



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA DE
HECES DE VACUNOS Y PORCINOS PARA LA RECUPERACIÓN DE
AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS A NIVEL DE
LABORATORIO”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniera
Ambiental

Autor:

Hualca Barahona Nathkary Saharai

Tutor:

Ágreda Oña José Luis

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nathkary Saharai Hualca Barahona, con cédula de ciudadanía No. 1756004113, declaro ser autora del presente proyecto de investigación: “Producción de biochar a partir de materia orgánica de heces de vacunos y porcinos para la recuperación de aguas contaminadas con metales pesados a nivel de laboratorio” siendo el Ingeniero Mg. José Luis Ágreda Oña, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 17 de agosto del 2023



Nathkary Saharai Hualca Barahona

Estudiante

C.C. 1756004113



Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.

Docente Tutor

C.C. 0401332101

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **HUALCA BARAHONA NATHKARY SAHARAI**, identificada con cédula de ciudadanía **1756004113** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA DE HECES DE VACUNOS Y PORCINOS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO.**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2019 - Marzo 2019

Finalización de la carrera: Abril 2023 – Agosto 2023

Aprobación en Consejo Directivo: 25 de Mayo del 2023

Tutor: Ingeniero Mg. José Luis Agreda Oña

Tema: “Producción de biochar a partir de materia orgánica de heces de vacunos y porcinos para la recuperación de aguas contaminadas con metales pesados a nivel de laboratorio, periodo 2023-2023”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a. La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b. La publicación del trabajo de grado.
- c. La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

d. La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

e. Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 17 días del mes de agosto del 2023.

Nathkary Saharai Hualca Barahona
LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA DE HECES DE VACUNOS Y PORCINOS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO”, de Nathkary Saharai Hualca Barahona, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 17 de agosto del 2023



Ing. José Luis Agreda Oña, Mg.

DOCENTE TUTOR

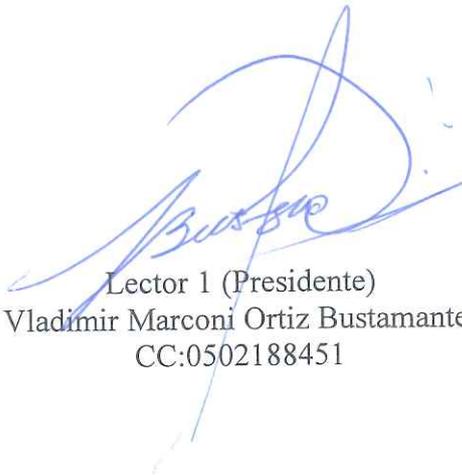
CC: 0401332101

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Hualca Barahona Nathkary Saharai, con el título del Proyecto de Investigación: "PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA DE HECES DE VACUNOS Y PORCINOS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO", ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

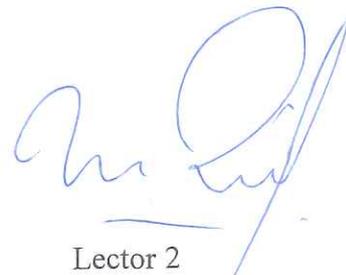
Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 17 de agosto del 2023



Lector 1 (Presidente)

Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, Mg.
CC:0502188451



Lector 2

Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.
CC:0501518955



Lector 3

Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg.
CC:0502205164

AGRADECIMIENTO

Hoy, al alcanzar este importante logro en mi vida académica, quiero tomar un momento para expresar mi más sincero agradecimiento a cada uno de ustedes. Esta tesis no habría sido posible sin el apoyo incondicional que he recibido de parte de mi familia y amigos a lo largo de este arduo pero gratificante viaje.

A mi familia, quiero agradecerles por ser mi fuente constante de inspiración y motivación. Gracias por siempre creer en mí, incluso cuando yo mismo dudaba de mis capacidades. Sus palabras de aliento, amor y apoyo inquebrantable me han llevado a este momento. Mamá y papá, su sacrificio y dedicación han sido fundamentales en mi éxito, y no puedo expresar con palabras cuánto les agradezco.

Nathkary Saharai Hualca Barahona

DEDICATORIA

El siguiente trabajo de tesis está dedicado especialmente a mis padres que gracias a sus esfuerzos he logrado terminar mis estudios universitarios, a todas las personas cercanas que me han apoyado durante todo este proceso, gracias por su ayuda.

Nathkary Saharai Hualca Barahona

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TITULO: “PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA DE HECES DE VACUNOS Y PORCINOS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO”

Autor: Hualca Barahona Nathkary Saharai

RESUMEN

En la actualidad uno de los grandes problemas ambientales con los que se cuentan, es la contaminación en recursos hídricos por metales pesados generados por distintas actividades industriales. Una alternativa de solución a dichas problemáticas es el uso de biochar, ya que es una forma de carbón creado calentando biomasa, en un entorno de bajo contenido de oxígeno a través de un proceso llamado pirólisis. La pirólisis ocurre a altas temperaturas, generalmente entre 350 y 700 grados Celsius, lo que elimina los compuestos volátiles y deja un producto estable rico en carbono, es decir el biochar. Esta es una opción tecnológica que se ha venido aplicando de manera experimental en fuentes hídricas, ya que mejora las características físico-químicas del agua, así como ayuda a la adsorción de metales pesados presentes en forma de iones en el agua, dicho de otra forma, favorece la descontaminación del agua. Esta investigación planteó producir biochar y evaluar el efecto del biochar en agua contaminada específicamente con metales pesados, por lo tanto, el biochar se estableció como un modelo experimental en laboratorio. Se obtuvieron los resultados a través de distintos procesos empezando por la selección adecuada para la muestra, que en este caso fue materia orgánica a partir de heces de vacunos y porcinos, recolección de la muestra, secado correcto de la muestra este proceso se realizó al aire libre durante nueve (9) días, para proseguir con el proceso de pirólisis a una temperatura de 300 oC, 350 oC Y 400 oC de esta manera se asegura la calidad y eficacia de la producción del biochar, en conclusión el biochar expuesto a una temperatura de 400 oC, con un número de cinco (5) filtraciones fue el mejor ya que tuvo una mayor adsorción de metales pesados presentes en el agua, teniendo (3) repeticiones para tener mayor exactitud y confiabilidad en los datos. Muestran varianza en los niveles de pH, alcalinidad, densidad real, densidad aparente y absorción, en diferentes muestras, las cuales tenían condiciones distintas de temperaturas, así como diferentes dosis de biochar; de esta forma se determinó su aplicabilidad para los entornos mineros. No se puede ignorar el ámbito legal, los artículos 12, 15, 389, 395 de la Constitución del Ecuador; el Código Orgánico Ambiental, las leyes y reformas muchas veces se quedan cortas, ya sea porque se las tergiversa o a su vez porque se las ignora.

Palabras clave: Biomasa, pirólisis, hídrico, recursos naturales, contaminación, metales pesados, mercurio.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

TITLE: "PRODUCTION OF BIOCHAR FROM ORGANIC MATTER FROM CATTLE AND SWINE FECES FOR THE RECOVERY OF WATER CONTAMINATED WITH HEAVY METALS AT LABORATORY LEVEL".

Author: Hualca Barahona Nathkary Saharai

ABSTRACT

At present, one of the major environmental problems is the contamination of water resources by heavy metals generated by different industrial activities. An alternative solution to these problems is the use of biochar, which is a form of carbon created by heating biomass in a low-oxygen environment through a process called pyrolysis. Pyrolysis occurs at high temperatures, generally between 350 and 700 degrees Celsius, which eliminates volatile compounds and leaves a stable product rich in carbon, i.e. biochar. This is a technological option that has been applied experimentally in water sources, since it improves the physical-chemical characteristics of the water, as well as helps to adsorb heavy metals present in the form of ions in the water, in other words, it favors water decontamination. This research proposed to produce biochar and evaluate the effect of biochar in water contaminated specifically with heavy metals, therefore, biochar was established as an experimental model in the laboratory. The results were obtained through different processes starting with the appropriate selection of the sample, which in this case was organic matter from cattle and swine feces, collection of the sample, correct drying of the sample, this process was carried out in the open air for nine (9) days, to continue with the pyrolysis process at a temperature of 300 oC, In conclusion, the biochar exposed to a temperature of 400 oC, with a number of five (5) filtrations was the best because it had a higher adsorption of heavy metals present in the water, having (3) repetitions to have greater accuracy and reliability in the data. They show variance in the levels of pH, alkalinity, real density, bulk density and adsorption, in different samples, which had different temperature conditions, as well as different doses of biochar; in this way its applicability for mining environments was determined. The legal framework, articles 12, 15, 389, 395 of the Constitution of Ecuador, the Organic Environmental Code, the laws and reforms often fall short, either because they are misrepresented or because they are ignored.

Key words: Biomass, pyrolysis, water, natural resources, contamination, heavy metals, mercury.

Índice

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
Índice de ilustraciones.	xvi
Índice de tablas.	xviii
Índice de ecuaciones.....	xix
1 INFORMACIÓN GENERAL	1
2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
4 OBJETIVOS.....	5
4.1 Objetivo General.....	5
4.2 Objetivo Específico.....	5
5 ACTIVIDAD Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	6
6 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA.....	7
6.1 Biochar.	7
6.2 Biochar y remediación ambiental.	7
6.3 Tipo de biochar	8
6.3.1 Factores que condicionan la producción de biochar.	8
6.4 Estiércol.....	9
6.4.1 Estiércol porcino	9
6.4.2 Estiércol vacuno	9
6.4.3 Pirólisis	9
6.4.4 Pirólisis rápida.....	9
6.4.5 Pirólisis lenta	10
6.5 Residuos sólidos.....	10
6.6 Aguas residuales	10
6.7 Tratamiento de aguas contaminadas	10

6.8	Metales pesados	11
6.9	Mercurio.....	11
6.9.1	Distintos tipos de mercurio.....	12
6.9.2	Mercurio orgánico.....	12
6.9.3	El mercurio en el cuerpo humano y sus riesgos.....	13
6.9.4	Impacto del mercurio en el medio ambiente	13
6.10	Minería.....	14
6.10.1	Minería artesanal	14
6.10.2	Antecedentes de contaminación por mercurio en Ecuador	15
7	Marco legal	15
7.1	Constitución de la Republica del Ecuador.....	15
7.1.1	Art. 12.....	15
7.1.2	Art. 15.....	16
7.1.3	Art. 389.....	16
7.1.4	Art. 395.....	16
7.2	Tratados y Convenios internacionales.....	16
7.2.1	Convenio de Minamata.....	16
7.2.2	Límite permitido de mercurio en el agua.....	17
7.3	Código Orgánico Ambiental (COA).....	17
7.3.1	Art. 38.....	17
7.3.2	Art. 191.....	18
7.4	Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.....	18
7.4.1	Art. 8.....	18
7.4.2	Art. 49.....	18
7.5	Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria.....	18
7.5.1	Art. 209.....	18
7.5.2	Art. 210.....	18
7.5.3	Art. 211.....	18
7.5.4	Art. 3.- Glosario. - Los términos establecidos en este Libro tienen la categoría de definición	19
7.5.5	Art. 141. Áreas de protección hídrica.....	19
7.5.6	Art. 759. Descargas.....	19
7.5.7	Acuerdo Ministerial 097 A	19

7.5.8	3.1	19
7.5.9	3.3	20
8	VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS	20
9	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	20
9.1	Enfoque de la investigación	20
9.1.1	Absorción de mercurio	20
9.1.2	Estabilización de mercurio	21
9.1.3	Mejora de la calidad del agua	21
9.2	Tipos de investigación	21
9.2.1	Investigación de campo	21
9.2.2	Investigación Analítica	21
9.2.3	Investigación descriptiva	21
9.2.4	Observación Directa	21
9.2.5	Monitorio	21
9.2.6	Análisis de Datos	22
10	Técnicas	22
10.1.1	Técnica de Investigación Bibliológica	22
10.2	Instrumentos	23
10.2.1	Libreta de campo	23
10.2.2	Cámara o dispositivos de imágenes	23
10.2.3	Herramientas de muestreo	23
10.3	Equipos y herramientas	23
10.3.1	Mufla de Laboratorio	23
10.3.2	Crisoles	24
10.3.3	Papel filtro	24
10.3.4	Embudo	25
10.3.5	Vasos de precipitados de 60, 250, 100, 80, 50 y 100 mililitros	25
10.3.6	Campana extractora	26
10.3.7	Cuenta gotas	26
10.3.8	Mortero	27
10.3.9	Pipetas	27
10.3.10	Soporte de bureta	28
10.3.11	Agitador magnético	28

10.3.12	Tubos de ensayo	29
10.3.13	Matraces Erlenmeyer	29
10.3.14	Gradilla	29
10.3.15	pH-metro.....	30
10.3.16	Picnómetro.....	30
10.3.17	Balanza gr	31
10.3.18	Tiras de pH.	31
10.3.19	Tiras de alcalinidad Insta-test	32
10.4	Reactivos	33
10.4.1	Ácido clorhídrico	33
10.4.2	Agua destilada.....	33
10.4.3	Fenolftaleína	34
11	METODOLOGÍA	34
11.1	Fase dos:	34
11.1.1	Obtención de la biomasa.	34
11.2	Fase tres:.....	37
11.2.1	Análisis de datos	37
11.2.2	Análisis del agua.....	38
11.2.3	Caracterización del biochar.....	38
11.2.4	Método de obtención de datos	41
11.3	Fase tres:.....	41
12	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	42
13	Análisis de resultados estadísticos.....	42
14	Resultados de la Caracterización del biochar.	52
14.1	Humedad de la materia	52
14.2	Producción de biochar	54
14.2.1	Porcentaje de rendimiento de biochar.	54
14.3	Análisis de agua.....	54
14.3.1	Procedimientos.	54
14.4	Caracterización del biochar.....	55
14.4.1	pH y alcalinidad	55
14.4.2	Densidad aparente y real	58
14.4.3	Porosidad	59

14.4.4	Material volátil.....	59
15	IMPACTO (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	60
15.1	Impacto técnico	60
15.2	Impacto social	60
15.3	Impacto ambiental.....	60
15.4	Impacto económico	60
16	Conclusiones y Recomendaciones.....	60
17	Referencia Bibliográfica.....	61
18	ANEXOS.....	66
18.1	Anexo 1. Filtración de biochar de heces 50% de vacuno y 50% de porcino a una temperatura de 400 °C.....	66
18.2	Anexo 2. Peso de 5 gr de biochar 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino a una temperatura de 400 °C.....	67
18.3	Anexo 3. Filtración de biochar 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino a una temperatura de 400 °C con el agua contaminada de mercurio.....	67
18.4	Anexo 4. Filtración doble del contaminante de mercurio utilizando biochar 50% de heces de vacuno y 50% heces de porcino que se encontraba a una temperatura de 400 °C.....	67
18.5	Anexo 5. Ingreso de crisol con materia orgánica en la mufla.....	68
18.6	Anexo 6. Desecador.....	68
18.7	Anexo 7. Tubos de ensayo donde se colocó el biochar filtrado y el contaminante para ver su eficacia.....	69
18.8	Anexo 8. Biochar mezclado en un agitador magnético por 5 minutos a una velocidad de 200 rpm.....	69
18.9	Anexo 9. Filtración de biochar y agua destilada para poder determinar el pH.....	69
18.10	Anexo 10. Tiras de pH de biochar 50% de heces de vacuno y 50% de heces de porcino a una temperatura de 400 °C.....	70
18.11	Anexo 11. Aplicación de fenolftaleína.....	70
18.12	Anexo 12. Medición de pH- metro.....	71
18.13	Anexo 13. Tiras de Alcalinidad Insta-test.....	71
18.14	Anexo 14. Tabla de valores de Biochar.....	72
18.15	Anexo 15. Aval de traducción.....	73

Índice de ilustraciones.

Ilustración 1. Mufla de laboratorio.....	23
Ilustración 2. Crisol y pinzas para crisol.....	24
Ilustración 3. Papel filtro.....	24
Ilustración 4. Embudo de filtración de laboratorio.....	25
Ilustración 5. Vasos de precipitación.....	25
Ilustración 6. Campana de extracción para químicos.....	26
Ilustración 7. Cuenta gotas.....	26
Ilustración 8. Mortero.....	27
Ilustración 9. Pipetas.....	27
Ilustración 10. Soporte de pipeta de laboratorio.....	28
Ilustración 11. Agitador magnético.....	28
Ilustración 12. Tubos de ensayo.....	29
Ilustración 13. Matraces Erlenmeyer.....	29
Ilustración 14. Gradilla de tubos de ensayo.....	30
Ilustración 15. pH-metro.....	30
Ilustración 16. Picnómetro.....	31
Ilustración 17. Balanza en gramos.....	31
Ilustración 18. Tiras de pH.....	32
Ilustración 19. Tiras de alcalinidad de marca Insta-test.....	32
Ilustración 20. Ácido clorhídrico.....	33
Ilustración 21. Agua destilada.....	34
Ilustración 22. Frasco de fenolftaleína.....	34
Ilustración 23. Mapa de la ubicación de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	35
Ilustración 24. Mufla alcanzando la temperatura de 300 °C.....	36
Ilustración 25. Pesado de crisol con materia orgánica de heces de vacuno y porcino al finalizar su proceso en la mufla.....	36
Ilustración 26. a) Biochar vacuno y porcino a 300 °C. b) Biochar vacuno y porcino a 350 °C. c) Biochar de vacuno y porcino a 400 °C.....	37
Ilustración 27. Muestra de agua contaminada con mercurio a nivel de laboratorio.....	38
Ilustración 28. Pesado de la probeta con muestra.....	39
Ilustración 29. Pesado del picnómetro con la muestra de materia orgánica heces de vacuno y porcino a una temperatura de 350 °C.....	40
Ilustración 30. Porcentaje de turbidez para 1 gramo.....	43
Ilustración 31. Porcentaje de eficacia para 1 gramo.....	44
Ilustración 32. Porcentaje de p. mercurio para 1 gramo.....	45
Ilustración 33. Porcentaje de turbidez para 3 gramos.....	46
Ilustración 34. Porcentaje de eficacia para 3 gramos.....	46
Ilustración 35. Porcentaje de p. mercurio para 3 gramos.....	47
Ilustración 36. Porcentaje de turbidez para 6 gramos.....	48
Ilustración 37. Porcentaje de eficacia para 6 gramos.....	49
Ilustración 38. Porcentaje de p. mercurio para 6 gramos.....	49

Ilustración 39. Porcentaje de turbidez para 8 gramos.....	50
Ilustración 40. Porcentaje de eficacia para 8 gramos	51
Ilustración 41. Porcentaje de p. mercurio para 8 gramos	52
Ilustración 43. Materia orgánica de heces de vacuno seco.....	53
Ilustración 44. Materia orgánica de heces de porcino seco.	53
Ilustración 45. pH-metro midiendo muestra de biochar de materia orgánica de 50% de heces de vacuno y 50 % de heces de porcino a una temperatura de 300 °C.	56
Ilustración 46. Tira de pH utilizada para la muestra que se realizó a una temperatura de 300 °C.	56
Ilustración 47. Test de alcalinidad por colorimetría.	57
Ilustración 48. Variación del pH de biochar a distintas temperaturas.	58

Índice de tablas.

