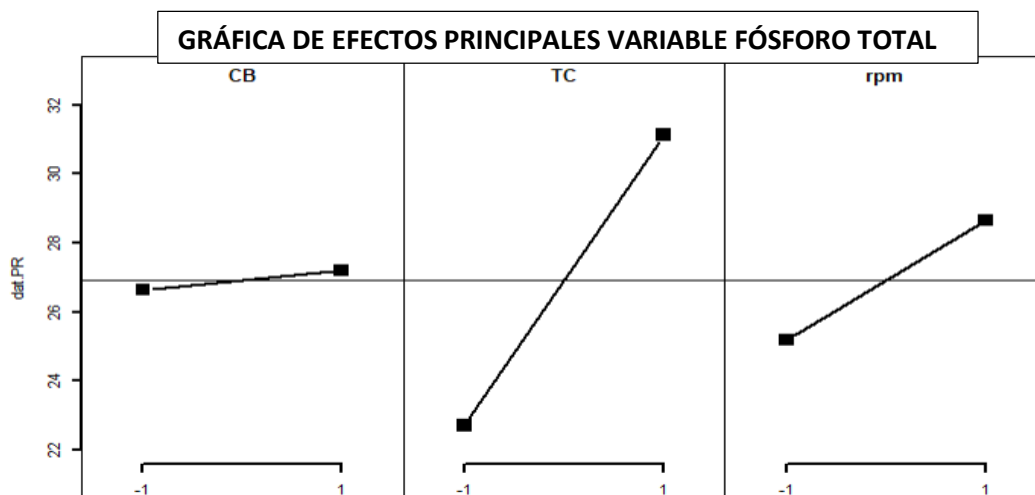
El aporte gráfico de la representación de la contribución de los factores con sus efectos principales e interacciones se observa en la gráfica 9 del diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Donde los resultados muestran a los efectos principales (TC y rpm) y la interacción doble (TC-rpm) como significativos frente al valor absoluto.



Gráfica 9: Diagrama de Pareto para la interacción de factores en la remoción de la variable Fosfatos

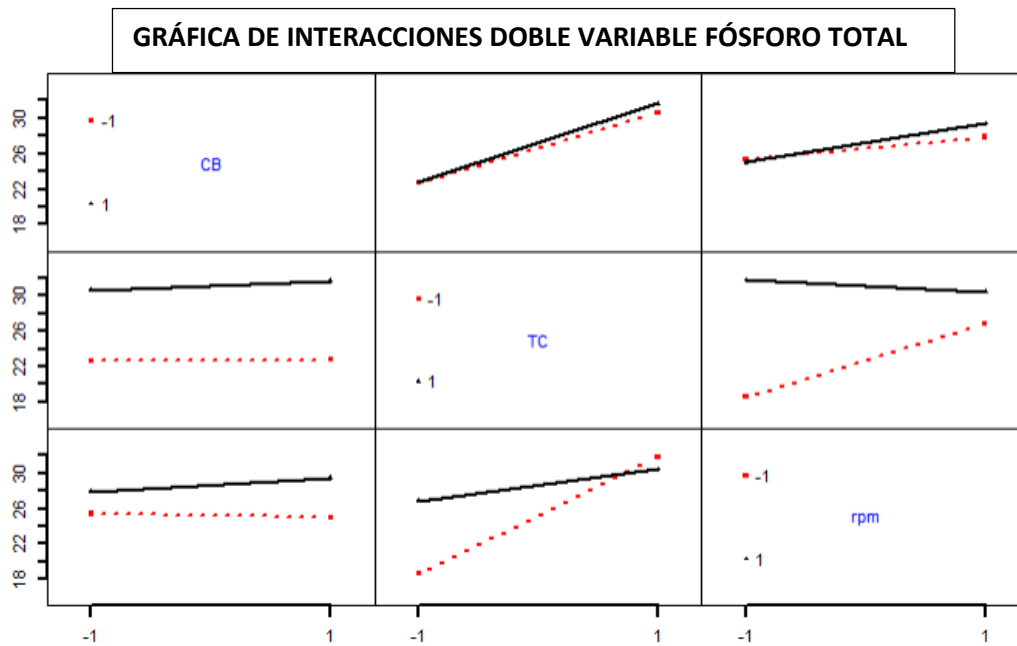
c) Análisis gráfico de los efectos en las interacciones (principales, dobles y triples) Fósforo Total

En la gráfica 10. Se determina la significancia entre los efectos principales de acuerdo a sus niveles. Estableciendo su relevancia experimental cuando todos intervienen en sus valores máximos, (CB (10 mg/ml), TC (5 horas) y rpm (160 rpm)), en la remoción de Fósforo total el agua contaminada por actividades pecuarias.