Tabla 1. Propiedades químicas y físicas.	12
Tabla 2. Porcentaje permitido de mercurio.	17
Tabla 3. Tabla de frecuencia de tratamiento de agua para 1 gramo de biochar.	43
Tabla 4. Tabla de frecuencia de eficacia del tratamiento de agua para 1 gramo de biochar.	43
Tabla 5. Tabla de porcentaje de partículas de mercurio en el tratamiento de 1 gramo.	44
Tabla 6. Tabla de frecuencia de tratamiento de agua para 3 gramos de biochar.	45
Tabla 7. Tabla de eficacia para 3 gramos.	46
Tabla 8. Tabla de porcentaje de p. de mercurio para un tratamiento de 3 gramos.	47
Tabla 9. Tabla de frecuencia de turbidez de tratamiento de agua para 6 gramos de biochar.	48
Tabla 10. Tabla de frecuencia de la eficacia del tratamiento a 6 gramos.	48
Tabla 11. Tabla de porcentaje de p. de mercurio para un tratamiento de 6 gramos.	49
Tabla 12. Tabla de frecuencia de tratamiento de agua para 8 gramos de biochar.	50
Tabla 13. Tabla de frecuencia de eficacia del tratamiento con 8 gramos.	51
Tabla 14. Tabla de frecuencia de p. de mercurio del tratamiento con 8 gramos.	51
Tabla 15. Humedad de heces de vacuno y porcino.	52
Tabla 16. Porcentaje de rendimiento de biochar.	54
Tabla 17. pH de biochar 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino.	57
Tabla 18. Densidad aparente y real de biochar 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino.	58
Tabla 19. Porosidad de la muestra de biochar 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino.	59
Tabla 20. Material volátil.	59

Índice de ecuaciones.

Ecuación 1. Cálculo de la humedad de las heces de vacunos y porcinos.....	37
Ecuación 2. Rendimiento de la carbonización.	37
Ecuación 3. Densidad aparente.	39
Ecuación 4. Densidad real.....	40
Ecuación 5. Determinación de la porosidad.....	41
Ecuación 6. Ecuación para calcular la humedad de la materia.	52

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Producción de Biochar a partir de materia orgánica de heces de vacunos y porcinos para la recuperación de aguas contaminadas con metales pesados a nivel de laboratorio.”

Lugar de ejecución:

Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

Institución, unidad académica y carrera que auspicia

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, carrera de Ingeniería en Medio Ambiente.

Nombres de equipo de investigación:

Tutor: Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.

Estudiante: Srta. Nathkary Saharai Hualca Barahona

LECTOR 1: Mg. Vladimir Ortiz.

LECTOR 2: Mg. Marco Rivera.

LECTOR 3: Mg. Eduardo Cajas.

Área de Conocimiento:

Ciencias Naturales. Medio Ambiente, Ciencias Ambientales.

Línea de investigación:

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

Sub-línea de Investigación de la Carrera:

Manejo y conservación del recurso hídrico.

Línea de Vinculación de la Facultad:

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social.

2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La investigación se lleva a cabo para abordar un problema crítico de contaminación ambiental y buscar soluciones innovadoras y sostenibles para la recuperación de aguas contaminadas con metales pesados. La contaminación por metales pesados es un problema global que afecta tanto a la salud humana como al ecosistema. La necesidad de encontrar métodos de remediación efectivos y económicamente viables ha llevado a investigar la producción de biochar a partir de materia orgánica de heces de vacunos y porcinos como una posible solución.

La producción y aplicación del biochar según Valdiviezo & Andrade en su publicación del 2020, constituye una oportunidad ineludible para combatir las problemáticas que desencadena la minería irresponsable. Gracias al biochar, los operadores mineros pueden dar cumplimiento a cabalidad a los nuevos requerimientos de remediación ambiental; mientras que por otro lado, para los generadores de residuos orgánicos, como las plantas de producción de cerdos y bovinos, representan una oportunidad de valorizar y comercializar sus residuos totalmente como enmiendas orgánicas que pueden tener diferentes tipos de aplicaciones, ya no solamente abono agrícola como en antaño, sino también generando plazas de trabajo. De esta manera, los aportes de esta investigación serían los siguientes:

Solución sostenible: La producción de biochar a partir de residuos orgánicos de animales ofrece una alternativa sostenible para la remediación de aguas contaminadas, evitando la generación de residuos y aprovechando material que de otro modo se descartaría.

Remediación efectiva: Se exploraría la eficacia del biochar como adsorbente de metales pesados en aguas contaminadas. Si se demuestra que el biochar puede eliminar de manera eficiente estos contaminantes, se aportaría una herramienta valiosa para la remediación.

Investigación científica: La investigación contribuiría al conocimiento científico en áreas como química ambiental, ciencia de materiales y tecnologías de tratamiento de aguas, generando datos y resultados que pueden ser utilizados por la comunidad científica.

La investigación podría beneficiar a varios grupos:

Comunidad científica: Los resultados y hallazgos podrían ser valiosos para investigadores y científicos que trabajan en el campo de la química ambiental, la ingeniería de materiales y la gestión de recursos naturales.

Gobiernos y reguladores: Los métodos efectivos de remediación de aguas contaminadas son de interés para las autoridades gubernamentales y reguladores ambientales, ya que contribuyen a la protección de la salud pública y el medio ambiente.

Industrias y granjas: Las empresas industriales y las granjas podrían beneficiarse al encontrar una forma de tratar sus efluentes contaminados de manera más sostenible y económica.

Comunidades locales: Si se desarrolla una solución efectiva y asequible, las comunidades locales que enfrentan problemas de contaminación del agua podrían beneficiarse al tener acceso a una tecnología de remediación local.

El impacto de relevancia radica en la posibilidad de proporcionar una solución de bajo costo y efectiva para la remediación de aguas contaminadas con metales pesados. Esto puede contribuir a la reducción de la exposición humana a sustancias tóxicas, la mejora de la calidad del agua y la salud del ecosistema acuático.

La utilidad práctica de esta investigación es desarrollar un método de producción de biochar a partir de heces de animales y evaluar su capacidad para adsorber metales pesados en aguas contaminadas. Si se logra, se proporcionaría una tecnología práctica y aplicable a nivel de laboratorio que podría servir como base para futuros desarrollos en la remediación a mayor escala. Además, se estaría contribuyendo a la valorización de residuos orgánicos y a la búsqueda de soluciones más sostenibles para los desafíos ambientales contemporáneos.

3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La problemática de la contaminación ambiental, en particular la ocasionada por la presencia de metales pesados en aguas, constituye un desafío relevante a nivel global. Estos contaminantes, provenientes de diversas fuentes como actividades industriales, agrícolas y urbanas, plantean riesgos significativos tanto para la salud humana como para la integridad de los ecosistemas acuáticos. Ante esta preocupante realidad, se hace necesario explorar alternativas innovadoras y sostenibles que permitan mitigar los efectos perjudiciales de estos metales en el medio ambiente y en la sociedad. En este contexto, surge el interés por la producción de biochar a partir de materia orgánica de heces de vacunos y porcinos como una posible solución a nivel de laboratorio.

En este sentido Pabón et al. (2020) mencionan que:

Los sistemas de producción industrial actuales usan metales pesados para la extracción de un material o como elemento en la refinación de un producto en particular lo que en principio resulta en la obtención del producto deseado con relativos bajos costos de producción. Sin embargo, usar

estos metales presenta un grave problema a nivel ambiental debido a sus altos niveles de toxicidad para los organismos con los que interactúan una vez son descargados.

Actualmente la contaminación de recursos hídricos por el vertimiento de agua con metales pesados, es un grave problema que repercute directamente a las fuentes hídricas afectando los diversos ecosistemas y suelos, y por supuesto a muchas familias ecuatorianas. Gran parte de la presencia de metales pesados en el ambiente se debe a diversos factores geológicos naturales, sin embargo, las actividades como la minería y fundición de metales junto con la actividad humana también repercute. (Trujillo, Valencia, Alegría, Alejandrina, & Césare, 2019)

A nivel micro, a través de investigaciones previas se ha demostrado el potencial del biochar para adsorber metales pesados en diversos contextos. La estructura porosa y la alta superficie específica del biochar permiten su interacción con contaminantes, facilitando su retención y reduciendo su presencia en el agua.

Los metales pesados como plomo, cadmio, cromo, zinc, mercurio entre otros son liberados hacia ecosistemas acuáticos, así como a los suelos principalmente debido a diversas actividades antropogénicas, presentan una seria amenaza para las plantas, animales e incluso los humanos debido a su persistencia, bioacumulación, propiedad no biodegradable y su toxicidad incluso a bajas concentraciones. (Constitución de la República del Ecuador., 2021)

En este sentido, la situación actual del Ecuador en cuanto a contaminación de aguas con metales pesados, se lo ve reflejado en un estudio por parte de biólogos ecuatorianos y brasileños cuyo trabajo de investigación revela que los afluentes del río Napo, los niveles de varios metales pesados por ejemplo cadmio, aluminio, hierro, cobre, zinc, níquel y plomo, superan las 500 veces del límite admisible por los organismos de control y normativas vigentes del país y de Estados Unidos (Castro, 2019). Esto solo es una muestra del panorama en el país en cuanto a este tema ya que existen varias investigaciones al respecto, por mencionar algunas: “Contaminación de los ríos: caso río Guayas y sus afluentes” autores Martha Baquerizo Cabrera, María Luisa Acuña Cumba y María Edith Solís-Castro; “La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. Necesidad de su reversión desde las políticas públicas con enfoque bioético” autores Lucas Guanoquiza Tello y Alcides Antúnez Sánchez; “*An integrative approach to identify the impacts of multiple metal contamination sources on the Eastern Andean foothills of the Ecuadorian Amazonia*” autores Mariana Velloso Capparelli y Gabriel Massaine Moulatlet.

Por lo anterior mencionado, la contaminación de aguas con metales pesados es un problema ambiental importante, debido a su toxicidad y sus efectos en la salud humana y el ecosistema. La materia orgánica de heces de vacunos y porcinos podría convertirse en biochar, un material que se presume tiene

propiedades para adsorber metales pesados. El problema se centra en investigar si la producción de biochar a partir de estos residuos es efectiva para la recuperación de aguas contaminadas.

Los datos sobre la composición química de las heces de animales, propiedades del biochar, concentraciones de metales pesados en aguas contaminadas, métodos de producción de biochar y técnicas de análisis de metales pesados son esenciales para abordar este problema.

Situaciones relacionadas: Vertidos industriales, agrícolas o urbanos de metales pesados contribuyen a la contaminación del agua. La falta de métodos de remediación eficientes y asequibles para tratar aguas contaminadas es otra situación relacionada.

Investigaciones previas: Estudios sobre la adsorción de metales pesados por el biochar y la producción de biochar a partir de diferentes fuentes de materia orgánica han sentado las bases para esta investigación.

La relevancia del problema es significativa en varios aspectos:

Salud humana: La contaminación por metales pesados en el agua puede causar graves problemas de salud, incluyendo enfermedades gastrointestinales, neurológicas y renales.

Ecología acuática: Los metales pesados pueden dañar los ecosistemas acuáticos, afectando la vida acuática y la calidad del agua.

Agricultura y alimentación: La contaminación del agua con metales pesados puede afectar la calidad de los alimentos y cultivos regados con aguas contaminadas.

Sostenibilidad: La valorización de residuos orgánicos a través de la producción de biochar contribuye a la gestión sostenible de recursos y a la reducción de la generación de residuos.

Innovación tecnológica: La investigación podría llevar al desarrollo de una tecnología novedosa y efectiva para la remediación de aguas contaminadas, con aplicaciones potenciales en diversos contextos.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Producir biochar a partir de materia orgánica de bovinos y porcinos para la recuperación de aguas contaminadas con metales pesados a nivel de laboratorio.

4.2 Objetivo Específico

- Definir métodos de producción de biochar para la aplicación en aguas contaminadas con metales pesados.

- Producir biochar con diferentes condiciones de temperatura y biomasa para su aplicación en la remediación de agua contaminada con metales pesados.
- Validar la eficacia de remoción de contaminantes del biochar producido, a través de métodos estadísticos para la determinación del mejor tratamiento.

5 ACTIVIDAD Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultado
O.1.- Establecer la metodología adecuada para la síntesis de biochar.	Investigación bibliográfica sobre estudios realizados a la producción de biochar	Triangulación de conceptos para la síntesis de biochar	de Diseño experimental para la síntesis de biochar
O.2.- Producir biochar con diferentes condiciones de temperatura y biomasa para su aplicación en la remediación de agua contaminada con metales pesados.	1. Caracterizar la biomasa. 2. Encapsular sin oxígeno la materia orgánica. 3. Realizar proceso de pirólisis. 4. Enfriamiento de biochar	Empleo de Gravimetría. Pirólisis. Producción de Biochar. Tratamientos por filtraciones.	de Obtención de biochar.
O.3.- Validar la eficacia de remoción de contaminantes del biochar producido, a través de métodos estadísticos para la determinación del mejor tratamiento.	Realizar pruebas de laboratorio para medición de parámetros físico – químicos antes del tratamiento Realizar pruebas de laboratorio para medición de parámetros físico – químicos después del tratamiento Validación de datos a través de métodos	Método de Frecuencia.	Determinar el mejor tratamiento.

estadísticos de
frecuencias.

Elaborado por: Autora

6 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

6.1 Biochar.

El Biochar es una forma de carbón creado calentando biomasa, como residuos agrícolas, astillas de madera o residuos de cultivos, en un entorno de bajo contenido de oxígeno a través de un proceso llamado pirólisis. La pirólisis ocurre a altas temperaturas, generalmente entre 350 y 700 grados Celsius, lo que elimina los compuestos volátiles y deja un producto estable rico en carbono conocido como Biochar. Esta sustancia posee propiedades extraordinarias que tienen un inmenso potencial para el almacenamiento de carbono, mejorar la salud del suelo y los árboles, y aumentar los rendimientos de los cultivos para los agricultores. También cautiva a los investigadores y emprendedores ambientales preocupados por mitigar el cambio climático. (climatetrade, 2023).

6.2 Biochar y remediación ambiental.

En el país, se han desarrollado varios estudios sobre la remediación ambiental sustentado en el uso de biochar, como el estudio realizado por Valdiviezo y Andrade (2020), que tuvo como objetivo la elaboración de biochar obtenido a partir de heces de vacunos y porcinos, lo cual ha presentado resultado óptimos y favorables en la elaboración de biochar a partir de estiércol proveniente de vacunos y porcinos, su aplicación en aguas contaminadas con mercurio resultantes de los procesos que realizan las mineras artesanales, ya que gracias a las propiedades que posee el biochar se logró obtener una cantidad significativa de remoción de este metal diluido en el agua, con esto se puede decir que se ha encontrado una nueva enmienda de remediación para el medio ambiente.

Finalmente, el programa MONOIL (Monitoreo ambiental, salud, sociedad y petróleo en Ecuador), concluyó que es necesario innovar los procesos de biorremediación ambiental, incorporando nuevas estrategias tecnológicas que incluya tratamientos metabólicos producidos por agentes de origen biológico tales como los microorganismos, los cuales pueden ser responsables de la degradación de sustancias contaminantes que se encuentren presentes en el suelo, siendo capaces según los estudios, de eliminar muchas de ellas completamente, además una de sus principales ventajas es su carácter biodegradable, lo cual lo convierte en una opción altamente sustentable.

6.3 Tipo de biochar

Para obtener biochar existen dos tipos de biocarbón que se obtienen a partir de estiércol animal para su uso en el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio además de procesos en la minería, donde la gran utilidad para esta aplicación, se probaron biocarbón porcino y biocarbón bovino. (50/50) Determina cuál de los dos tiene mayor defensa (Creaf, 2015).

La cantidad de absorción depende del punto de equilibrio de absorción y contracción. El biocarbón también se usa como adsorbente para mejorar la fertilidad del suelo, retener nutrientes, generar energía renovable y eliminar sustancias tóxicas del suelo y el agua por ende es muy bueno para la gestión de residuos.