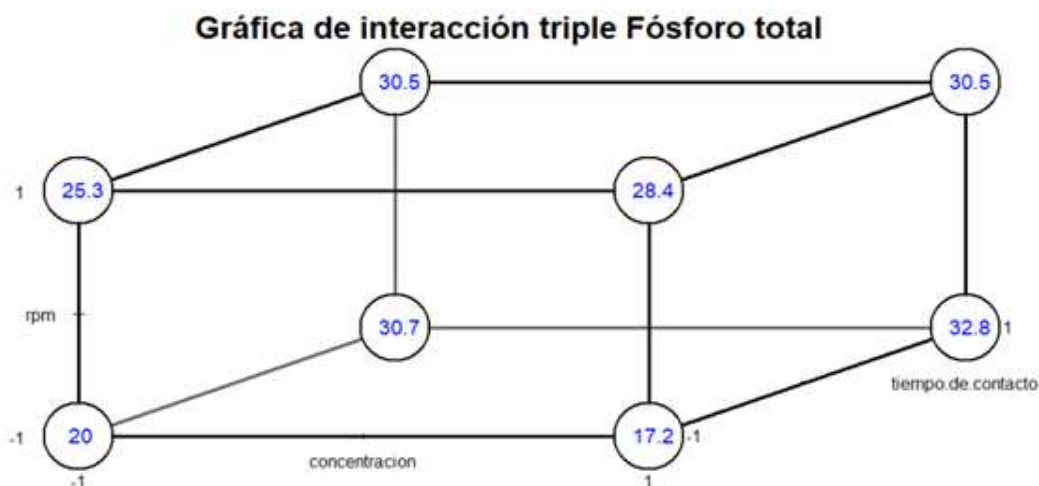
Gráfica 10: Representación de los efectos principales Fosfatos

Los efectos de las interacciones dobles se observan en la gráfica 11. Donde la interacción significativa está presente cuando el TC actúe en su máximo nivel y rpm en su mínimo para la remoción de Fósforo total.



Gráfica 11: Efectos de las interacciones dobles de la variable Fosfatos

Para una interpretación adecuada del mejor porcentaje de remoción para el parámetro de Fósforo total basta con observar la gráfica 12 la cual representa la interacción triple, donde es posible apreciar al valor de 32,8 % definido bajo la corrida experimental 4 definida para los factores definidos en sus niveles de la siguiente forma: TC y CB en el máximo (5 horas y 10 mg/ml respectivamente), y rpm en su mínimo (120 rpm).



Gráfica 12: Interacción triple de la variable Fosfatos

Estudios hasta la presente fecha demuestran la remoción del parámetro Fósforo Total debido a la propiedad adsorbente del biochar, alineados a condiciones similares de experimentación como un tiempo de contacto de 3,6 horas, y 150 rpm de agitación, se obtuvo una remoción un 94,6 % (Marrero *et al.*, 2019). Adicionalmente (Cui *et al.*, 2016) establecieron mediante una experimentación controlada de 24 horas, que la adsorción del Fósforo Total por parte del biochar comienza a las dos horas evidenciando la correcta definición de la variable tiempo para este fin.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

- La producción de biochar de pino (*Pinus patula*), es una alternativa beneficiosa para el ambiente puesto que permite el uso de material residual (ramas) de la explotación de este material en el cantón Pucará, mediante un horno artesanal de pirólisis rápida, obteniendo un rendimiento promedio de 31,5 %. Estableciendo así la posibilidad de obtener este producto por medio de esta técnica y su aplicación en procesos de biorremediación.
- Se evaluó exitosamente las características físico-químicas del biochar de pino, cuya composición es rica en micronutrientes, y con los parámetros como pH, C.E. definiendo así de forma general al producto obtenido como biochar por la similitud de los valores de estos componentes con productos obtenidos a partir de biomásas similares. Esta composición permite conocer la imposibilidad del aporte de componentes que perjudiquen el posterior en el tratamiento de agua.
- El análisis del agua producto de las actividades pecuarias del cantón Pucará permitió determinar primariamente el incumplimiento en los límites de descarga para parámetros tales como DQO y Fósforo Total en las muestras recolectadas, adicionalmente fue importante conocer el contenido de los parámetros a ser removidos para así determinar el porcentaje de remoción de los contaminantes al aplicar el biochar obtenido en el agua caracterizada.
- La aplicación del biochar de pino en agua contaminada fue posible. Esto por la naturaleza del biochar en relación a su propiedad adsorbente de los contaminantes presentes en estas actividades pecuarias con fines de mitigación. Evidenciándose la remoción de estos, así como la determinación de su valor porcentual que cada uno posee en tratamientos particulares teniendo así:
- Para el caso de DQO se concluye que el biochar realiza la remoción y esta puede ser considerable siempre y cuando se trabaje de acuerdo a la interacción de las variables que experimentalmente maximizaron la remoción siendo estas: CB (1,5 mg/ml) y rpm (120 rpm) en su mínimo nivel y TC (5 horas) en su máximo nivel, considerando su valor promedio de las cuatro réplicas siendo esta del 47,6 %, de acuerdo al análisis estadístico espacial.
- En el caso de nitratos se removió el 52,82 % con los niveles mínimos en TC (3,6 horas), y agitación constante (120 rpm) y con un nivel máximo en CB (10 mg/ml), de acuerdo al análisis de interacción triple de las variables que nos provee el