6.3.1 Factores que condicionan la producción de biochar.

Las propiedades del biocarbón dependen de la materia prima y de las condiciones de pirólisis (tiempo y temperatura). En este sentido, varios estudios han demostrado que la calidad y composición química del biocarbón depende de las materias primas empleadas y las condiciones de producción [6]. Por lo tanto, la selección de estas materias primas, la optimización de la tecnología de pirólisis y los ajustes para producir biocarbones son factores a ser considerados para obtener las características deseadas en los mismos. (Moreno, Vicente Días, Acosta, & Zarzoza, 2015)

6.3.1.1 Temperatura y tiempo.

Para poder determinar y explicar la influencia de la temperatura y del tiempo de pirólisis de los biocarbones producidos, se realizó el proceso de pirólisis del mismo a temperaturas de 300, 400, 500 y 700 °C con tiempos de 1h, 2h, 4h y 5h, obteniendo 16 tipos de biocarbones a los cuales se les determinó la hidrofobicidad, el contenido de carbono total y los grupos funcionales orgánicos. Los resultados mostraron que la hidrofobicidad en los biocarbones aumenta a bajas temperaturas y tiempos de pirólisis bajos, desapareciendo a partir de 4h a 400°C y cualquier tiempo a partir de 500°C, debido a la pérdida de compuestos alifáticos. (Moreno, Vicente Días, Acosta, & Zarzoza, 2015)

6.3.1.2 Materia orgánica

Un suelo fértil es en el que los organismos del suelo liberan nutrientes inorgánicos de las reservas orgánicas a un ritmo suficiente para sostener el rápido crecimiento de las plantas. La actividad biológica del suelo es el resultado de las funciones de los organismos y la potencia que proporciona a las plantas favoreciendo a su crecimiento (Wild, 1992).

Pero las necesidades de energía, nutrientes, agua, temperatura adecuada y ausencia de condiciones nocivas de los microorganismos del suelo son similares a las de las plantas.

6.4 Estiércol

6.4.1 *Estiércol porcino*

Es una mezcla de estiércol, orina, agua de lavado del establo, más alimento y agua desperdiciados; Tiene valor agronómico, ya que puede usarse como fertilizante orgánico para la producción de cultivos sin un impacto ambiental significativo. Si no se gestiona adecuadamente, puede tener un impacto negativo en el medio ambiente, dañando el agua, la atmósfera y el suelo (Eghball, Ginting, & Gilley, 2004).

6.4.2 *Estiércol vacuno*

El fertilizante es ampliamente utilizado en la agricultura tradicional, debe ser compostado para obtener mejores resultados. Se utiliza principalmente en climas fríos como mantillo natural para las plantas. La dosis recomendada es de 9-15 kg por metro cuadrado, además depende de la producción de carne o leche que produzca el animal (Alltech, s.f.).

6.4.3 *Pirólisis*

La pirólisis es un proceso termoquímico que ocurre en ausencia de oxígeno, es considerado como la primera etapa de combustión y gasificación, para generar una oxidación total o parcial de materia prima, obteniendo productos como biochar, aceites y gas que permiten satisfacer necesidades en las industrias de la agricultura, lubricantes industriales, entre otras, por lo tanto, las industrias al utilizar estos productos proporcionan un ahorro de recursos en el ambiente (Rosas, 2015, p.24).

Este proceso se encarga de degradar mediante un proceso térmico a la materia prima que en este caso se utilizaron muestras de heces de vacunos y porcinos.

6.4.4 *Pirólisis rápida*

Fast Pyrolysis es un proceso de tratamiento que convierte muchos desechos sólidos de bajo valor energético en líquidos combustibles con alto poder calorífico, que son fáciles de transportar, almacenar y distribuir, interrumpiendo la producción y el uso de energía. El aceite de pirólisis, o bio aceite, es un aceite nuevo con propiedades diferentes y no relacionado con los hidrocarburos, lo que ha impedido su entrada al mercado hasta el momento (Falcon, Hernandez , Luperon, & Otero , 2020).

Considerar el uso de bio aceites como productos de medicamentos, materiales y aceites para inyección por procesos físicos, químicos y/o químicos. El proceso de pirólisis lenta puede convertir los desechos lignocelulósicos en productos valiosos como biocarbón, biocombustibles y gas natural (UDT, s.f.).

6.4.5 Pirólisis lenta

“En particular, la pirólisis lenta se lleva a cabo a bajas temperaturas, de 300°C a 500°C, con velocidades de calentamiento inferiores a 100°C/min” (Basu, 2010).

Estas condiciones permiten una producción de carbón altamente eficiente que puede ser utilizado como combustible sólido de fácil transporte o distribución, o como precursor de productos de alto valor agregado, como el carbón activado, biosólidos o biosólidos, con poder calorífico superior a la biomasa original, que puede ser utilizada en posteriores procesos de combustión o gasificación (Han & Liu, 2015).

Por su parte, los gases resultantes, si bien no son el producto principal del proceso y muchas veces no se aprovechan, tienen potencial para ser utilizados en aplicaciones energéticas o como insumos en la industria química.

6.5 Residuos sólidos

Según el Código Orgánico del Ambiente, (2017) la contaminación de todos los residuos sólidos orgánicos para la producción de biocarbón mediante pirólisis, es una buena alternativa donde se optimizan los niveles de carbono natural, como adsorción consumo de metales pesados en suelo y agua, entre otros. Biochar se utiliza para mejorar el suelo y también ayuda a descontaminar el agua con los nutrientes presentes en ella, lo que es una excelente defensa contra la contaminación ambiental.

6.6 Aguas residuales

Según menciona el autor UNESCO, (2017) las aguas residuales son básicamente 99% de agua y 1% de sólidos disueltos, suspendidos y coloidales. El vertimiento de aguas residuales sin tratar o tratadas inadecuadamente, ocasionará consecuencias que se clasifican en tres grupos según tengan:

- Efectos secundarios sobre la salud humana.
- Impactos adversos en el medio ambiente.
- Efectos adversos sobre las actividades económicas. El objetivo final de la gestión de aguas residuales es controlar y regular sus diversos flujos.

6.7 Tratamiento de aguas contaminadas

El agua está contaminada por varios procesos debido a la actividad humana, el metal se absorbe y se abre camino hacia los poros del biocarbón para lograr la mayor eliminación de metales pesados, se debe establecer la dosis. El biocarbón óptimo para un tiempo óptimo se determinó en el análisis anterior (López, Pérez, & Rubio, 2021).

Los desechos de la ganadería y la agricultura se pueden usar como fertilizante para cultivos y los desechos agrícolas se pueden usar para producir combustible. El biochar es carbón producido a

partir de residuos vegetales y residuos biológicos. A diferencia del combustible de carbón tradicional, el biocarbón no se usa como combustible, no se quema, sino que se envía al suelo para aumentar su energía. Además, el biochar ayuda a controlar el pH de suelos altamente ácidos y mejorar sus propiedades físicas y químicas por ende sus propiedades fertilizantes, el biocarbón ayuda a eliminar el dióxido de carbono de la atmósfera y lo almacena en el suelo en una estructura química estable a largo plazo (López, Pérez , & Rubio, 2021).

El suelo tratado con biocarbón puede retener un 12 % más de carbono que el suelo normal y eliminar otros gases de efecto invernadero como el metano y los óxidos de nitrógeno, según un estudio. Se considera la estabilidad del carbono orgánico en el suelo. Aunque es difícil predecir cómo se comportará con el tiempo, los experimentos en condiciones de laboratorio han demostrado que puede sobrevivir de cientos a miles de años, ya que una pequeña porción se excreta en el cuerpo poco tiempo (López, Pérez , & Rubio, 2021).

6.8 Metales pesados

Los metales pesados se conforman por un grupo de elementos químicos de alta densidad. Generalmente son tóxicos para el ser humano, y entre los que con mayor probabilidad se encuentran en el agua, se destaca el mercurio, el níquel, el cobre, el plomo y el cromo. El aumento de las concentraciones de estos compuestos en el agua se debe principalmente a la contaminación ocasional de origen industrial o minero. Las fugas de agua de los vertederos o las descargas de aguas residuales también pueden ser una fuente de contaminación (Hidronor, 2018).

6.9 Mercurio

Metal pesado proveniente del mineral cinabrio que cuenta con una dureza de 2-2.5 en la escala de Mohs densidad de 8,1176 – 8,20 g/cm³ de un color rojo intenso lustre metálico y Habito prismático en el Ecuador este mineral se encuentra en la provincia de Zamora – Chinchipe (Depósito Fruta del Norte Au-Ag) (Cinabrio, 2006).

Químicamente el mercurio es un metal líquido de símbolo Hg, noble soluble únicamente en soluciones oxidantes, el metal y sus compuestos son altamente tóxicos que pertenece al grupo de los metales pesados, existen 3 tipos de mercurio: mercurio elemental, orgánico e inorgánico, siendo de mayor interés el elemental siendo este el usado en la investigación (Información básica sobre el mercurio, 2023)

Tabla 1.*Propiedades químicas y físicas.*

Nombre	Mercurio
Numero atómico	80
Valencia	1,2
Estado de oxidación	+2
Electronegatividad	1,9 escala de Pauling
Radio covalente(A°)	1.49
Radio atómico (A°)	1.57
Radio iónico (A°)	1.10
Con Ilustración electrónica	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²
Primer potencial de ionización (eV)	10.51
Masa atómica (g/mol)	200.59
Densidad(g/ml)	16.6
Punto de ebullición (°C)	357
Punto de fusión (°C)	-38.87
Presión de vapor a 25°C	2X 10 ⁻³ mmHg
Solubilidad en agua a 25°C	20-30 µg/L
Número de registro CAS	7439-97-6

Elaborado por: (Mercurio, s,f)

6.9.1 Distintos tipos de mercurio

El mercurio es un elemento químico es encontrado en muchos grados, formas y estados, entre ellos los más utilizados por la industria son los siguientes:

6.9.2 Mercurio orgánico

Se forma cuando se combina con carbón, los microorganismos convierten el mercurio en metilmercurio siendo este un compuesto de mercurio orgánico más común del medio ambiente (Información básica sobre el mercurio, 2023).

6.9.2.1 Mercurio inorgánico

Este se presenta principalmente en forma de compuestos siendo estas sales de mercurio en forma de cristales o polvo de coloración blanquecina con excepción de sulfuro de mercurio de color rojo más conocido como cinabrio (Información básica sobre el mercurio, 2023).

6.9.2.2 Mercurio elemental o metálico

Mercurio de la tabla periódica presenta alta tensión superficial lo que le permite dividirse en gotas pequeñas las cuales pueden filtrarse en grietas o adherirse fuertemente a ciertos materiales (Información básica sobre el mercurio, 2023).

6.9.3 El mercurio en el cuerpo humano y sus riesgos

El mercurio en todo el mundo es considerado un contaminante de alto nivel y en el cuerpo humano este llega a causar daños a nivel del sistema nervioso, sistema inmunológico, daño renal, daño reproductivo, cáncer, las formas más comunes de daño por mercurio es por inhalación y absorción estas exposiciones se dan principalmente en industrias que manejan grandes cantidades de mercurio o aquellas que no usan normas adecuadas para su manejo la más conocida es en la minería ilegal (Muñoz, 2020).

El mercurio también puede ingresar al cuerpo humano en forma de ingesta de alimentos los cuales reciben mercurio durante su etapa de siembra y crecimiento a través de la tierra que se encuentra contaminando el agua que es utilizada para el riego de cultivos (Muñoz, 2020).

6.9.4 Impacto del mercurio en el medio ambiente

El mercurio entra en el medio ambiente por distintos procesos naturales como la actividad volcánica geotérmica y erosión de las rocas, pero la fuente más contaminante constituye tres categorías:

6.9.4.1 Fuentes antropogénicas

6.9.4.1.1 Intencionales

Son aquellas en las que se toma la decisión de crear un producto que contiene mercurio o de operar un proceso que utiliza mercurio. Algunos ejemplos de productos que contienen mercurio son las lámparas fluorescentes, algunos termómetros, baterías e interruptores, y otros productos similares. Un proceso no industrial que usa mercurio es la minería en pequeña escala, en donde el mercurio elemental se usa para capturar el oro de la mezcla de rocas trituradas, de los sedimentos, del suelo o de otras partículas (Weinberg, 2007).

6.9.4.1.2 No intencionales

Son aquellas que surgen de actividades que queman o procesan combustibles fósiles, menas o minerales que contienen mercurio como una impureza no deseada. Ejemplos de ello son las carboeléctricas, los hornos de cemento, la extracción y refinación de minerales metálicos y la extracción de combustibles fósiles, como carbón, petróleo, esquisto bituminoso y arenas bituminosas.

Los incineradores y los rellenos sanitarios que se utilizan para eliminar productos y residuos con mercurio al término de su uso también liberan mercurio en el medio ambiente y hay quienes los colocan en la categoría de fuentes no intencionales (Weinberg, 2007).

6.9.4.1.3 *Actividades de removilización*

Son aquellas que surgen de las actividades humanas que queman o despejan bosques o que inundan grandes áreas. La quema o el despeje de bosques liberan grandes cantidades de mercurio que retorna al aire, especialmente en bosques boreales o tropicales. Los grandes proyectos de represas inundando vastas áreas y esto permite que el mercurio que ha quedado atrapado en la biomasa y en los suelos superficiales pueda convertirse con mayor facilidad en metilmercurio y entrar en la cadena alimentaria acuática. Las represas más pequeñas, que causan fluctuaciones en el nivel de las aguas del entorno, también pueden significar un problema (Weinberg, 2007).

6.10 Minería.

En Ecuador, la ininterrumpida presencia de empresas mineras, ha colocado a los recursos naturales en situación de análisis tanto en espacios académicos como sociales. Las actividades de exploración y explotación se realizan en medio del no respeto a los derechos e intereses de los habitantes, lo que ha ocasionado problemas sociales como: el desalojo de los habitantes de sus propiedades, la inconformidad de los comuneros por la continua contaminación del medio ambiente, la apropiación de los representantes de las transnacionales mineras de las viviendas y tierras, entre otros (Comisión Interamericana de Derechos Humanos, 2013).

6.10.1 *Minería artesanal*

La minería ilegal hoy en día es un auge en distintas partes del mundo principalmente Brasil con 132 minas ilegales seguido de Perú con 110, la región Amazónica es la más afectada, la minería ilegal es una actividad prohibida que se realiza principalmente en riberas de los ríos, lagunas, cabeceras cuencas y zonas de amortiguamiento de áreas naturales protegidas (Perú Ministerio del Ambiente, 2013).

Este tipo de minería es de gran interés ya que el impacto a nivel de contaminación es muy grande y afecta tanto al medio ambiente como a la salud humana. Las minas ilegales más comunes que causan gran contaminación son las de extracción de oro ya que desbastan miles de hectáreas de bosques, sin contar con los alarmantes números de árboles muertos en pie, además el gran movimiento de tierras altera los sistemas de drenaje y produce pérdidas de hábitat (Perú Ministerio del Ambiente, 2013).

Otro factor importante es que la extracción de oro de manera ilegal utiliza métodos que producen residuos tóxicos que contaminan el aire, los suelos y las aguas, su principal método se centra en la utilización de mercurio o cinabrio.

6.10.2 Antecedentes de contaminación por mercurio en Ecuador

La minería ilegal del Ecuador cuenta con 3 fases de extracción de metales con el uso de mercurio y estas son:

- Trituración: Luego de extraer los sedimentos, se procede a triturar con el fin de liberar partículas del metal que se busca, por ejemplo, el oro añadiendo agua y mercurio (Yépez, 2022).
- Molienda: Se separan las sustancias sólidas de las líquidas con el fin de extraer el oro adherido al mercurio al formar la amalgama, facilitando así la separación (Yépez, 2022).
- Calentamiento: Se calienta para evaporar el mercurio y así obtener el metal buscado, eliminando vapores de mercurio en el proceso (Yépez, 2022).

En base a los procesos que se llevan a cabo en la minería ilegal se puede evidenciar que el mercurio está presente en todos los procesos y por ello causa una gran cantidad de contaminantes en las aguas ecuatorianas.

Una evidencia reciente del daño que está causando la minería ilegal en el Ecuador se dio en la Provincia de Napo Río Piatua la comunidad de Tzawata, del cantón Carlos Julio Arosemena Tola, el día 25 de mayo del presente año al intentar cruzar el río se contaminaron con Mercurio por lo cual en estas partes del país se exige la suspensión de actividad minera en su territorio. Problemática que se evidencia a escala nacional por ilegales hacinados en yacimientos minerales como Buenos Aires, Imbabura, Zaruma, Provincia de El Oro, entre otros (APM, 2022).

7 Marco legal

En base a la pirámide de Kelsen se han establecido las normativas legales donde hacen mención sobre la gestión del recurso hídrico y el cuidado de los ecosistemas (flora y fauna).

7.1 Constitución de la República del Ecuador.

7.1.1 Art. 12

El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, indescriptible, inembargable y esencial para la vida (Constitución de la República del Ecuador., 2021).

7.1.2 Art. 15

Derecho de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto ambiental (Constitución de la República del Ecuador., 2021).

7.1.3 Art. 389

El estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antropogénico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad (Constitución de la República del Ecuador., 2021).

7.1.4 Art. 395

Reconoce los principios ambientales: Como modelos de desarrollo sustentable, aplicación de las políticas de gestión ambiental y, la participación activa y permanente de los ciudadanos (Constitución de la República del Ecuador., 2021).

7.2 Tratados y Convenios internacionales.

7.2.1 Convenio de Minamata

En el año 2013 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) establece controles sobre el suministro y comercio de mercurio, incluyendo la prohibición de nuevas minas de mercurio y eliminación de las existentes. Además, establece límites a las emisiones y liberaciones de mercurio de diversas fuentes, como las centrales eléctricas de carbón y los procesos industriales (Convenio Dictamen de la Corte Constitucional 11, 2015).

El Convenio de Minamata tiene como objetivo reducir la contaminación por mercurio y proteger la salud humana y el medio ambiente mediante la implementación de medidas para controlar el suministro y el comercio de mercurio, minimizar las emisiones de mercurio, promover el uso de alternativas, gestionar los desechos que contienen mercurio y crear conciencia sobre los riesgos de exposición al mercurio (Convenio Dictamen de la Corte Constitucional 11, 2015).

7.2.1.1 Convenio de Minamata sobre el Mercurio, Artículo 9, Anexo D

Establece límites para las emisiones y liberaciones de mercurio de diversas fuentes. Sin embargo, los límites específicos varían según la fuente y la actividad. Por ejemplo, para las centrales eléctricas de carbón, el límite es de 0,5 microgramos de mercurio por metro cúbico de gas de escape. Para las calderas industriales de carbón, el límite es de 0,2 microgramos de mercurio por metro cúbico de gas de escape. Para los procesos de fundición y calcinación utilizados en la

producción de metales no ferrosos, el límite es de 0.05 microgramos de mercurio por metro cúbico de gas de escape (Convenio Dictamen de la Corte Constitucional 11, 2015).

7.2.1.2 Convenio de Minamata sobre el Mercurio, Artículo 7

Aborda específicamente el uso de mercurio en la minería de oro artesanal y en pequeña escala. Además, establece medidas para reducir y, cuando sea factible, eliminar el uso de mercurio en esta actividad (Convenio Dictamen de la Corte Constitucional 11, 2015).

El plan nacional de acción requerido por el Convenio debe incluir estrategias para promover la reducción de emisiones y liberaciones de mercurio, así como la exposición a esta sustancia en la extracción y el tratamiento de oro artesanal y en pequeña escala. Esto incluye la promoción de métodos sin mercurio y la utilización o introducción de normas para la extracción de oro sin mercurio (Convenio Dictamen de la Corte Constitucional 11, 2015).

Estas medidas buscan proteger la salud humana y el medio ambiente al reducir la exposición al mercurio y promover prácticas más seguras y sostenibles en la minería de oro artesanal y en pequeña escala (Convenio Dictamen de la Corte Constitucional 11, 2015).

7.2.2 Límite permitido de mercurio en el agua

Metal que ocurre en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas. El nivel establecido por la OMS es de 0.001 mg/l, el cual presenta un comportamiento muy homogéneo al ser adoptado por el 88.88% de los países. Solo los Estados Unidos (0.002 mg/l) y Ecuador (0.01 mg/l) permiten una concentración mayor de este metal en el agua, conformando el 11.11%. (Truque, s,f).

Tabla 2.

Porcentaje permitido de mercurio.

Contaminante	Unidad	OMS	Argentina	Bolivia	Brasil	Chile	Colombia	Ecuador
Mercurio	Mg/L	0.001	0.001	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.01

Elaborado por: (Truque, s,f)

7.3 Código Orgánico Ambiental (COA).

7.3.1 Art. 38

Mantener la dinámica hidrológica de las cuencas hidrográficas y proteger los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas. (Código Orgánico del Ambiente, 2017)

7.3.2 Art. 191

Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo: Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para la reducción y mitigación. (Código Orgánico del Ambiente, 2017)

7.4 Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.

7.4.1 Art. 8

La agencia de Regulación y control del agua ejercerá la regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes y zonas de recarga, calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y en todos los usos, aprovechamientos y destinos del agua.

7.4.2 Art. 49

Funciones de las Juntas de Riego.

g) Colaborar con la secretaria del agua en la protección de las fuentes de abastecimiento de agua del sistema de riego evitando su contaminación.

7.5 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria.

7.5.1 Art. 209

De la calidad de agua: La evaluación y control de la calidad de agua, se la realizara con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores.

7.5.2 Art. 210

Prohibición: *b)* Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación.

7.5.3 Art. 211

Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. – La gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento.

7.5.4 Art. 3.- Glosario. - Los términos establecidos en este Libro tienen la categoría de definición

7.5.4.1 Actividad ilícita ambiental

Es aquella que se deriva de una actuación que violente el ordenamiento jurídico ambiental y, por tanto, no cuenta con los permisos ambientales otorgados por las autoridades administrativas correspondientes (TULSMA, 2017).

7.5.4.2 Contaminante

Cualquier elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, que causa un efecto adverso al aire, agua, suelo, flora, fauna, seres humanos, a su interrelación o al ambiente en general (TULSMA, 2017).

7.5.4.3 Daño ambiental

Es el impacto ambiental negativo irreversible en las condiciones ambientales presentes en un espacio y tiempo determinado, ocasionado durante el desarrollo de proyectos o actividades, que conducen en un corto, mediano o largo plazo a un desequilibrio en las funciones de los ecosistemas y que altera el suministro de servicios y bienes que tales ecosistemas aportan a la sociedad (TULSMA, 2017).

7.5.5 Art. 141. Áreas de protección hídrica.

La Autoridad Única del Agua establecerá y delimitará las áreas de protección hídrica. La Autoridad Ambiental Nacional las integrará al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, mediante declaratoria; y determinará la categoría de manejo y el subsistema que les corresponda.

7.5.6 Art. 759. Descargas.

Se prohíbe la descarga de desechos a las playas, la franja adyacente de titularidad del Estado y el mar. No se podrán descargar aguas residuales operacionales que no cumplan lo establecido en las normas nacionales que regulan los límites permisibles de descarga, y los convenios internacionales. Las aguas de lastre deberán ser descargadas tomándose como referencia lo establecido en el Convenio sobre la Gestión de Aguas de Lastre y Sedimentos.

7.5.7 Acuerdo Ministerial 097 A

7.5.8 3.1

El proceso de control de la contaminación del recurso hídrico se basa en el mantenimiento de la calidad del mismo para la preservación de los usos asignados a través del cumplimiento de la respectiva norma de calidad.

7.5.9 3.3

Para del control de la contaminación de los cuerpos de agua de cualquier tipo, de acuerdo a la actividad regulada, el sujeto de control entre otras realizar las siguientes actividades: desarrollar del plan de manejo ambiental, en el que incluyen el tratamiento de su efluente previo a la descarga, actividades de control de la contaminación por escorrentía pluvial, y demás actividades que permitan prevenir y controlar posibles impactos ambientales (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente., 2017).

8 VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Hipótesis generales:

Hipótesis Nula: La aplicación de biochar con la composición de 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino no generará mejoras en la calidad de agua contaminada con metales pesados.

Hipótesis Alternativa: La aplicación de biochar con la composición de 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino generará mejoras en la calidad de agua contaminada con metales pesados.

9 METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1 Enfoque de la investigación

Se utilizo un enfoque cualitativo ya que se trata de optimizar el mejor tratamiento para la remoción de metales pesados. Se espera que este estudio proporcione datos útiles sobre el mejor uso del biochar y utilidad para mejorar la calidad del agua, se medirá entre diversas variables como el pH, densidad aparente, el material volátil, entre otras características de suma importancia para la determinación de su eficacia.

La aplicación de biochar a partir de materia orgánica de heces de vacunos y porcinos en aguas contaminadas es una técnica de gran interés debido al potencial que aporta para mitigar la contaminación del agua y mejora la calidad del agua. El biochar es un material carbonáceo producido a través de la pirólisis de biomasa en este caso heces de vacunos y porcino en ausencia de oxígeno. Tiene una estructura porosa y una gran área superficial, lo que contiene propiedades únicas para la retención de nutrientes y metales pesados.

9.1.1 *Absorción de mercurio*

El biochar tiene una alta capacidad de adsorción, por lo que puede llegar a atrapar y retener metales pesados como el mercurio en su superficie. En el momento de la aplicación de biochar a partir de heces de vacunos y porcinos en aguas contaminadas, el material puede llegar a adsorber parte del mercurio presente en el agua, de esta manera reduce así la concentración y potencialmente mejora la calidad del agua.

9.1.2 Estabilización de mercurio

La aplicación de biochar podría ayudar a estabilizar el mercurio presente en el agua, convirtiéndolo en formas menos tóxicas y solubles. Esto podría llegar a reducir la biodisponibilidad del mercurio para los organismos acuáticos y minimizar su impacto en la cadena alimentaria.

9.1.3 Mejora de la calidad del agua

La reducción de la concentración de mercurio presente en el agua contaminada puede llegar a tener un efecto positivo ya que mejora la calidad del agua, lo que a su vez beneficiará a los ecosistemas acuáticos y a la salud humana.

9.2 Tipos de investigación

La producción de biochar a partir de heces de vacunos y porcinos es un proceso que puede ser beneficioso en términos de gestión de residuos y producción de un material útil para la mejora de la calidad del agua. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el proceso debe realizarse de manera controlada para evitar la liberación de gases dañinos y para garantizar que el biochar sea óptimo para su uso.

9.2.1 Investigación de campo

Esta investigación se aplicó de una manera práctica en la que se determinó cuál era el mejor momento en el que se recolectaran las muestras de heces de vacunos y porcinos, para analizar su eficacia.

9.2.2 Investigación Analítica

La investigación analítica permitió analizar e interpretar los resultados del muestreo de biogás para establecer su eficiencia y su poder de remoción.

9.2.3 Investigación descriptiva.

La investigación descriptiva se usó para la obtención de las bases de conocimiento necesarias para aplicar de una manera correcta los tratamientos y determinar cuál es el método con más eficacia.

9.2.4 Observación Directa

Mediante la presente investigación se determinó la eficacia del biochar aplicado para la remoción de metales pesados en el agua, mediante pruebas en el laboratorio se ha determinado la eficacia del método aplicado.

9.2.5 Monitorio

El monitoreo se realizó durante los tratamientos, lo que permitió la obtención de datos, también se pudo identificar las técnicas más eficaces para la remoción de metales pesados en aguas contaminadas a través de filtraciones verificando su nivel de efectividad.

9.2.6 Análisis de Datos

El análisis de datos permitió obtener resultados de cada uno de los tratamientos para de esta manera determinar la eficacia de los tratamientos aplicados para posteriormente basarse en tablas de frecuencia para conocer datos más precisos acerca de la remoción de metales pesados en aguas contaminadas.

10 Técnicas

Para el presente proyecto de investigación se utilizó las siguientes técnicas:

10.1.1 Técnica de Investigación Bibliológica

Por medio de esta técnica se obtuvo información relevante de material bibliográfico de acuerdo a la investigación y el tema elaborado. Dentro de la investigación fue muy importantes este tipo de técnica ya que incluye información adecuada y confiable.

10.1.1.1 Técnica de Investigación experimental

Se ha realizado una investigación experimental para poder llegar a evaluar la eficacia y efectividad de una o varias muestras de biochar, esto implica la manipulación deliberada de variables y la medición de sus efectos en el biochar. Se ha realizado el experimento a nivel de laboratorio con el objetivo de establecer relaciones causa-efecto y obtener datos cuantitativos precisos.

10.1.1.2 Diseño Experimental

Para poder determinar la eficiencia de los tratamientos de las muestras filtradas por el biochar hecho en base a materia orgánica de haces de vacunos y porcinos, se ha aplicado el método por tablas de frecuencias para cada variable.

10.1.1.2.1 Análisis por tablas de frecuencia

Un análisis por tabal de frecuencia es una herramienta estadística que se utiliza para resumir y presentar datos en forma de una tabla que muestra la distribución de frecuencias de diferentes categorías o valores en un conjunto de datos.

Es de gran importancia ya que proporciona información esencial para la caracterización de los materiales, la optimización de los tratamientos, la estimación del renacimiento, el control de calidad, la toma de decisiones y la sostenibilidad de recursos.

10.2 Instrumentos

10.2.1 *Libreta de campo*

Una libreta de campo es una herramienta esencial en la realización de estudios de campo, como en el caso de la investigación sobre biochar. Ayuda a los investigadores a recopilar y organizar datos de manera efectiva mientras están en el campo, donde pueden ocurrir observaciones, mediciones y eventos importantes.

10.2.2 *Cámara o dispositivos de imágenes*

Es importante tomar fotografías o videos de las muestras del biochar, condiciones ambientales y otros elementos relevantes que pueden proporcionar un registro visual valioso.

10.2.3 *Herramientas de muestreo*

Las herramientas de muestreo son importantes ya que deben ser las adecuadas para obtener una recolección del material orgánico en la que no lleguen a influir todo tipo de factores, entre las herramientas que se pueden incluir son espátulas, pinzas y otras herramientas.

10.3 Equipos y herramientas

10.3.1 *Mufla de Laboratorio*

Es un equipo que se utiliza con frecuencia en los laboratorios para una variedad de procesos de laboratorio. Por su sensibilidad a la temperatura y excelente aislamiento térmico, es perfecto para trabajar en laboratorios para evitar fugas y transferencia de calor dentro del área de trabajo (Cislab, 2023).

Ilustración 1.

Mufla de laboratorio.



Elaborado por: (Cislab, 2023).

10.3.2 Crisoles

Un crisol de porcelana es una pieza de equipo de laboratorio que se utiliza para calcinar, quemar, derretir y calentar sustancias. Es resistente al calor debido a su construcción de porcelana. En análisis gravimétricos, se utiliza con frecuencia. Algunos crisoles tienen pequeños orificios en el fondo que permiten realizar un proceso de filtración, lo cual es muy útil cuando se toman medidas gravimétricas (Cislab, 2023).

Ilustración 2.

Crisol y pinzas para crisol.



Elaborado por: (Cislab, 2023).

10.3.3 Papel filtro

Es un método físico que se emplea para la separación de sólidos en medios líquidos a través de la interposición de un medio permeable o semipermeable, tiene como acción retener estas partículas sólidas presente en un fluido. Las características de estos materiales filtrantes dependerán de la aplicación que se vaya a ejercer. La temperatura, compatibilidad química, tamaño del poro, diámetros, entre otros. Es indispensable determinar estas propiedades al momento de realizar la técnica (Labomersa, 2021).

Ilustración 3.

Papel filtro.



Elaborado por: (Instrumentos de laboratorio., 2022).

10.3.4 Embudo

Un embudo de laboratorio es un recipiente cónico hueco con un tubo de longitud variable que parte de su vértice, utilizado para verter fluidos de un recipiente a otro, en filtración y otras tareas. Los embudos se pueden usar para evitar derrames al verter productos químicos de un recipiente a otro, y también se pueden equipar con un filtro para separar los sólidos de los líquidos (OneLab, 2023).

Ilustración 4.

Embudo de filtración de laboratorio.



Elaborado por: (OneLab, 2023).

10.3.5 Vasos de precipitados de 60, 250, 100, 80, 50 y 100 mililitros

Su objetivo principal es contener líquidos o productos químicos de diversa índole. Como su nombre indica, permite la extracción de precipitados de la reacción de otras sustancias.

Por lo general, sirve como un medio para mover líquidos a otros contenedores. Además, se puede emplear para calentar, disolver o establecer reacciones químicas (Kitlab, 2023).

Ilustración 5.

Vasos de precipitación.



Elaborado por: (Kitlab, 2023).

10.3.6 Campana extractora

Al igual que otros equipos de ventilación locales, la vitrina de gases está diseñada para abordar uno o más de los tres objetivos principales.

Otras funciones secundarias, la contención de derrames y otras funciones necesarias para el trabajo que se realiza en el interior del dispositivo, son necesarias para operar los ventiladores que extraen el aire, y para calentar, enfriar, filtrar, controlar y mover el aire que reemplazará el aire agotado.

Ilustración 6.

Campana de extracción para químicos.



Elaborado por: (System engineering expert of Science Laboratory, s.f).

10.3.7 Cuenta gotas

Un cuentagotas es un tubo hueco con un fondo y una parte superior cónicas, cerrado con una perilla o dedal de goma.

El riego por goteo se utiliza para mover pequeñas cantidades de líquido, a menudo se utilizan para agregar reactivos, soluciones indicadoras o pequeñas cantidades de productos en laboratorios que utilizan productos químicos. Se desaconseja si necesita verter una cantidad precisa de líquido. Para estos casos existen herramientas más adecuadas como pipetas o buretas. (Carlos, 2022)

Ilustración 7.

Cuenta gotas.



Elaborado por: (Carlos, 2022).

10.3.8 Mortero

Es una herramienta que consta de una mano pequeña y un recipiente de paredes gruesas que se utiliza para triturar el ingrediente. Viene en una variedad de tamaños que se pueden adaptar a una aplicación determinada. Las medidas más populares varían en volumen de 80 ml a 500 ml (Kitlab, 2023).

Por lo general, se construyen con mármol, vidrio, piedra, porcelana y madera. Las funciones del mortero incluyen triturar, mezclar y triturar sólidos. Permite la reducción a polvo de componentes químicos sólidos o el mantenimiento de componentes de menor tamaño.

Ilustración 8.

Mortero.



Elaborado por: (Kitlab, 2023).

10.3.9 Pipetas

Permiten transferir volúmenes, normalmente no superiores a 20 ml, de un recipiente a otro de forma precisa.

La función principal de una pipeta es medir una alícuota de un líquido con suficiente precisión.

Del mismo modo, las pipetas también se utilizan junto con las pipetas. Es un instrumento de laboratorio que succiona líquidos y así transfiere varios líquidos de un recipiente a otro. Sin embargo, también puede usar bombillas de succión que realizan la misma función que las pajillas. La función de ambas herramientas es evitar que se introduzcan en la boca líquidos venenosos, venenosos, corrosivos o vaporosos (Kitlab, 2023).