resultado promedio de las cuatro réplicas obtenidas en el diseño experimental de cada corrida.

- Para la variable de Fósforo total se concluye que el biochar realiza la remoción y esta puede con los factores definidos en sus niveles de la siguiente forma: TC y CB en el máximo (5 horas y 10 mg/ml respectivamente), y rpm en su mínimo (120 rpm), considerando su valor promedio de las cuatro réplicas siendo esta del 32,8 %, de acuerdo a los análisis descritos anteriormente.
- Mediante el diseño experimental fue posible condensar el tratamiento a uno solo proceso para facilitar la información, y de acuerdo a los resultados alcanzados en la experimentación, la corrida siete nos indica los valores para una remoción de DQO, Nitratos y Fósforo total obtiene los siguientes valores 44,3 %, 49,5 % y 30,5 % respectivamente con el procedimiento que combina a los factores con un nivel mínimo para CB (1,5 mg/ml), y con un máximo nivel para TC y rpm (5 horas y 160 rpm respectivamente).

CAPÍTULO IV

6. RECOMENDACIONES

- Para mejorar la producción del biochar se recomienda contar con un horno pirolítico que permita manipular condiciones para así extender las áreas de aplicación e investigación del mismo, así como mejorar el rendimiento esto será posible al modificar las condiciones de obtención del proceso, con el trabajo combinado en el laboratorio para controlar la temperatura, humedad del ambiente y así analizar opciones en la optimización del rendimiento de producción.
- Investigaciones futuras deberán considerar este estudio como referencia en la remoción de otros contaminantes mediante la aplicación de biochar para el agua contaminada, esto se podría hacer modificando las variables: concentración de biochar, tiempo de contacto y las revoluciones por minuto, así mejorando y optimizando la experimentación, o el mismo tratamiento para otros compuestos presentes. De igual forma una propuesta adicional sería el planteamiento de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales de las actividades pecuarias y considerar la eficiencia en el uso del biochar dentro de la misma y como resultado final analizar el cumplimiento de la normativa previa descarga.
- Los resultados obtenidos se basan en la capacidad de adsorción del biochar en los contaminantes como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitratos y Fosfatos se recomienda la extensión de los mismos para la eliminación de otros contaminantes, mediante la aplicación del biochar para la remediación en un medio físico: agua (tratamiento de aguas naturales y residuales), suelo (germinación) y aire (filtros), en equipos para tratamiento de los componentes abióticos.

Bibliografía

- Abenza, D. P. (junio de 2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta*. Obtenido de Memoria del Proyecto de fin de carrera en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Barcelona. 111 pág.
- Abril, A., y Navarro, E. A. (2012). *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Enrique_Navarro/publication/241216642_Etanol_a_partir_de_biomasa_lignocelulosica/links/0c96051c8409028b93000000/Etanol-a-partir-de-biomasa-lignocelulosica.pdf
- AGRO WASTE. (2011). *Pirólisis*. Centro Tecnológico Nacional de la Coserva y Alimentación.
- Agudelo-Londoño, P. A., Rivera-Caycedo, J. E., Bernal-Vera, M. E., y Castaño-Ramírez, E. (2012). *Caracterización del riesgo de contaminación por actividades pecuarias en el río Molinos, Villamaría (Caldas, Colombia)*. Obtenido de <http://vip.ucaldas.edu.co/vetzootec/downloads/v6n2a05.pdf>
- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., . . . Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and. *Chemosphere*, 99,19-33.
- Álvarez-Gil, L., Guerra-Sandoval, J., y Rojas-Reyes, N. (2018). Diseño factorial 2k aplicado a la caracterización reológica de suspensiones de caolín. *Prospectiva*, Vol 16, 1, 18-25.
- Amaya, P., y Villegas, B. (2017). *Evaluación de la producción de hojarasca y del contenido de nutrientes en su fracción dominante enpino (Pinus patula) y aliso (Alnus acuminata) EN EL SUR DEL ECUADOR* . Obtenido de Universidad de Cuenca: http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27286/3/Tesis_Amaya_Villegas.pdf
- Angin , D., y Sensoz, S. (2011). Caracterización of bio-chars obtained at static and nitrogen atmosphere. . *International Advanced Technologies Symposiym*, 191-193.
- Arévalo, D. (2019). *Obtención de biochar a partir de la biomasa de podas forestales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca*. Obtenido de UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.
- Artamónova, I., Fernandez, S., y Mosquera, J. D. (2010). Análisis del rendimiento de los estudiantes aplicando diseño de experimentos: caso particular . *Scientia Et Technica*, 44, 78-83.
- Azcona, Á. C., y Fernández, M. G. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. *Vaquero y Toxqui*, 33-45.
- Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Gomez-Eyles, J. L., Harris, E., Robinson, B., y Sizmur, T. (2011). A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental Pollution*, 159, 3269–3282.