Ilustración 9.

Pipetas.



Elaborado por: (Kitlab, 2023).

10.3.10 Soporte de bureta

El soporte de bureta es un dispositivo utilizado en el laboratorio para sostener y estabilizar la bureta durante las titulaciones. Consiste en una base con una barra vertical y una pinza ajustable que sujeta la bureta en su lugar. El soporte de bureta es esencial para garantizar la precisión y la seguridad durante el proceso de titulación (Onelab, 2022).

Ilustración 10.

Soporte de pipeta de laboratorio.



Elaborado por: (Onelab, 2022).

10.3.11 Agitador magnético

El agitador magnético es un dispositivo utilizado en el laboratorio para mezclar líquidos de manera eficiente y homogénea. Consiste en una placa con un imán giratorio en su interior, que genera un campo magnético. Al colocar un recipiente con la muestra líquida sobre la placa, el imán giratorio crea un movimiento circular en el líquido, promoviendo la mezcla. El agitador magnético es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones científicas y químicas (Kalstein, 2022).

Ilustración 11.

Agitador magnético.



Elaborado por: (Kalstein, 2022).

10.3.12 Tubos de ensayo

Los tubos de ensayo se utilizan en experimentos de química para contener y mezclar líquidos como agua, alcohol o ácidos, entre otros fines en el laboratorio (Galileo, 2022).

Ilustración 12.

Tubos de ensayo.



Elaborado por: (Galileo, 2022).

10.3.13 Matraces Erlenmeyer

El matraz Erlenmeyer tiene diversos usos, como contener y medir muestras de líquidos químicos, pero también se puede usar para mezclar, calentar y hervir productos químicos (OneLab, 2023).

Ilustración 13.

Matraces Erlenmeyer.



Elaborado por: (OneLab, 2023).

10.3.14 Gradilla

La gradilla es un dispositivo utilizado en el laboratorio para sostener y organizar los tubos de ensayo durante los experimentos. Consiste en una estructura con múltiples ranuras o agujeros donde se pueden colocar los tubos de ensayo de manera vertical. La gradilla proporciona estabilidad y facilita el acceso a los tubos, permitiendo su manipulación de forma segura y ordenada (Lifender, 2023).

Ilustración 14.

Gradilla de tubos de ensayo.



Elaborado por: (Lifender, 2023).

10.3.15 *pH-metro*

El pH-metro es un instrumento científico utilizado para medir la actividad del ion hidrógeno en soluciones acuosas, lo que indica su grado de acidez o alcalinidad expresado como pH. Esta diferencia de potencial se relaciona con la acidez o el pH de la solución. El pH-metro se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde experimentos de laboratorio hasta control de calidad (Kalstein, 2021).

Ilustración 15.

pH-metro.



Elaborado por: (Kalstein, 2021).

10.3.16 *Picnómetro*

El picnómetro es un instrumento utilizado en el laboratorio para determinar la densidad de líquidos. Consiste en un pequeño frasco de vidrio con una tapa hermética y una escala de medición en su cuerpo. Se utiliza llenando el picnómetro con el líquido de interés y luego pesándolo. Con esta información, se puede calcular la densidad del líquido utilizando la fórmula de densidad = masa/volumen. El picnómetro

es especialmente útil cuando se requiere una medición precisa de la densidad de un líquido (CROMTEK, 2020).

Ilustración 16.

Picnómetro.



Elaborado por: (CROMTEK, 2020).

10.3.17 Balanza gr

La balanza gr es una herramienta esencial en el laboratorio utilizada para medir y pesar la masa de un objeto o sustancia. Las revisiones periódicas son necesarias para asegurar su correcto funcionamiento (Kalstein, 2022).

Ilustración 17.

Balanza en gramos.



Elaborado por: (Kalstein, 2022).

10.3.18 Tiras de pH.

Las tiras de papel indicador se usan tanto a nivel de laboratorio como a nivel particular o casero, siendo incluso utilizadas en los laboratorios clínicos, sobre todo para el análisis de la orina.

La medida del pH de un líquido indica si un líquido es ácido, neutro o alcalino. En algunos casos, esta medida es muy importante, por ejemplo, cuando desea determinar si un desinfectante sigue siendo efectivo y también es usado para saber si el agua de la piscina está dentro de los valores correctos, etc.

Para determinar el pH de un líquido, puede usar cintas reactivas de pH. En este artículo encontrará toda la información sobre el uso de las tiras reactivas para pH (pH-metros10, 2021).

Ilustración 18.

Tiras de pH.



Elaborado por: (pH-metros10, 2021).

10.3.19 Tiras de alcalinidad Insta-test

Las tiras de alcalinidad Insta-TEST® son una manera fácil y rápida de analizar la alcalinidad en agua. Estas tiras obtuvieron resultados en un rango de 0-40-80-120-180 ppm y son ideales para analizar agua potable o utilizar en industrias como la de alimentos o bebidas (SATIA, 2023).

Ilustración 19.

Tiras de alcalinidad de marca Insta-test.



Elaborado por: (SATIA, 2023).

10.4 Reactivos

10.4.1 Ácido clorhídrico

Forma hidrógeno a través de reacciones con una variedad de metales. También produce calor cuando reacciona con el agua. Puede reaccionar con agentes oxidantes potentes. Sirve como catalizador para una variedad de reacciones químicas. Se corroe bastante bien. Además de disolver tejidos orgánicos, sales y minerales, también puede disolver metales (creando iones metálicos oxidados) (Enciclopedia Humanidades, 2023).

Ilustración 20.

Ácido clorhídrico.



Elaborado por: (Enciclopedia Humanidades, 2023).

10.4.2 Agua destilada

Se refiere al agua que se ha sometido a un proceso de destilación para eliminar los iones y otras impurezas de la fuente de agua.

- Las siguientes son las principales cualidades y ventajas del agua destilada.
- Los microorganismos, las sales minerales, los electrolitos y otros contaminantes están ausentes.
- El pH es de aproximadamente 5,8.
- Debido a su capacidad para servir como reactivo químico y solvente, el agua destilada se usa específicamente en laboratorios, la industria manufacturera y el campo médico.

Ilustración 21.

Agua destilada.



Elaborado por: (Zarza, 2023).

10.4.3 Fenolftaleína

Se utiliza comúnmente como indicador de valoraciones ácido-base. Pertenece a la clase de colorantes conocidos como colorantes de ftaleína (ACS, 2019).

Ilustración 22.

Frasco de fenolftaleína.



Elaborado por: (ACS, 2019).

11 METODOLOGÍA**11.1 Fase dos:****11.1.1 Obtención de la biomasa.****11.1.1.1 Selección de la materia orgánica.**

La selección de la materia orgánica ha sido considerada por los beneficios y la facilidad de obtención ya que la industria ganadera genera grandes cantidades de heces ya sean en caso de vacunos o porcinos, sin embargo, esto puede ser un problema si no se maneja, por lo que el uso de esta materia orgánica

puede llegar a reducir la necesidad de desecharlos en vertederos o estercoleros, reduciendo así la contaminación de recursos hídricos y suelo.

11.1.1.2 *Recolección de la materia orgánica*

La recolección de la materia orgánica a partir de heces de vacunos y porcinos. Se recogió 4.57 kg de materia orgánica fresca de heces de vacuno y 4.77 kg de heces de porcino luego se colocó en un lugar bajo techo a temperatura ambiente alrededor de nueve (9) días para de esta manera reducir la humedad antes de iniciar con el proceso de pirólisis.

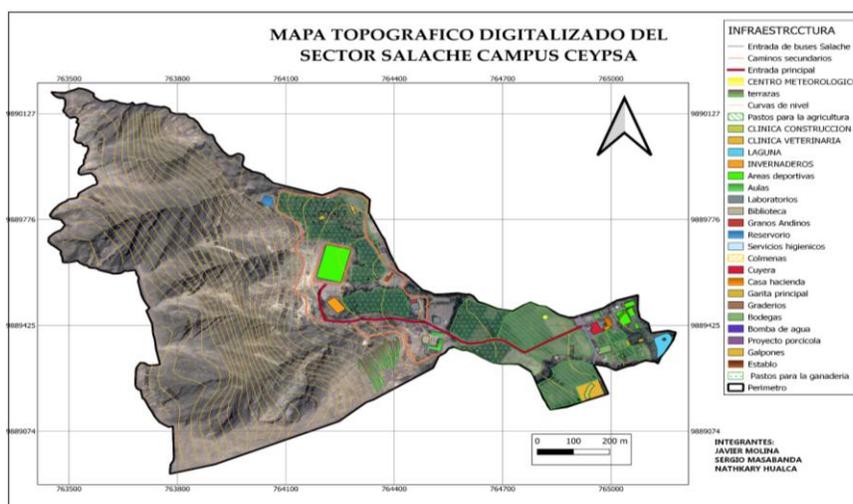
11.1.1.3 *Tratamiento de la materia orgánica.*

La materia prima que se utilizó fue las heces de vacunos y porcinos que se obtuvo de las granjas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, campus CEYPSA que se encuentra ubicado en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, como se puede ver en la (Ilustración 23) Se recolectó 10,080 lb de estiércol de vacuno y 10,51 lb de estiércol de porcino, ya que se lo conserva en un lugar sin humedad y se procede al secado de la materia prima.

Se realizó el cálculo del porcentaje de humedad (Ecuación 1), teniendo en cuenta que debe estar en un rango entre el 20%-30%.

Ilustración 23.

Mapa de la ubicación de la Universidad Técnica de Cotopaxi.



Elaborado por: Autora.

Nota: Se realizó la recolección de las muestras en el sector Salache campus Ceypsa en los establos de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

11.1.1.4 *Producción del biochar.*

Para poder producir biochar la materia que ya fue seca, se recolectó y se prosiguió a triturar la materia, fue sometida a un proceso de pirólisis en mufla, el que consiste en poner las heces de porcino y vacuno en crisoles, tomando en cuenta el peso de la materia y del crisol. Se realizó a diferentes temperaturas tales como 300 °C, 350 °C, 400 °C por un lapso de 30 minutos. Una vez que se dejó el tiempo ya preestablecido se colocó en un desecador para que baje su temperatura y se procedió al pesado del crisol y del biochar que se obtuvo (Ilustración 24).

Ilustración 24.

Mufla alcanzando la temperatura de 300 °C.



Elaborado por: Autora.

Ilustración 25.

Pesado de crisol con materia orgánica de heces de vacuno y porcino al finalizar su proceso en la mufla.



Elaborado por: Autora.

11.2 Fase tres:

11.2.1 Análisis de datos

11.2.1.1 Porcentaje de humedad del biochar.

La obtención de los datos de la humedad de las muestras es muy importante ya que con estos datos se podrán realizar cálculos.

Ecuación 1. Cálculo de la humedad de las heces de vacunos y porcinos.

$$\text{Humedad} = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \cdot 100$$

Nota: Aplicando esta ecuación se ha obtenido la humedad que contenían las heces de vacunos y porcinos, utilizando el peso seco y el peso inicial de las muestras.

Ilustración 26.

a) Biochar vacuno y porcino a 300 °C. b) Biochar vacuno y porcino a 350 °C. c) Biochar de vacuno y porcino a 400 °C.



Nota: Tipos de biochar a distintas temperaturas. Elaborado por: Autora.

11.2.1.2 Determinación del rendimiento del biochar de heces de vacuno y porcinos.

En el transcurso del proceso de producción del biochar, para determinar el rendimiento se ha utilizado la (Ecuación 2), se estimó que dividiendo el peso del biocarbón por la cantidad o el peso de la biomasa seca. El rendimiento es importante y el valor se representa en porcentaje. (Trujillo, Valencia, Alegría, Alejandrina, & Césare, 2019)

Ecuación 2. Rendimiento de la carbonización.

$$\text{Rendimiento de la carbonización \%} = \frac{\text{Peso del biochar}}{\text{Peso de la biomasa seca}} \cdot 100$$

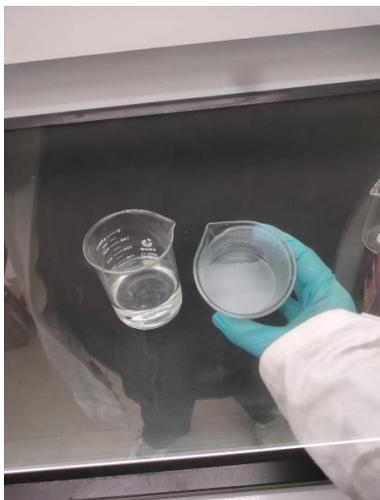
Nota: La ecuación propuesta fue aplicada para obtener los datos de los rendimientos del biochar.

11.2.2 Análisis del agua

Se realizó una solución de mercurio a una concentración de 6 moles por litro (6M), es importante tener un manejo correcto para realizar este procedimiento ya que el manejo de mercurio es extremadamente peligroso debido a su toxicidad. Esta solución se realizó en un entorno de laboratorio adecuado y siguiendo las regulaciones y precauciones de seguridad.

Ilustración 27.

Muestra de agua contaminada con mercurio a nivel de laboratorio.



Elaborado por: Autora.

11.2.3 Caracterización del biochar.

Para la caracterización del biochar existen varios parámetros que deben ser tomados en cuenta, entre estos uno de los más fundamentales se tiene el análisis del material particulado, cenizas de biochar, el pH, la alcalinidad y el contenido de humedad que contiene el biochar de vacuno y porcino que han sido obtenidos mediante diferentes procesos, los resultados han sido analizados de manera minuciosa.

11.2.3.1 pH y alcalinidad

La determinación del pH y la alcalinidad del biochar es importante para comprender su capacidad de neutralizar ácidos y su potencial de afectar el pH de los suelos o medios en los que se aplique.

- **Determinación del pH.**

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia. Puedes determinar el pH del biochar utilizando un medidor de pH o papel indicador de pH.

- **Determinación de la alcalinidad.**

La alcalinidad es una medida de la capacidad de una sustancia para neutralizar ácidos. Puedes determinar la alcalinidad del biochar mediante un método título métrico, utilizando una solución de ácido y una base para medir el consumo de ácido necesaria para neutralizar el biochar.

11.2.3.2 *Densidad aparente.*

La densidad aparente se refiere a la masa de biochar por unidad de volumen. Todo esto teniendo en cuenta tanto la materia orgánica en este caso heces de vacunos y porcinos, como los espacios vacíos entre las partículas. Esto es de gran importancia para caracterizar las propiedades y la calidad del biochar.

Esto se llevó a cabo por el método de la probeta que trata de poner 2 gramos de la muestra en una probeta, que ha sido previamente pesada y compactarla hasta quede homogeneizado y distribuida en la probeta, luego de eso se midió el volumen ocupado por la muestra y se pesó la probeta con la muestra (Ilustración 28), la prueba fue llevada a cabo con heces de vacuno y porcino a diferentes temperaturas en este caso son de 300 °C, 350 °C y 400 °C, se determinó la densidad aparente mediante la ecuación 3.

Ilustración 28.

Pesado de la probeta con muestra.



Elaborado por: Autora.

Ecuación 3. Densidad aparente.

$$SA = \frac{W_{pm} - W_p}{V}$$

Nota: La fórmula se aplicó para obtener datos de la densidad aparente de las muestras de biochar.

Donde:

- W_p = Peso de la probeta vacía.
- W_{pm} = Peso de la probeta con la muestra.
- V = Volumen que ocupó la muestra compactada en la probeta.

11.2.3.3 *Densidad Real*

La densidad real se refiere a la masa de biochar por unidad de volumen, es de gran importancia determinar esto ya que, dependiendo de su capacidad de retención de agua, la estabilidad que tienen y la interacción que pueden llegar a tener con otros componentes.

El método que se ha utilizado para determinar la densidad real es conocido como la del picnómetro. Para empezar, se determinó el peso del picnómetro que va a ser utilizado, luego se pesó y se puso 0,5 gr de la muestra y se pesó nuevamente (Ilustración 29), después se aforo el picnómetro con agua destilada y se pesó, procurando secar de manera adecuada para no tener errores en la medición y para terminar se pesó el picnómetro solo con agua destilada, la prueba se realizó con muestras de diferentes temperaturas tales como 300 °C, 350 °C y 400 °C, esto con el fin de analizar y analizar la diferencia de densidades reales. Con los datos que se han obtenido se aplicó una ecuación para determinar la densidad real (Mettler Toledo, s.f.)

Ilustración 29.

Pesado del picnómetro con la muestra de materia orgánica heces de vacuno y porcino a una temperatura de 350 °C.



Elaborado por: Autora.

Ecuación 4. Densidad real.

$$SR = \frac{W_{pm} - W_p}{m + W_{pw} - W_{pmw}} \cdot S_w$$

Nota: La fórmula se utilizó para obtener la densidad real de las muestras de biochar a sus diferentes temperaturas.

En donde:

- W_{pm} = Peso del picnómetro con la muestra.
- W_p = Peso del picnómetro vacío.
- m = Masa

- W_{pw} = Peso del picnómetro con agua.
- W_{pmw} = Peso del picnómetro con la muestra y aforado con agua destilada.
- S_w = Densidad del agua (kg/m^3)

11.2.3.4 Determinación de la porosidad

“Es de gran importancia determinar la porosidad para la investigación, ya que este es uno de los parámetros que ayudan a determinar un estimado de la estructura de la superficie del biochar, ya que en los poros es en donde se va a retener los iones del metal en este caso el mercurio (Hg), la porosidad se determinó mediante la siguiente ecuación” (Atarés Huerta, 2015).

Ecuación 5. Determinación de la porosidad.

$$E = \frac{SR - SA}{SR} \cdot 100$$

Nota: La fórmula fue utilizada para determinar la porosidad en las muestras de biochar.