- Blázquez, M. (2012). *Los residuos agrícolas y de origen animal*. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/educacion_ambiental/EducamlV/publicaciones/rua15.pdf.
- Bridgwater, A., Meier, D., y Radlein, D. (1999). An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic Geochemistry*, 1479-1493.
- Caltec. (2015). *nuevaferia*. Obtenido de nuevaferia: <https://www.nuevaferia.com.ar/m-p.asp?n=Hornos-incineradores-piroliticosyi=11450>
- Carrillo, C., Ruiz, M., Arvelo, C., y Escalona, J. (2002). *ánalisis de fósforo soluble en agua en fertilizantes*. Yaracuy: Universidad Central de Venezuela.
- Catherine E. Brewer, Y.-Y. H.-R. (2012). Extent of Pyrolysis Impacts on Fast Pyrolysis Biochar Properties. *Environmental Quality*, 41(4), 1115.
- Chan, K., y Xu, Z. (2009). Biochar: Nutrient properties and their enhancement. *Science and technology*.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Papiernik, S. K., Malo, D. D., Clay, D. E., . . . Gulbrandson, D. W. (2013). Nitrate sorption and desorption in biochars from fast pyrolysis. *Microporous and Mesoporous Materials*, 250-257.
- Chuquimboques Marrero, J., Vergara Rojas, J., y Mendoza Bobadilla, J. (2019). Optimización de la remoción simultánea de nitrato, nitrito, amonio y fosfato de aguas residuales municipales. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85-96.
- Cobuloglu, H. I., y Büyüktaktın, I. E. (2015). A stochastic multi-criteria decision analysis for sustainable biomass crop selection. *Expert Systems with Applications*, 45(15-16), 6065-6074.
- Creamer, A. E., Gao, B., y Wang, S. (2016). Carbon dioxide capture using various metal oxyhydroxide–biochar composites. *Chemical Engineering Journal*, 283, 826 – 832.
- Cui, X., Dai, X., Khan, K. Y., Li, T., Yang, X., y He, Z. (2016). Removal of phosphate from aqueous solution using magnesiumalginate/chitosan modified biochar microspheres derived from *Thalia dealbata*. *Bioresource Technology*, 1123-1132.
- Cumbre Pueblos. (2020). *Contaminación del agua: Qué es, causas, consecuencias y soluciones*. <https://cumbrepuebloscop20.org/medio-ambiente/contaminacion/agua/>.
- Díaz, C. (2017). *Uso de biochar de acícula de pino (Pinus Patula) como emienda del suelo negro antino (Andosol)*. Universidad del Azuay.
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., y Etchevers, J. D. (2015). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 367-382. Recuperado el 10 de 5 de 2019, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Escobar, B. (2018). *Optimizar la producción de biogás a partir de residuos pecuarios, empleando la glicerina como subproducto de la obtención de biodiesel*. Obtenido de https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29726/1/Trabajo_de_titulaci_C_B_n.pdf

- FAO, O. d. (2008). *Factores determinados en su cosecha y transporte*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/X5328S/X5328S04.htm#s>
- Férez , Y., Martínèz , M., y Valdés, R. (2014). *Construcción de una planta de producción de biochar a partir de purines*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado el 16 de 5 de 2019, de <http://www.upct.es/~orientap/agrolola/biochar.pdf>
- Fuentes, R. M., Ramos, J. A., Jiménez, M., y Esparza, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. *Int. Contam. Ambie*, 31 (3) 253-264.
- García, E. (2014). Determinación pH y acidez . *SCRIBD*, 1-15.
- García, R. (2017). *Determinación potenciométrica del pH*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/RobertoGarcia/-medicin-del-ph>
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pucará. (2016). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Pucará*.
- Guerra, P. (2015). Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía peruana. *Tesis de grado - Universidad Nacional Agraria La Molina*. Lima-Perú: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1895/Q70.G84-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Guerra, P. (2015). *Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Gutiérrez, H., y Roman, S. (2015). En *Análisis y diseño de experimentos* (págs. 166-220). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.
- Hafshejani, L. D., Hooshmanda, A., Naseri, A. A., Mohammadi, A. S., Abbasi, F., y Bhatnagar, A. (2016). Removal of nitrate from aqueous solution by modified sugarcane bagasse biochar. *Ecological Engineering*, 101-111.
- Hina, K., Hedley, M., Camps-Arbestain, M., y Hanly, J. (2015). Comparison of Pine Bark, Biochar and Zeolite as Sorbents for NH₄. *Clean - Soil, Air, Water*, 86-91.
- Holm, T. R., Bennett, J., Blakesley, R., Gleichauf, G. K., Jagessar, P. K., Lipps, W. C., . . . Woodall, M. A. (2018). *Nitrogen (Nitrate) 4500-NO₃* . <https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.089>.
- Huggins, T. M., Haeger, A., Biffinger, J. C., y Ren, Z. J. (2016). Granular Biochar Compared with Activated Carbon for Wastewater Treatment and Resource Recovery. *Water Research*, 94, 225-232.
- 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.
- INEC. (2019). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continuara*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Boletin_tecnico.pdf.

- Jaafar, N. M., Clode, P. L., y Abbott, L. K. (2015). Soil Microbial Responses to Biochars Varying in Particle Size, surface and Pore Properties. *Pedosphere*, 25(5), 770-780.
- Kalaruban, M., Loganathan, P., Shim, W., Kandasamy, J., Naidu, G., Nguyen, T. V., y Vigneswaran, S. (2016). Removing nitrate from water using iron-modified Dowex 21K XLT ion exchange resin: Batch and fluidised-bed adsorption studies. *Separation and Purification Technology*, 158, 62-70.
- Kim, K. H., Kim, J.-Y., Cho, T.-S., y Choi, J. W. (2012). Influence of pyrolysis temperature on physicochemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (*Pinus rigida*). *Bioresource Technology*, 118, 158-162.
- Kindt, R., Dawson, I. K., y John, I. (2016). Documentation of the Agroforestry Species Switchboard web database (version 1.3 released 2016). *Agroforestry*, 1-5.
- Lehmann, J. (2007). A handful of carbon. *Natural*, 447, 143-144.
- Lehmann, J., y Joseph, S. (2015). *Biochar for Environmental Management: Science Technology and Implementation*.
- Li, J.-H., Lv, G.-H., Bai, W.-B., Liu, Q., Zhang, Y.-C., y Song, J.-Q. (2016a). Modification and use of biochar from wheat straw (*Triticum aestivum* L.) for nitrate and phosphate removal from water. *Desalination and Water Treatment*, 57, 4681-4693.
- Maia, C. M. (2011). *Biochar: uma nova ferramenta no manejo de solos*. Obtenido de <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/860706/1/SP5616.pdf>
- Marrero, J. C., Rojas, J. V., y Bobadilla, J. M. (2019). Optimization simultaneous removal of nitrate, nitrite, ammonium and phosphate in sewage. *Sociedad Química del Perú*, 85(1), 85-96.
- Martínez, J. (2016). *Nitrógeno y fósforo, vida y muerte de un ecosistema*. <http://www.i-ambiente.es/?q=blogs/nitrogeno-y-fosforo-vida-y-muerte-de-un-ecosistema>.
- McElligott, K., Page-Dumroese, D., y Coleman, M. (2011). Bioenergy Production Systems and Biochar Application in Forests: Potential for Renewable Energy, Soil Enhancement, and Carbon Sequestration. *Rocky Mountain Research Station-Research*, 46, 1-14.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2013). *Informe sobre los recursos zoogenéticos Ecuador*.
- Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y. S., y Pittman Jr, C. U. (2014c). Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent—A critical review. *Bioresource Technology*, 160, 191-202.
- Moreno-Barriga, F., Díaz, V., Acosta, J., Faz, A., y Zornoza, R. (2015). Influencia de la temperatura y del tiempo de pirólisis en la hidrofobicidad de biocarbón obtenido a partir de purín porcino. *Anuario de Jóvenes Investigadores*, 18-20.
- N.Yargicoglu, E., Sadasivam, B. Y., R.Reddy, K., y Spokas, K. (2015). Physical and chemical characterization of waste wood derived biochars. *Science Direct*, 256-268.