En donde:

- SR = Densidad real
- SA = Densidad aparente.

11.2.4 Método de obtención de datos

Esto se realizó a través de la recolección de materia orgánica en este caso de heces de vacunos y porcino, por lo que se recolectó datos de la materia orgánica inicial tomando en cuenta el peso seco y después de la pirólisis, por lo que se ha llegado a los siguientes resultados viendo el total de materia orgánica que se obtuvo en diferentes temperaturas lo que se puede evidenciar mejor en el (Anexo 14).

11.3 Fase tres:

11.3.1.1 Triangulación de datos con otros métodos

11.3.1.1.1 Método electroquímico

En el método interviene una placa metálica (un electrodo), que une a ella metales pesados específicos. El electrodo está hecho del metal noble platino, y a través de un proceso electroquímico extrae el mercurio del agua para formar una aleación de los dos. De esta forma, el agua queda limpia de contaminación por mercurio. La aleación formada por los dos metales es muy estable, de modo que no hay riesgo de que el mercurio vuelva a entrar en el agua. (Nuevo método para eliminar mercurio del agua, 2019).

Los procesos electroquímicos tienen limitaciones por el transporte de masa y el área específica de los electrodos los cuales afectan el rendimiento del proceso. (Rincón, 2013)

11.3.1.1.2 Fotocatálisis heterogénea

Los procesos fotocatalíticos se desarrollan mediante la irradiación de la disolución acuosa de mercurio en la que se suspende el fotocatalizador (REMTAVARES, 2012).

El mercurio eliminado de la disolución queda depositado en forma de mercurio metálico y calomelano sobre la superficie del catalizador empleado, a partir del cual puede recuperarse fácilmente (REMTAVARES, 2012).

Al método usa de manera conjunta el catalizador y la fuente de iluminación estén próximos o en contacto el uno con el otro se puede crear problemas de sobrecalentamiento de agua y esto causaría vaporización de productos en sistemas abiertos (Fotocatálisis, s,f).

11.3.1.1.3 Comparación

El método de utilizar y producir biochar es más eficiente, es fácil de aplicar ya que su materia orgánica es fácil de conseguir, mientras tanto para que el método electroquímico sea aplicado se debe tener maquinaria especializada lo que hace que incurra en gastos; de modo que este método sea un poco complicado de aplicar, por otra parte, existen varios métodos tal es el caso de foto catalizadores heterogéneos que tienen la misma eficacia que el biochar pero en este caso se utiliza bastante energía, también causa evaporación de agua por el sobrecalentamiento de la maquinaria utilizada en el proceso. El biochar dependiendo de la materia puede llegar a remover el mayor porcentaje de metales pesados disueltos en el agua y de esta manera mejorando la calidad del agua.

12 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este punto se presentan los resultados que se obtuvieron en el proyecto experimental, los mismo que son positivos, ya que se evidencio que el biochar como absorbente de mercurio en aguas contaminadas.

13 Análisis de resultados estadísticos.

Para determinar el tratamiento que tiene más eficacia se utilizó el método estadístico por tablas de frecuencia, de esta manera se ha podido obtener resultados que benefician a la remoción de mercurio en agua contaminada, se han analizado los datos obtenidos y se ha verificado que el tratamiento que más ha funcionada es el biochar con un peso de 8 gramos que estuvo expuesto a una temperatura de 400 °C, en este tratamiento se ha visto un muy bajo nivel de partículas de mercurio.

Removiendo la contaminación que se encontraba en la muestra inicial, la eficacia de este tratamiento es de un 85% a un 90% después del tratamiento empleado esto se ha logrado determinar por el número de tratamientos empleados.

13.1.1.1.1 Tablas de frecuencia.

En la primera filtración de un gramo se ha tomado en cuenta biomasa de 50% de biochar a partir de heces de vacunos y 50% de biochar a partir de heces de porcino, en base a la tabla de frecuencia se ha determinado cual es la temperatura adecuada para obtener un mejor tratamiento, en este caso el tratamiento en el que se ha visto más eficacia es el biochar expuesto a una temperatura de 400 °C.

Tabla 3.

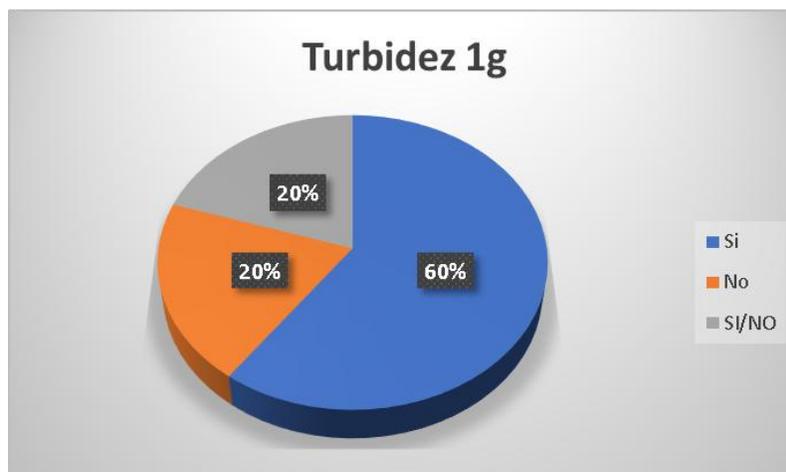
Tabla de frecuencia de tratamiento de agua para 1 gramo de biochar.

Turbidez	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
Si	9	0,600	60,00%	9
No	3	0,200	20,00%	12
SI/NO	3	0,200	20,00%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

Elaborado por: Autora.

Ilustración 30.

Porcentaje de turbidez para 1 gramo.



Elaborado por: Autora.

Tabla 4.

Tabla de frecuencia de eficacia del tratamiento de agua para 1 gramo de biochar.

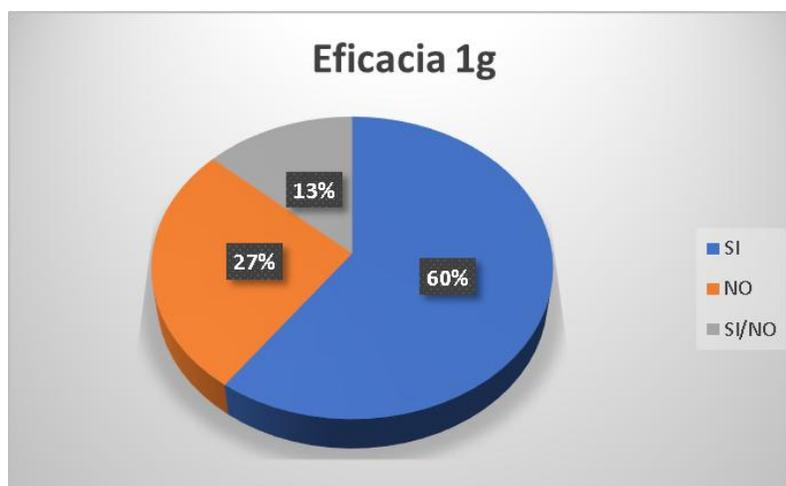
Eficacia	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
SI	9	0,600	60,00%	9

NO	4	0,267	26,67%	13
SI/NO	2	0,133	13,33%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

Elaborado por: Autora.

Ilustración 31.

Porcentaje de eficacia para 1 gramo.



Elaborado por: Autora.

Tabla 5.

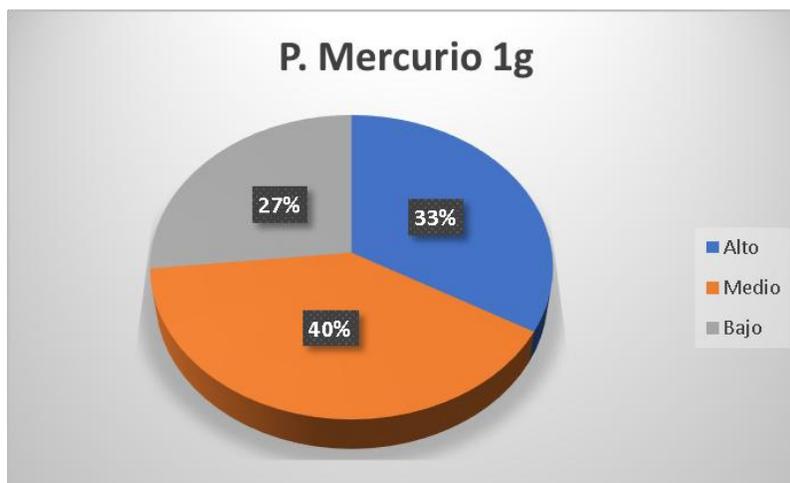
Tabla de porcentaje de partículas de mercurio en el tratamiento de 1 gramo.

P. Mercurio	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
Alto	5	0,333	33,33%	5
Medio	6	0,400	40,00%	11
Bajo	4	0,267	26,67%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

Elaborado por: Autora.

Ilustración 32.

Porcentaje de p. mercurio para 1 gramo.



Elaborado por: Autora.

En la tabla de frecuencias se puede evidenciar que la eficiencia de biochar utilizando un gramo, es media para la eliminación de partículas de mercurio a las diferentes temperaturas, por lo que se llega a la conclusión que el gramo de biochar remueve bajas cantidades de metales pesados en el agua, ya que un gramo que se compone de 0,50 gramos de biochar de heces de vacuno y 0,50 gramos de biochar de heces de porcinos, no es suficiente para 80 ml de agua contaminada.

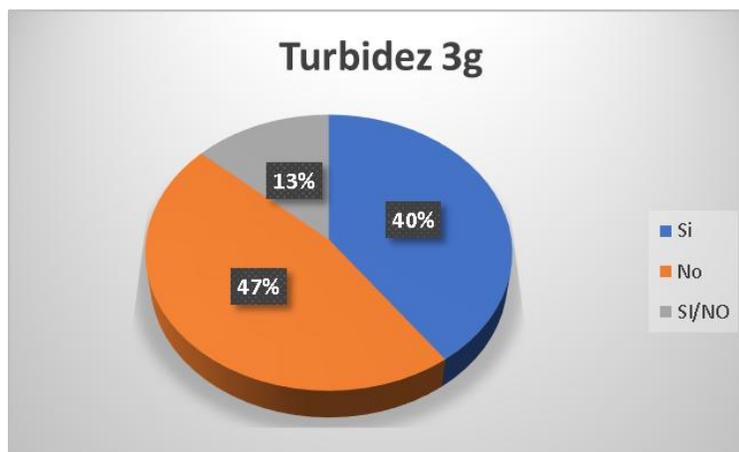
En la segunda filtración de tres gramos se ha determinado el mejor tratamiento en base a los resultados de una tabla de frecuencias para la obtención de datos más precisos dando como resultado que se ha analizado que la mejor temperatura para la remoción a tres gramos es de 400 oC.

Tabla 6.

Tabla de frecuencia de tratamiento de agua para 3 gramos de biochar.

Turbidez	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
Si	6	0,400	40,00%	6
No	7	0,467	46,67%	13
SI/NO	2	0,133	13,33%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

Elaborado por: Autora.

Ilustración 33.*Porcentaje de turbidez para 3 gramos***Elaborado por:** Autora.**Tabla 7.***Tabla de eficacia para 3 gramos.*

Eficacia	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
Si	4	0,267	26,67%	4
No	5	0,333	33,33%	9
SI/NO	6	0,400	40,00%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

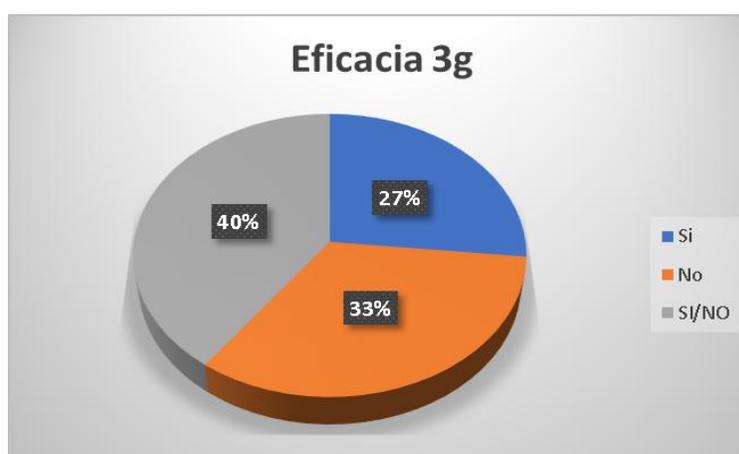
Elaborado por: Autora.**Ilustración 34.***Porcentaje de eficacia para 3 gramos***Elaborado por:** Autora.

Tabla 8.

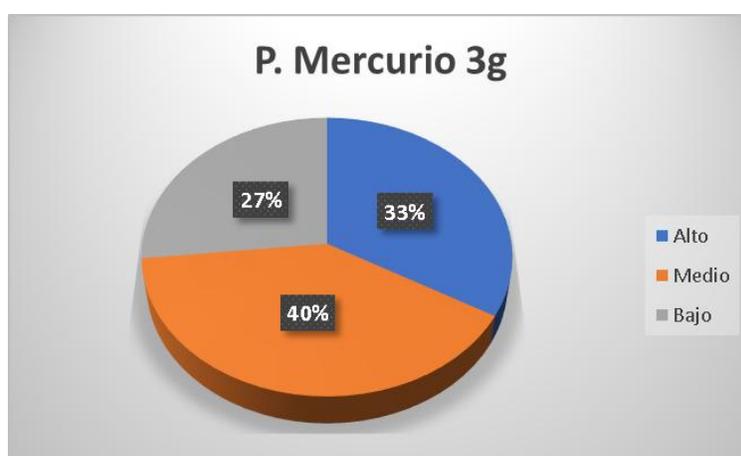
Tabla de porcentaje de p. de mercurio para un tratamiento de 3 gramos.

P. Mercurio	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
Alto	5	0,333	33,33%	5
Medio	6	0,400	40,00%	11
Bajo	4	0,267	26,67%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

Elaborado por: Autora.

Ilustración 35.

Porcentaje de p. mercurio para 3 gramos.



Elaborado por: Autora.

En la siguiente tabla se puede evidenciar que el nivel de partículas de mercurio es medio, pero tiene más repeticiones efectivas para la temperatura de 400 °C, se puede decir que la temperatura del biochar es importante para determinar la eficacia las muestras están compuestas por 1,50 gramos de biochar a partir de heces de vacunos y 1,50 gramos de biochar de heces de porcinos.

En la tercera filtración es de 6 gramos se ha determinado el mejor tratamiento en base a los datos obtenidos a través de una tabla de frecuencia, tomando en cuenta todos los datos para analizar cuál es la temperatura adecuada para una mejor remoción de metales pesados de agua contaminada en este caso la mejor opción sería el biochar expuesto a una temperatura de 400 °C y se ve una mejora remoción para la temperatura de 350°C siendo una alternativa funcional.

Tabla 9.

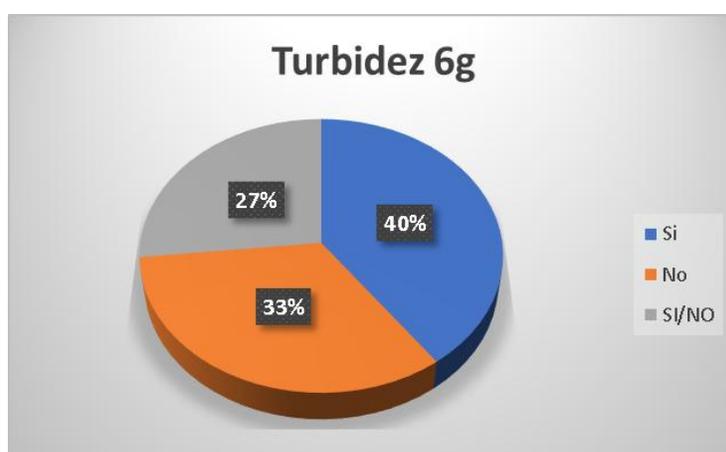
Tabla de frecuencia de turbidez de tratamiento de agua para 6 gramos de biochar.

Turbidez	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
Si	6	0,400	40,00%	6
No	5	0,333	33,33%	11
SI/NO	4	0,267	26,67%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

Elaborado por: Autora.

Ilustración 36.

Porcentaje de turbidez para 6 gramos



Elaborado por: Autora.

Tabla 10.

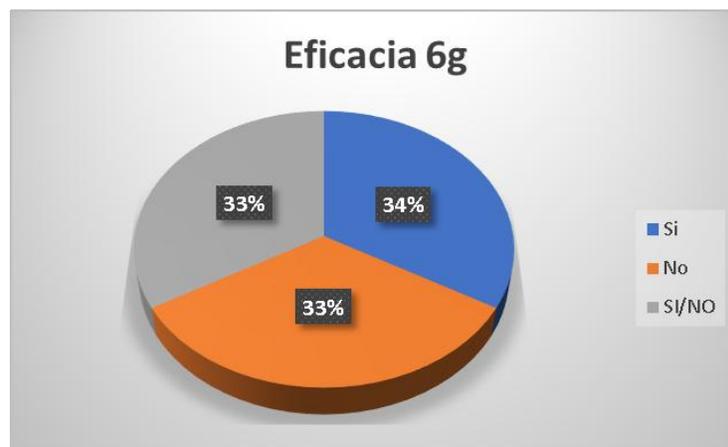
Tabla de frecuencia de la eficacia del tratamiento a 6 gramos.

Eficacia	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
Si	5	0,333	33,33%	5
No	5	0,333	33,33%	10
SI/NO	5	0,333	33,33%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

Elaborado por: Autora.

Ilustración 37.