- Nava, B. (2012). *13er. Congreso Nacional de Investigación Socioeconómica y Ambiental de la Producción Pecuaria*. Obtenido de Universidad Autónoma Chapingo México:
https://www.researchgate.net/profile/publication/273693262_Caracterizacion_e_importancia_socioeconomica_y_ambiental_de_la_produccion_caprina_en_el_Altiplano_Potosino/links
- Nieto, A. (21 de julio de 2015). *Fabricación, caracterización y utilización de biochar como sustituto de la turba en la preparación de sustratos de cultivo*. Obtenido de Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales: <http://oa.upm.es/37192/>
- Normas oficiales para la calidad del agua México. (1994). *Norma oficial mexicana nom-127-ssa1-1994, "salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"*. Obtenido de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>
- Ojeda, G., Mattana, S., Àvila, A., Alcañiz, J. M., Volkman, M., y Bachmann, J. (2015). Are soil–water functions affected by biochar application? *Geoderma*, 249-250.
- Olmo, M. (11 de enero de 2016). Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Córdoba, Córdoba, Argentina: Universidad D Córdoba. Recuperado el 10 de 5 de 2019, de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1>
- Ordóñez, L. L., Echarri Vera, A., Buitrón, X., Tenezaca, N. d., y Mora Zhindón, M. A. (2007). Contaminación del agua. *Universidad de Navarra*, 136.
- Ortega, H. (2018). *Horno pirolítico móvil de laboratorio para la obtención de biochar a partir de residuos de biomasa vegetal colombiana*. Obtenido de <http://noesis.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/28419/1/172725.pdf>
- Ospina, C. M., Hernández, R. J., Andrea, E., Freddy, S., Urrego, J., Rodas, C. A., . . . Riaño, N. M. (2011). *El Pino pátula*, . Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana.
- Pantoja, J. (2015). *Participación en el diseño de un horno de pirólisis piloto de residuos agroindustriales con funcionamiento por etapas para la producir biochar en el área de investigación y desarrollo de la empresa innovativa ingeniería S.A.S*. Obtenido de <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/91364.pdf>
- Paz-Ferreiro, J., Lu, H., Fu, S., Méndez, A., y Gascó, G. (2014). Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: A review. *Solid Earth*, 5, 65.
- Peralta, J. M. (2005). *Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina*. http://biblioteca.inia.cl/medios/catalogo/libros/INIA_L0018.pdf.
- Phillip Small. (2018). *biochar.pbworks*. Obtenido de [biochar.pbworks](http://biochar.pbworks.com/w/page/9748043/FrontPage):
- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., y Tristán-Patiño, F. (2012). IMPACTOS Y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 359-370.

- Plan de Manejo Integral. (2016). *Plan de Manejo Integral para el aprovechamiento de 91.0555 hectáreas de la especie Pino (Pinus patula) dentro del Área de Bosque y Vegetación Protectora Uzhcurrumi, La Cadena, Peñas Doradas, Brasil en el cantón Pucará, provincia del Azuay.*
- Proaño, J. (18 de octubre de 2015). *Materia organica para la purificación de los ríos.* Obtenido de <http://especiales.elcomercio.com/planeta-ideas/planeta/18-de-octubre-2015/materia-organica-purificacion-rios>
- Qin, C., Wang, H., Yuan, X., Xiong, T., Zhang, J., y Zhang, J. (26 de September de 2019). Understanding structure-performance correlation of biochar materials in environmental remediation and electrochemical devices. *ScienceDirect*, 2-18. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122977>
- Ramirez, I. (2018). *Eficiencia del biochar obtenido a partir de residuos orgánicos municipales para la remoción de materia orgánica en aguas residuales, Chachapoyas, Amazonas, 2018.* . Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas .
- Robertson, K., Hsieh, Y., y Bugna, G. (2014). Fire environment effects on particulate matter emission factors in southeastern U.S. Pine-grasslands. *Atmospheric Environment* , 99: 104-111.
- Romero-Uscanga, E., Montero-Alpírez, G., Toscano-Palomar, L., y Pérez-Pelayo, L. (2014). *Determinación de los principales componentes de la biomasa lignocelulósica; celulosa, hemicelulosa y lignina de la paja de trigo para su posterior pretratamiento biológico.* Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/282365664>
- Rutherford, D. W., Wershaw, R. L., Rostad, C. E., y Kelly, C. N. (2012). Effect of formation conditions on biochars: Compositional and structural properties of cellulose, lignin, and pine biochars. *ScienceDirect*, 46, 693-701.
- Schlegel, M. M., Ibrahim, B., Kipping-Rossel, D., Ortiz-Laurel, H., y Frías, J. (2018). Generación de biocarbono a partir del material sólido en la hidrólisis aerobio-microbiológica. *AGROProductividad*, vol. 11, 27+.
- Schmidt, H. P., Bucheli, T., Kammann, C., Glaser, B., Abiven, S., y Leifeld, J. (2016). *European Biochar Certificate - Guidelines for a sustainable production of Biochar.* Obtenido de <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4658.7043>
- Sione, S. M., Ledesma, S. G., Rosenberger, L. J., Oszust, J. D., Carpp, I. A., Wilson, M. G., . . . Sasal, M. C. (2019). Fracción de carbono en la biomasa de *Prosopis affinis sprengel* (fabaceae) en un bosque nativo del espinal (Argentina). *Agronomía UBA*, (39), 1-11.
- Six, J., y Zúrich, E. (2014). *Biochar: ¿hay un lado oscuro?* ETH Zürich.
- Standards Methods. (2018). *PHOSPHORUS 4500-P.* <https://www.standardmethods.org/doi/abs/10.2105/SMWW.2882.093>.
- Tan, Z., Lin, C. S., Ji, X., y Rainey, T. J. (2017). Returning biochar to fields: A review. *Applied Soil Ecology*, 116, 1-11.
- Toetz, D. (2006). Nitrate in ground and surface waters in the vicinity of a concentrated animal feeding operation. *Arch. Hydrobiol*, 166(1), 67–77.

- Toledo, M. (2014). *Guía para la medición de la conductividad eléctrica*. Obtenido de https://www.mt.com/dam/LabDiv/guides-glen/ph-conductivity-guide/pH_Conductivity_Guide_es.pdf
- Trujillo, E. (2017). *Producción y caracterización de biochar a partir de residuos orgánicos avícolas*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima -Perú.
- TULSMA. (2018). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Quito: Ministerio del Medio Ambiente.
- Uchimiya, M., Chang, S., y Klasson, K. T. (2011a). Screening biochars for heavy metal retention in soil: Role of oxygen functional groups. *Hazardous Materials*, 190(1-3), 432-441.
- Uchimiya, M., Klasson, K. T., Wartelle, L. H., y Lima, I. M. (2010a). Influence of soil properties on heavy metal sequestration by biochar amendment: 1. Copper sorption isotherms and the release of cations. *Chemosphere*, 82(10), 1431-1437.
- Uchimiya, M., Lima, I. M., Thomas Klasson, K., Chang, S. C., Wartelle, L. H., y Rodgers, J. E. (2010b). Immobilization of heavy metal ions (CuII, CdII, NiII, and PbII) by broiler litter derived biochars in water and soil. *Agricultural and Food Chemistry*, 58(9), 5538– 5544.
- Vassilev, S. V., Vassileva, C. G., y Vassilev, V. S. (2015). Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview. *Fuel*, 158, 330-350.
- Wan, S., Wang, S. S., Li, Y. C., y Gao, B. (2017). Functionalizing biochar with Mg-Al and Mg Fe layered double hydroxides for removal of phosphate from aqueous solutions. *Industrial and Engineering Chemistry*, 47, 246-253.
- Wang, B., Gao, B., y Fang, J. (2018). Recent advances in engineered biochar productions and applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1547-6537 .
- Xue, L. H., Gao, B., S., W. Y., Fang, N., J., S., W. S., . . . I.Z., Y. (2016). High efficiency and selectivity of MgFe-LDH modified wheat-straw biochar in the removal of nitrate from aqueous solutions. *Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 63, 312–317.
- Yao, Y., Gao, B., Chen, J., Zhang, M., Inyang, M., Li, Y., . . . Yang, L. (2013b). Engineered carbon (biochar) prepared by direct pyrolysis of Mg-accumulated tomato tissues: Characterization and phosphate removal potential. *Bioresource Technology*, 138, 8 –13.
- Zambrano-Franco, D., y Isaza, J. D. (1998). Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. 1-11.
- Zhang, M., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y., y Inyang, M. (2012b). Synthesis of porous MgO-biochar nanocomposites for removal of phosphate and nitrate from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 210, 26–32.
- Zhang, X., Wang, H., He, L., Lu, K., Sarmah, A., Li, J., . . . Huang, H. (2013c). Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 8472–8483.

Zwieten, L. K., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., S., J., y A., C. (2010). Efectos del biochar de la pirólisis lenta de los desechos de la fábrica de papel sobre el rendimiento agronómico y la fertilidad del suelo. *Planta y suelo*, 327(1-2), 235–246.

ANEXOS

Anexo 1: Criterios de calidad admisibles. Acuerdo Ministerial 061 basado en el TULSMA 2015, Calidad ambiental. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Tabla 19: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce









Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9

Anexo 2: Acuerdo Ministerial 061 basado en el TULSMA 2015, Calidad ambiental. Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego.

Tabla 20: Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad					
(1): CE (2)	Milimhos/cm	0,7	0,7	3,0	>3,0
SDT (3)	mg/l	450	450	2000	>2000

Anexo 3: Proceso de elaboración del biochar de pino.