Porcentaje de eficacia para 6 gramos.



Elaborado por: Autora.

Tabla 11.

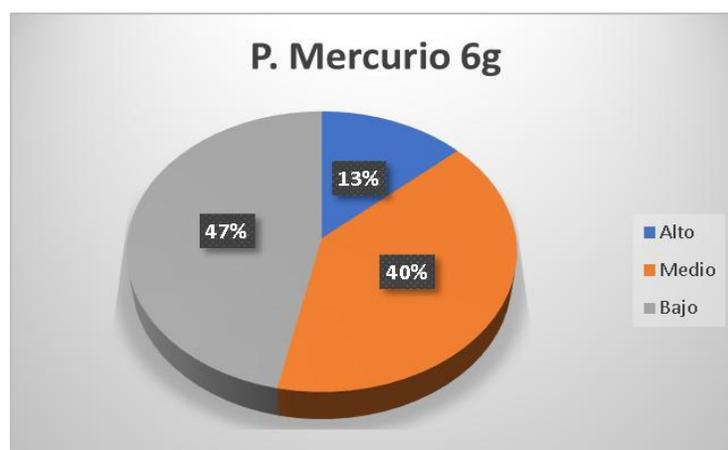
Tabla de porcentaje de p. de mercurio para un tratamiento de 6 gramos.

P. Mercurio	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
Alto	2	0,133	13,33%	2
Medio	6	0,400	40,00%	8
Bajo	7	0,467	46,67%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

Elaborado por: Autora.

Ilustración 38.

Porcentaje de p. mercurio para 6 gramos.



Elaborado por: Autora.

En la siguiente tabla se puede evidenciar que a través de los 6 gramos que se han usado para la filtración de agua contaminada ha funcionado ya que se han observado un nivel bajo de partículas de mercurio en el agua tratada, esta eficacia proviene de la muestra expuesta a una temperatura de 400 °C.

En el cuarto tratamiento que se realizó por medio de filtraciones con 8 gramos de biochar, se ha tomado en cuenta los datos de la tabla de frecuencia para obtener un mejor resultado en este tratamiento se ha visto una mejora en el biochar expuesto a 300 gramos y 350 °C, mientras tanto el biochar de 400 °C ha funcionado de una manera muy efectiva removiendo desde el 85% al 90% de metales pesados en la muestra.

Tabla 12.

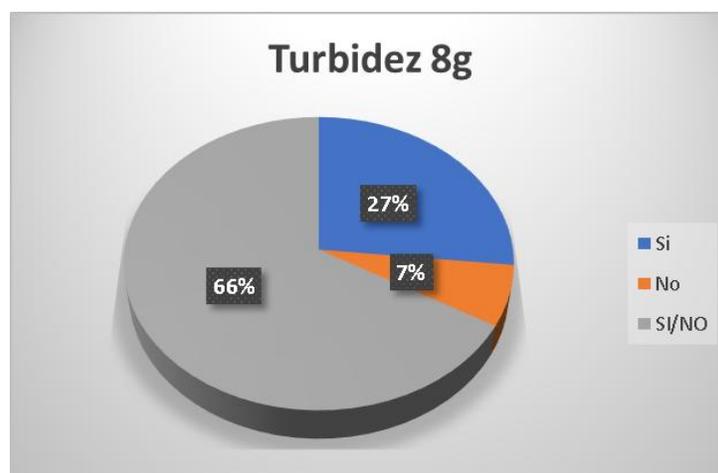
Tabla de frecuencia de tratamiento de agua para 8 gramos de biochar.

Turbidez	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
Si	4	0,267	26,67%	4
No	1	0,067	6,67%	5
SI/NO	10	0,667	66,67%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

Elaborado por: Autora.

Ilustración 39.

Porcentaje de turbidez para 8 gramos



Elaborado por: Autora.

Tabla 13.

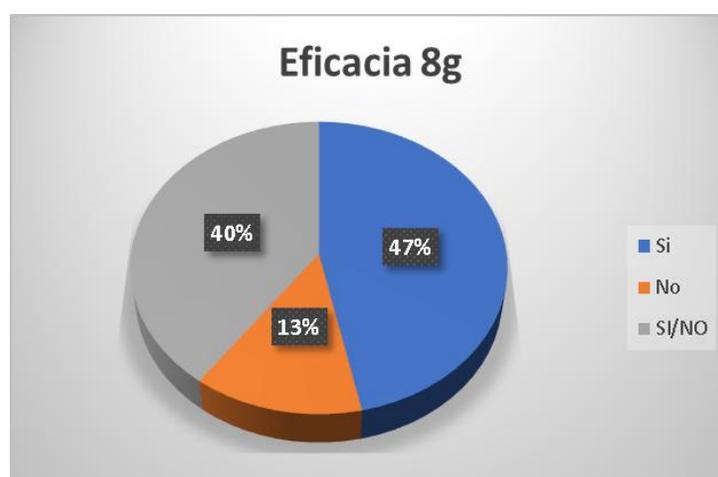
Tabla de frecuencia de eficacia del tratamiento con 8 gramos.

Eficacia	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
Si	7	0,467	46,67%	7
No	2	0,133	13,33%	9
SI/NO	6	0,400	40,00%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

Elaborado por: Autora.

Ilustración 40.

Porcentaje de eficacia para 8 gramos



Elaborado por: Autora.

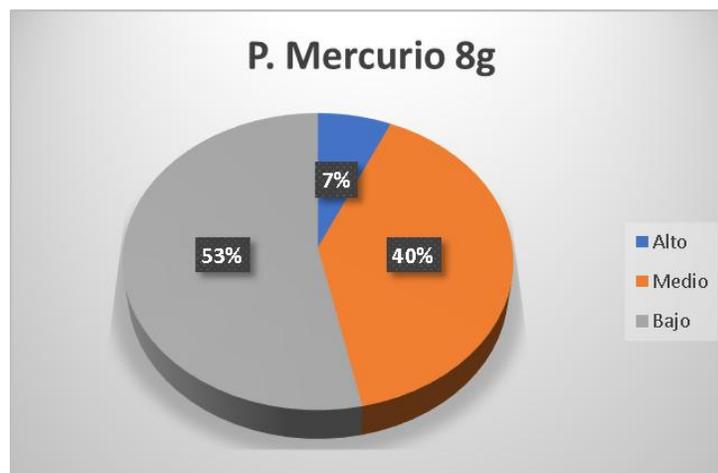
Tabla 14.

Tabla de frecuencia de p. de mercurio del tratamiento con 8 gramos.

P. Mercurio	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	%	Frecuencia absoluta acumulada
Alto	1	0,067	6,67%	1
Medio	6	0,400	40,00%	7
Bajo	8	0,533	53,33%	15
Totales	15	1,000	100,00%	

Elaborado por: Autora.

Ilustración 41.
Porcentaje de p. mercurio para 8 gramos



Elaborado por: Autora.

En la última tabla se puede evidenciar que el nivel de partículas de mercurio es bajo, ya que en este se utilizó más cantidad de biochar para la filtración y los más eficaces fueron las muestras a 400 °C, por lo que se determinó que funcionó de una manera correcta para este tratamiento el cual se compone de 4 gramos de biochar a partir de heces de vacunos y 4 gramos de biochar a partir de heces de porcinos.

14 Resultados de la Caracterización del biochar.

14.1 Humedad de la materia

Uno de los primeros parámetros a los que fue sometida la materia fue la de la humedad inicial que se tuvo en la materia prima después de realizar el proceso que se realizó para que se seque, los resultados obtenidos utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación 6. Ecuación para calcular la humedad de la materia.

$$\text{humedad vacuno} = \frac{4.57 - 3.59}{3.59} \cdot 100$$

$$\text{Humedad vacuna} = 27.29 \%$$

$$\text{Humedad Porcino} = \frac{4.77 - 3.72}{3.72} \cdot 100$$

$$\text{Humedad Porcino} = 28.22\%$$

Tabla 15.
Humedad de heces de vacuno y porcino.

Muestra	% de humedad
Heces vacuno	27.29%

Heces porcino

28.22%

Elaborado por: Autora.

Se ha logrado que la humedad de las heces de vacuno sea del 27.29%, para las heces del porcino 28.22%, por lo que se evidencia que se encuentra dentro del rango que esta preestablecido, con esto se puede proseguir con la pirólisis ya que para el proceso ya dicho la humedad debe encontrarse entre el 20 % - 30 % (Ilustración 31), (Ilustración 32).

Ilustración 42.

Materia orgánica de heces de vacuno seco.



Elaborado por: Autora.

Ilustración 43.

Materia orgánica de heces de porcino seco.



Elaborado por: Autora.

14.2 Producción de biochar

Existen varios factores que son influyentes en la producción del biochar, algunos de ellos pueden ser: la temperatura, la humedad a la que se expuso y la materia que en este caso serían las heces de vacunos y porcinos.

14.2.1 Porcentaje de rendimiento de biochar.

El porcentaje de rendimiento del biochar puede verse afectados para varios parámetros, uno de los principales es la temperatura, la materia orgánica utilizada, la humedad, entre otras..., ya que a medida que la temperatura va subiendo en este caso de 300 °C (81.13%), 350 °C (65.04%) y 400 °C (53.81%). Lo que permite analizar que en este caso mientras más aumenta la temperatura el porcentaje de rendimiento del biochar disminuye.

Tabla 16.

Porcentaje de rendimiento de biochar.

Muestra	Temperatura	Porcentaje de rendimiento.
Biochar 50% heces de vacunos y 50% heces de porcinos.	% de rendimiento de biochar a 300 °C	81.13%
Biochar 50% heces de vacunos y 50% heces de porcinos.	% de rendimiento de biochar a 350 °C	65.04%
Biochar 50% heces de vacunos y 50% heces de porcinos.	% de rendimiento de biochar a 400 °C	54.81%

Elaborado por: Autora.

14.3 Análisis de agua

Se realizó una solución de mercurio a una concentración de 6 moles por litro (6M), la muestra de agua que se utilizó para el proceso fue contaminada con mercurio de un termómetro que tiene la cantidad de 0.5 gramos a 2 gramos de mercurio (Hg), este metal fue diluido con ácido nítrico concentrado (HNO₃) y agua destilada, a nivel de laboratorio para obtener la solución (Castillo, Del Pilar Rada-Mendoza, Hoyo, & Villada, 2012).

14.3.1 Procedimientos.

- Se preparó el área de trabajo en el laboratorio, asegurando tener una ventilación adecuada y una superficie resistente a los químicos.
- Se prosigue a colocar el equipo de protección personal, incluyendo guantes, gafas protectoras y una bata de laboratorio.

- Toma una cantidad medida y segura de mercurio. Teniendo en cuenta que el mercurio es un líquido muy denso, por lo que deberás tener cuidado al manipularlo.
- Se transfiere el mercurio a un matraz de vidrio resistente. Utiliza un embudo si es necesario para evitar derrames.
- Se añade una cantidad medida de ácido nítrico concentrado (HNO_3) al matraz que contenga el mercurio. La cantidad exacta dependerá de la cantidad de mercurio que estés utilizando.
- Colocar el matraz en una campana de extracción o en una zona bien ventilada.
- Se observo que se produce una reacción violenta cuando el ácido nítrico entra en contacto con el mercurio. Durante esta reacción, se formará nitrato de mercurio y dióxido de nitrógeno como subproducto. El dióxido de nitrógeno es un gas tóxico y corrosivo, por lo que se debe tener precaución.
- Una vez que la reacción haya disminuido y se haya formado el nitrato de mercurio, se agrega agua destilada al matraz para diluir la solución.
- Se agitará suavemente la solución para asegurar que el nitrato de mercurio se disuelva completamente en el agua destilada.
- Finalmente, se utiliza un matraz aforado para ajustar el volumen de la solución a un litro, agregando más agua destilada si es necesario.

14.4 Caracterización del biochar

La caracterización del biochar es importante, ya que cada uno de los parámetros han sido analizados, para esta caracterización se ha tomado en cuenta tres muestras que son 50% heces de porcino y 50% heces de vacuno a diferentes temperaturas que son 300 °C, 350°C y 400 °C.

14.4.1 pH y alcalinidad

Para poder determinar el pH del biochar de heces de vacunos y porcinos se hizo una disolución de 10 g de biochar en 10 ml de agua destilada, se realizó una agitación constante con un agitador magnético por 5 minutos a 200 rpm para obtener un resultado homogéneo, para obtener un resultado más eficiente se prosiguió a filtrar y se utilizó tiras de pH y pH-metro para que los resultados sean más efectivos y evitar errores (Ilustración 33).

Ilustración 44.

pH-metro midiendo muestra de biochar de materia orgánica de 50% de haces de vacuno y 50 % de heces de porcino a una temperatura de 300 °C.



Elaborado por: Autora.

Ilustración 45.

Tira de pH utilizada para la muestra que se realizó a una temperatura de 300 °C.



Elaborado por: Autora.

La alcalinidad de las muestras se realizó por colorimetría ya que al colocar fenolftaleína a la muestra se hizo una capa en la parte superior, esto solo sucede en soluciones básicas debido a la formación de una sal insoluble que se precipite fuera de la solución, por lo que se realizó un test de alcalinidad por colorimetría (Ilustración 35).

Ilustración 46.

Test de alcalinidad por colorimetría.



Elaborado por: Autora.

Como se puede observar en la tabla 9, el pH se analizó con tres muestras que tienen la misma materia orgánica que son 50% heces de porcino y 50% heces de vacuno a diferentes temperaturas que son 300 °C, 350 °C y 400 °C, de esta manera se ha obtenido datos de varianza y desviación estándar baja para el pH de biochar.

Tabla 17.

pH de biochar 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino.

Parámetro	Muestra 1. 300 °C	Muestra 2. 350 °C	Muestra 3. 400 °C	Media	Varianza	Desviación estándar.
pH - 50% B. Porcino y pH – B. Vacuno	8.32	6.84	7.22	7.46	0.5908	0.7686

Elaborado por: Autora

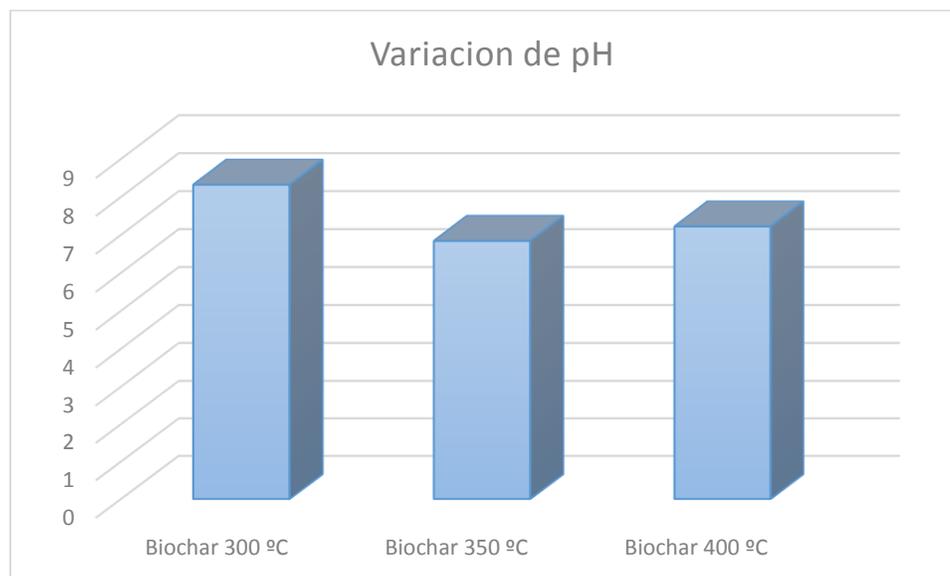
Se ha determinado con los resultados del biochar que la muestra 1 a 300 °C es la que tiene el pH más elevado con 8.32, seguida de la muestra 3 a 400 °C con 7.22. En cuanto respecta el pH del biochar es neutro ya que tiene una media de 7.46 pH.

Analizando las diferentes resultas se puede observar que el biochar con menor temperatura tiene el valor más alto de pH, en este caso el pH pudo haber cambiado entre muestras por la temperatura, ya que la temperatura es un factor que influye en el pH del biochar, es por aquello que se ha determinado que ha

menor temperatura el biochar tendrá un pH más ácido, mientras tanto si las temperaturas son altas y dependiendo de la materia el biochar sería básico.

Ilustración 47.

Variación del pH de biochar a distintas temperaturas.



Elaborado por: Autora.

14.4.2 Densidad aparente y real

La densidad aparente es de gran importancia para la determinación de porosidad este es uno de los métodos que ha tenido más eficacia.

Tabla 18.

Densidad aparente y real de biochar 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino.

Parámetro	Muestra 1. 300 °C	Muestra 2. 350 °C	Muestra 3. 400 °C	Media	Varianza a	Desviación estándar.
Densidad aparente.	281.9 kg/m ³ 0.2819 g/ml	326 kg/m ³ 0.326 g/ml	400 kg/m ³ 0.400 g/ml	326 0.326	3561.40 3.56	59.67 0.05967
Densidad real.	555.55 kg/m ³ 0.555 g/ml	522.22kg/m ³ 0.522 g/ml	580.24 kg/m ³ 0.580 g/ml	553.33 0.55	847.80 0.84	29.11 0.029

Elaborado por: Autora.

En la tabla 10 se observan las características físicas del biochar 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino, las densidades de las tres temperaturas que varían entre ellas, con estos datos se obtuvo una varianza y desviación estándar bastante altas. Se ha llegado a determinar que la muestra 3 que tiene mayor densidad aparente y real, seguida de la muestra 1 con una temperatura de 300 °C

14.4.3 Porosidad

La porosidad es muy importante ya que se realiza con la densidad aparente y real, esta práctica se realizó con muestras de distintas temperaturas, para después de esto poder comparar y tener resultados eficientes.