<p>a)</p>  <p>Cortado de las ramas de pino a una misma altura</p>	<p>b)</p>  <p>Adecuación del espacio libre entre cámaras con leña y ramas</p>
<p>c)</p>  <p>Comienzo de combustión</p>	<p>d)</p>  <p>Cámara externa sellada para el inicio de pirólisis</p>
<p>e)</p>  <p>Biochar en cámara interna</p>	<p>f)</p>  <p>Pesado del biochar en su forma original</p>
<p>g)</p>  <p>Pulverización de biochar de pino</p>	<p>h)</p>  <p>Pesado y colocación de la muestra de biochar en las fundas ziploc.</p>

Anexo 4: Resultados de las características físico-químicas del biochar de pino, se determinó en el laboratorio IHTALAB.



LABORATORIO DE
ENSAJO ACREDITADO
POR EL SAE CON
ACREDITACIÓN
N° SAE LEN 06-002

INFORME DE RESULTADOS

INF LASA-12-07-19-02795
ORDEN DE TRABAJO No. 03091-19

DATOS DEL CLIENTE			
SOLICITADO POR: SUÁREZ REDROVAN LUZ MARIA	DIRECCIÓN: PUCARA / PUCARA / DANIEL BRITO S/N		
TELÉFONO/FAX: --	TIPO DE MUESTRA: ESPECIAL	PROCEDENCIA: COOP NARINGUÑA PUCARA	
IDENTIFICACIÓN: CARBÓN 19-009			CODIGO INICIAL: S1

DATOS DEL LABORATORIO		
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: --	INGRESO AL LABORATORIO: 09/07/2019
FECHA DE ANÁLISIS: 09/07-12/07/19	FECHA DE ENTREGA: 12/07/2019	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 10520-19	REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO	


REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MUESTRA	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	AZUFRE	mg/kg	<30	N.A.	Espectrofotometría UV-Vis *
2	CALCIO	mg/kg	4953,00	N.A.	Absorción Atómica *
3	CARBONO ORGÁNICO FÁCILMENTE OXIDABLE	%	2,13	± 0,02	PA -35 00 ⁽¹⁾
4	CONDUCTIVIDAD	uS/cm	138,50	N.A.	Electrometría *
5	DENSIDAD	g/ml	0,20	N.A.	Método de probeta *
6	FÓSFORO TOTAL	mg/kg	187,56	N.A.	Espectrofotometría UV-Vis *
7	MAGNESIO	mg/kg	970,23	N.A.	Absorción Atómica
8	NTK	mg/kg	265,28	N.A.	Kjehdal *
9	pH	Unidades de pH	7,51	N.A.	Electrometría *
10	POTASIO	mg/kg	1140,81	N.A.	Absorción Atómica *

LOS ENSAYOS MARCADOS CON * ESTÁN FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL SAE

N.A.: No Aplica

⁽¹⁾ ESTE RESULTADO FUE PROPORCIONADO POR EL LABORATORIO CORPLAB QUE ESTÁ ACREDITADO POR EL SAE CON No. OAE LE 2C 05-005 SEGÚN LO ESTABLECIDO EN EL CR GA 04 Criterios de Símbolo y su referencia a la condición de acreditado


Dr. Marco Guajardo Ruales
GERENTE DE LABORATORIO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida o tomada por el laboratorio

Cuando se emitan criterios de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el valor de la incertidumbre asociada al resultado y declarada por el método específico.

El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en www.laboratoriolasas.com)

Av. de la Prensa N53-113 y Gonzalo Gallo • Teléfonos: 2469- 814 / 2269-012

Juan Ignacio Pareja OE5-97 y Simón Cárdenas • Teléfono: 2290-815

Celular: 099 9236 287 • e-mail: info@laboratoriolasas.com









Web: www.laboratoriolasas.com Quito, Ecuador



Escaneado con CamScanner



Anexo 5: Aplicación del biochar de pino en el agua contaminada.

<p>a)</p>  <p>Biochar de pino de dimensión de 2 mm</p>	<p>b)</p>  <p>Temperatura de laboratorio</p>
<p>c)</p>  <p>Biochar pesado dosis de 1,5 mg y 10mg respectivamente</p>	<p>d)</p>  <p>Equipo de Jar Test</p>
<p>e)</p>  <p>Corrida 1 y 2 con repetición</p>	<p>f)</p>  <p>Corrida 3 y 4 con repetición</p>
<p>g)</p>  <p>Corrida 5 y 6 con repetición.</p>	<p>h)</p>  <p>Corrida 7 y 8 con repetición.</p>

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Yo, **Fabiola Elizabeth Carmona Suárez** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0104481221. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Evaluación del biochar de pino en la remediación de aguas contaminadas por actividades pecuarias en el cantón Pucará”** 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, 30 de julio de 2020



F:

Fabiola Elizabeth Carmona Suárez

C.I. 0104481221