Tabla 19.

Porosidad de la muestra de biochar 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino.

Parámetro	Muestra 1. 300 °C	Muestra 2. 350 °C	Muestra 3. 400 °C	Media	Varianz a	Desviació n estándar
Porosidad 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino.	356.50	375.74	310.63	347.62	1119.20	33.45

Elaborado por: Autora.

14.4.4 Material volátil.

El material volátil que se ha encontrado en las muestras de biochar es la cantidad de masa que se ha perdido durante el proceso de pirólisis, ya que en la (tabla 12) se observa que al aumentar la temperatura el porcentaje de material volátil es más alto ya que se libera el material volátil que se encuentra entre los poros del biochar.

En este caso la muestra 3 que estuvo expuesta a una temperatura de 400 °C, da el porcentaje más alto de material volátil debido a su temperatura elevada (45.93%), mientras que la muestra 1 que estuvo expuesta a una temperatura de 300 °C, da el porcentaje más bajo (18.86%).

Tabla 20.

Material volátil.

Parámetro	Muestra 1. 300 °C	Muestra 2. 350 °C	Muestra 3. 400 °C	Media	Varianz a	Desviació n estándar
Porosidad 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino.	18.86%	34.95%	45.93%	33.95%	0.018	0.13

Elaborado por: Autora.

15 IMPACTO (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

15.1 Impacto técnico

El biochar es positivo como impacto técnico ya que ayuda a mejorar la calidad del agua, absorbiendo metales pesados como en este caso el mercurio. Por otra parte, la producción de biochar a partir de materia orgánica de heces de vacunos y porcinos puede requerir equipos especializados y la disponibilidad de estos equipos puede llegar a ser bastante limitadas en algunos lugares del territorio. También es necesario cumplir con las normas, reglamentos, estándares y regulaciones prestables para la obtención, producción y el uso adecuado de biochar.

15.2 Impacto social

El impacto social es bastante importante al aplicar este método de biochar, hay factores importantes como la escala de producción, la cantidad de población que realice actividades agrícolas, zona geográfica y residuos que se generen. Tomando en cuenta estos factores es un gran aporte ya que es un método que puede que ayuda a los agricultores a mejorar la calidad del agua, obteniendo productos que contengan bajas cantidades o que a su vez no contenga ningún porcentaje de mercurio. A su vez es beneficioso ya que puede llegar a reducir los residuos y minimizas la emisión de gases de efecto invernadero. Al realizar biochar a grandes escalas puede generar empleo y desarrollo económico local, también mejor las condiciones de vida de las personas, brindando salud y bienestar al mejorar la calidad del suelo por regadíos y poco uso productos químicos tóxicos, así mismo aumentando la fertilidad en el suelo y la producción agrícola.

15.3 Impacto ambiental

Este impacto ayuda a realizar prácticas sostenibles de producción y también de uso, de esta manera realizar biochar puede ayudar a cumplir con regulaciones y mejor manejo de residuos, sin embargo, es bastante recomendable para la educación ambiental ya que ayuda a comprender de una mejor manera el ciclo de vida y también los efectos favorables que se produce en el medio ambiente.

15.4 Impacto económico

Este impacto es importante para la sociedad, esto puede variar por diversos factores tales como es la ubicación geográfica, el tamaño de la población que se dedica a actividades ganaderas. Con esto se puede mejorar ya que se puede vender el biochar, mejorando las posibilidades económicas de las familias que se dediquen a la venta y comercialización.

16 Conclusiones y Recomendaciones.

- La elaboración de biochar se debe tomar en cuenta la metodología empezando por la obtención de biomasa con una recolección directa, acondicionamiento y la preservación de las heces de vacunos

y porcinos mediante el método de secado directo, tomando en cuenta el porcentaje de humedad que no supere el 30%, posteriormente la ayuda de la aplicación de la pirolisis aislando el oxígeno envolviendo colocando la muestra en crisoles forrándolo con papel aluminio a una temperatura promedio de 300 a 400 grados en un periodo de tiempo de 30 minutos dentro de la mufla, finalmente se retira la muestra de biochar dejando reposar 24 horas en la mufla y se lo conserva en bolsas cyplox a una temperatura ambiente para evitar su descomposición.

- Se produjo tres tipos de biochar con temperaturas de 300, 350 y 400 grados Celsius con un periodo de tiempo de 30 minutos, obteniendo un total 2,47 kg de biochar a 300 grados teniendo una eficacia del 80 % ya que se partió de una masa total de 3,11 kg. obteniendo un total 2,39 kg de biochar a 350 grados teniendo una eficacia del 77 % ya que se partió de una masa total de 3,11 kg. obteniendo un total 2,33 kg de biochar a 400 grados teniendo una eficacia del 75 % ya que se partió de una masa total de 3,11 kg.
- Se determino la eficacia de los tres tipos de biochar producidos al aplicar el método de filtración para la descontaminación de mercurio en el agua mediante las tablas de frecuencia al aplicadas, obteniendo el 95% de frecuencia porcentual al generar la descontaminación del agua con el biochar a 400 grados Celsius, debido a su capacidad de adsorción de mercurio presente, ya que al aplicar el biochar de 300 se obtuvo una frecuencia porcentual del 50% de descontaminación. En el biochar de 350 grados Celsius se obtuvo una frecuencia porcentual del 67%, es decir de todos los tratamientos aplicados para la descontaminación de mercurio el que tuvo mayor eficacia fue el de 400 grados debido a sus características de pH, densidad aparente y real, porosidad y material volátil, además de que tiene la capacidad de recupera por cada gramo de biochar 80 ml de agua contaminada con mercurio.

17 Referencia Bibliográfica.

ACS. (2 de abril de 2019). *Fenoltaleína*. Obtenido de <https://quimicafacil.net/compuesto-de-la-semana/fenoltaleina/>

Alltech. (s.f.). *El estiércol y su relación con la sostenibilidad*. Obtenido de <https://www.alltech.com/es-es/blog/el-estiercol-y-su-relacion-con-la->

- Instrumentos de laboratorio. (31 de Diciembre de 2022). *¿Qué es un papel de filtro? - tipos y usos*. Obtenido de <https://www.instrumentodelaboratorio.info/papel-de-filtro/>
- Kalstein. (18 de mayo de 2021). *¿Qué es un PHmetro?* Obtenido de <https://kalstein.ec/que-es-un-phmetro-2/>
- Kalstein. (11 de agosto de 2022). *¿Cuál es la función de un Agitador Magnético?* Obtenido de <https://kalstein.ec/cual-es-la-funcion-de-un-agitador-magnetico/>
- Kalstein. (30 de agosto de 2022). *Las Balanzas de Laboratorio y sus Aplicaciones*. Obtenido de <https://kalstein.ec/las-balanzas-de-laboratorio-y-sus-aplicaciones/>
- Kitlab. (2023). *LABORATORIO DE CIENCIAS-PIPETA GRADUADA*. Obtenido de https://kitlab.exa.unicen.edu.ar/pipeta_graduada.html#:~:text=La%20funci%C3%B3n%20principal%20de%20la,de%20un%20envase%20a%20otro.
- Kitlab. (2023). *LABORATORIO DE CIENCIAS-VASO DE PRECIPITADO*. Obtenido de https://kitlab.exa.unicen.edu.ar/vaso_de_precipitado.html
- Kitlab. (2023). *Mortero con pilón*. Obtenido de https://kitlab.exa.unicen.edu.ar/mortero_con_pilon.html#:~:text=El%20mortero%20tiene%20como%20finalidad,quedar%20en%20tama%C3%B1os%20m%C3%A1s%20peque%C3%B1os
- Labomersa. (Mayo de 25 de 2021). *Filtración. para qué sirve y áreas de uso*. Obtenido de <https://labomersa.com/2021/05/25/filtracion-para-que-sirve-y-areas-de-uso/#:~:text=Es%20un%20m%C3%A9todo%20f%C3%ADsico%20que,emplea%20en%20diversos%20procesos%20anal%C3%ADticos.>
- Lifeder. (12 de diciembre de 2019). *Investigación de laboratorio: qué estudia, tipos, ventajas, desventajas*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/investigacion-de-laboratorio/>
- Lifeder. (2023). *Gradilla de laboratorio*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/gradilla-de-laboratorio/>
- López, D., Pérez, J., & Rubio, C. (2021). *Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas*. *Revista UIS Ingenierías*, vol. 20, núm. 1, pp. 121-134. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5537/553768365011/html/>
- Martínez, C. (2006). *Atlas socioambiental de Cotopaxi. Programa para la Conservación de la Biodiversidad, Páramos y Otros Ecosistemas Frágiles del Ecuador*. Obtenido de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=43289>
- Mercurio. (s.f). *LENNTECH*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/hg.htm>
- Mettler Toledo. (s.f). *Mettler Toledo*. Obtenido de https://www.mt.com/es/es/home/applications/Laboratory_weighing/density-measurement.html#productsolutions
- Moreno, F., Vicente Días, J., Acosta, A., & Zarnoz, R. (20 de Mayo de 2015). *Repositorio Digital de la Universidad Politecnica de Cartagena*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/60432813.pdf>
- Muñoz, N. (2020). *SciELO*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492020000200280&script=sci_abstract&tlng=es

- Netto, R. S. (s.f.). *Fisicanet*. Obtenido de <https://www.fisicanet.com.ar/fisica/estatica-de-fluidos/lb03-densidad-picnometro.php>
- Onelab. (29 de diciembre de 2022). *Bureta de laboratorio: Para qué sirve, qué es y características*. Obtenido de <https://www.onelab.com.ar/bureta-de-laboratorio-para-que-sirve-que-es-y-caracteristicas#:~:text=La%20bureta%20es%20un%20instrumento,la%20cuantificaci%C3%B3n%20de%20diversos%20analitos>.
- OneLab. (12 de Enero de 2023). *Embudo de laboratorio: ¿qué es y para qué servir?* Obtenido de <https://www.onelab.com.ar/embudo-de-laboratorio-que-es-y-para-que-sirve>
- OneLab. (20 de Marzo de 2023). *Qué es un matraz de laboratorio y cómo se utiliza*. Obtenido de <https://www.onelab.com.ar/que-es-un-matraz-de-laboratorio-y-como-se-utiliza#:~:text=El%20matraz%20Erlenmeyer%20tiene%20diversos,calentar%20y%20hervir%20productos%20qu%C3%ADmicos>.
- Perú Ministerio del Ambiente. (2013). MINERÍA ILEGAL. *DIÁLOGOS AMBIENTALES Con la Prensa*, 2-4.
- pH-metros10. (14 de Mayo de 2021). *Tiras reactivas (actualizado 202)*. Obtenido de <https://phmetro10.com/tiras-reactivas/>
- QN. (2011 de agosto de 2011). *Funciones de las tiras de papel de pH en un laboratorio*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/funciones-de-las-tiras-de-papel-de-ph-en-un-laboratorio-2562852.htm>
- REMTAVARES. (2012). *madrid Blogs*. Obtenido de <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2012/04/27/131762>
- Rincón, A. (2013). *Prezi*. Obtenido de <https://prezi.com/hh7fxtwuhpxn/electroquimica/>
- Rodrigo, J. A. (Enero de 2016). *cienciadedatos*. Obtenido de https://cienciadedatos.net/documentos/19_anova
- SATIA. (2023). *Tiras colorimétricas*. Obtenido de https://www.satia.com.ar/tiras_colorimetricas.html#:~:text=Las%20tiras%20para%20Alcalinidad%20Insta,la%20de%20alimentos%20o%20bebidas.
- Secretaria Nacional de Planificación. (31 de diciembre de 2021). *“PROYECTO FOMENTO A LA GESTIÓN DE AGUA POTABLE, SANEAMIENTO, RIEGO Y DRENAJE – FOGAPRYD” CUP: 46090000.0000.387190*. Obtenido de https://ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/02/DOC_PRY_FOMENTO_GESTION_AGUA.pdf
- System engineering expert of Science Laboratory. (s.f). *Lab Expert*. Obtenido de <http://www.labexpert.com.cn/en/index.php?mod=product&itemid=2>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. (29 de Marzo de 2017). Obtenido de <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-anexos-normativa-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>
- TP Laboratorio Químico. (21 de diciembre de 2014). *Matraz Erlenmeyer*. Obtenido de <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/matraz-erlenmeyer.html>

- Trujillo, E., Valencia, C., Alegría, M., Alejandrina, & Césare, M. (Diciembre de 2019). *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000400489
- Truque, P. (s.f). *ARMONIZACION DE LOS ESTANDARES DE AGUA POTABLE EN LAS AMERICAS*. Obtenido de <https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>
- TULSMA. (2017). *LEXISFINDER*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- UDT. (s.f.). *Pirólisis Rápida*. Obtenido de <https://www.udt.cl/bioenergia/pirolisis-rapida/#:~:text=La%20pir%C3%B3lisis%20r%C3%A1pida%20es,y%20el%20uso%20de%20energ%C3%ADa.>
- Universidad Técnica de Cotopaxi. (2020). Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Weinberg, J. (2007). Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG. 32-35.
- Wild, D. (1992). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi-Prensa. Madrid. España, 1045 p.*
- Yépez, D. (2022). *Repositorio digital UCE*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/26948>
- Zarza, L. (2023). *¿Qué es el agua destilada?* Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua-destilada/#:~:text=Las%20principales%20caracter%C3%ADsticas%20y%20propiedades,Es%20inodora%20incolora%20e%20ins%C3%ADpida.>

18 ANEXOS.

18.1 Anexo 1. Filtración de biochar de heces 50% de vacuno y 50% de porcino a una temperatura de 400 °C.



18.2 Anexo 2. Peso de 5 gr de biochar 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino a una temperatura de 400 °C.



18.3 Anexo 3. Filtración de biochar 50% heces de vacuno y 50% heces de porcino a una temperatura de 400 °C con el agua contaminada de mercurio.



18.4 Anexo 4. Filtración doble del contaminante de mercurio utilizando biochar 50% de heces de vacuno y 50% heces de porcino que se encontraba a una temperatura de 400 °C.



18.5 Anexo 5. Ingreso de crisol con materia orgánica en la mufla.



18.6 Anexo 6. Desecador.



18.7 Anexo 7. Tubos de ensayo donde se colocó el biochar filtrado y el contaminante para ver su eficacia.



18.8 Anexo 8. Biochar mezclado en un agitador magnético por 5 minutos a una velocidad de 200 rpm.



18.9 Anexo 9. Filtración de biochar y agua destilada para poder determinar el pH.

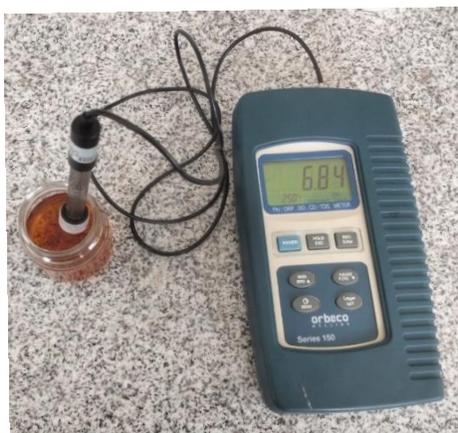


18.10 Anexo 10. Tiras de pH de biochar 50% de heces de vacuno y 50% de heces de porcino a una temperatura de 400 °C.



18.11 Anexo 11. Aplicación de fenolftaleína.



18.12 Anexo 12. Medición de pH- metro.**18.13 Anexo 13. Tiras de Alcalinidad Insta-test.**

18.14 Anexo 14. Tabla de valores de Biochar.

Muestras	Especimen	Temperatura	peso inicial si	Peso en crisol	Peso final en c	Peso final en l	Total de la ma
Muestra recol	Vacunos						
Muestra recol	Porcinos						
Muestra Nº 1	Vacunos	350	26,63	117,86	107,18	19,95	15,95
Muestra Nº 2	Porcinos	400	15,6	106,83	109,88	19,6	15,6
Muestra Nº 3	50/50	300	29,37	120,6	115,06	27,83	23,83
Muestra Nº 4	Porcinos	300	27	118,23	120,85	33,62	29,62
Muestra Nº 5	Vacunos	400	25,37	116,6	108,02	20,85	16,85
Muestra Nº 6	50/50	400	18,43	109,66	107,16	22,43	18,43
Muestra Nº 7	Vacunos	350	29,82	121,05	126,55	39,32	35,32
Muestra Nº 8	50/50	350	40,71	131,94	117,71	30,48	26,48
Muestra Nº 9	Porcinos	350	42,58	133,81	108,59	21,36	17,36
Muestra Nº 10	50/50	400	43,9	135,13	118,42	31,19	27,19
Muestra Nº 10	50/50	400	47,65	138,88	113,34	26,11	22,11
Muestra Nº 10	50/50	400	43,08	134,31	114,89	27,66	23,66
Muestra Nº 10	50/50	400	51,41	142,64	121,1	33,87	29,87
Muestra Nº 10	50/50	400	52,68	143,91	117,47	30,24	26,24
						149,07	129,07

18.15 Anexo 15. Aval de traducción.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA DE HECES DE VACUNOS Y PORCINOS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO”** presentado por: **Hualca Barahona Nathkary Saharai**, egresada de la Carrera de Ingeniería Ambiental perteneciente a la **Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**, lo realizo bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a la peticionaria hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 29 de agosto del 2023.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:

BLANCA
GLADYS
SANCHEZ
AVILLA



MSc. Blanca Gladys Sánchez A.

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTCCI:

2100275375