



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 CÁSCARA DE CACAO Y CASCARILLA DE ARROZ, PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA CONTAMINADA CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO”

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

Autora:

Zavala Lema Melanie Ibeth

Tutor:

Moreno Ávila Andrés Sebastian, Ing. Mgs.

LATACUNGA- ECUADOR

AGOSTO 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Melanie Ibeth Zavala Lema, con cédula de ciudadanía No. 1752364198, declaró ser autora del presente proyecto de investigación: “Producción de biochar a partir de materia orgánica de cáscara de cacao y cascarilla de arroz, para la recuperación de agua contaminada con metales pesados a nivel de laboratorio”, siendo el Ingeniero Mg. Andrés Sebastian Moreno Ávila, 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, 14 de agosto del 2023



Melanie Ibeth Zavala Lema

Estudiante

C.C. 1752364198



Ing. Andrés Moreno Ávila, Mgs.

Docente Tutor

C.C. 0503220063

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 ZAVALA LEMA MELANIE IBETH, identificada con cédula de ciudadanía **1752364198** 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 cáscara de cacao y cascarilla de arroz, para la recuperación de agua contaminada 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 2020

Finalización de la carrera: Abril 2023 – Agosto 2023

Aprobación en Consejo Directivo: 25 de mayo del 2023

Tutor: Ingeniero Mgs. Andrés Sebastian Moreno Ávila

Tema: “Producción de biochar a partir de materia orgánica de cáscara de cacao y cascarilla de arroz, para la recuperación de agua contaminada con metales pesados a nivel de laboratorio”

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 solicite.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 14 días del mes de agosto del 2023.

Melanie Ibeth Zavala Lema
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 CÁSCARA DE CACAO Y CASCARILLA DE ARROZ, PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA CONTAMINADA CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO”, de Zavala Lema Melanie Ibeth, 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, 14 de agosto del 2023



Ing. Andrés Sebastian Moreno Ávila, Mgs.

DOCENTE TUTOR

C.C. 0503220063

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: Zavala Lema Melanie Ibeth, con el título del Proyecto de Investigación: **“PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA DE CÁSCARA DE CACAO Y CASCARILLA DE ARROZ, PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA CONTAMINADA 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, 14 de agosto del 2023

Lector 1 (Presidente)

Ing. José Luis Agreda Oña, Mg.

CC: 0401332101

Lector 2

Ing. Vladimir Ortiz Bustamante, M. Sc.

CC: 0502188451

Lector 3

Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

CC: 0501518955

AGRADECIMIENTO

Esta tesis, como el resultado de mi formación, se la debo a mi familia, por todas las enseñanzas, ánimos y apoyo incondicional que indudablemente me ayudaron a crecer como persona y profesional, en mi corazón siempre estará presente su apoyo, también le doy gracias a Dios por su bendición en todo este proceso, y por haberlos puesto en mi camino para ayudarme a construir mis éxitos, sin duda son una bendición; y, por todas las cosas buenas que me permitieron sonreír y las malas que indudablemente me ayudaron a crecer.

Agradezco a mis docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional, de manera especial, al Mgs. Andrés Moreno tutor de mi proyecto de investigación quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia, y su rectitud como docente, me ha ayudado a aplicar los conocimientos adquiridos en mi preparación universitaria.

Melanie Ibeth Zavala Lema

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios por permitirme llegar a cumplir mis metas propuestas y protegerme en cada momento de mi vida. Este trabajo también lo dedicó a mis padres Miguel y Nubia por darme la vida, por el sacrificio que siempre hacen por apoyarme incondicionalmente y por la educación en valores que me han inculcado, ya que así aprendí a no rendirme y luchar por mis metas y sueños sin perder mi humildad, y a mis hermanos Jeremy y Alejandro, quienes junto con mis padres me han demostrado su cariño día a día.

Melanie Ibeth Zavala Lema

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIA ORGÁNICA DE CÁSCARA DE CACAO Y CASCARILLA DE ARROZ, PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA CONTAMINADA CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO”

AUTOR: Zavala Lema Melanie Ibeth

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con el objetivo de producir biochar a partir de materia orgánica de cáscara de cacao y cascarilla de arroz, a fin de obtener una recuperación de agua contaminada con metales pesados a nivel de laboratorio. Se emplearon diversos métodos para llevar a cabo este proceso, el cual implicó una serie de operaciones unitarias tal como: el secado de las muestras a través del método de gravimetría, la producción de biochar mediante un proceso de pirólisis a 350°C, 400°C y 500°C, aplicación de la marcha analítica del grupo I de cationes para la detección cualitativa de Mercurio en el agua, la evaluación de la eficiencia de remoción de Mercurio llevada a cabo mediante una tabla de frecuencias y por último la caracterización cuantitativa de biochar. De este modo, se obtuvo resultados tal que el contenido de humedad promedio es 16,01% para la cáscara de cacao y 16,08% para la cascarilla de arroz y por otro lado, el contenido de cenizas promedio fue 44,34% y 47,53% respectivamente. Además, se identificó que el biochar de cáscara de cacao a 350°C es el más eficiente en el proceso de remoción de Mercurio, teniendo en cuenta que su eficacia de remoción es 100%, con un pH de 9,47, conductividad de 32,7 mS/cm, humedad de 1,55%, cenizas de 15,24%P, materiales volátiles de 42,53%P y una granulometría de 0,5 mm a 20 mm. En consecuencia, se concluye que ambos tipos de biochar tienen la capacidad de contribuir en la remoción de Mercurio de aguas contaminadas, además su eficacia de remoción dependerá de la temperatura de secado, la producción de pirolisis y la cantidad de biomasa, ya que a menor cantidad de biochar la remoción será mínima o nula y a una mayor cantidad, la remoción de Mercurio será más eficiente.

Palabras clave: Humedad, cenizas, biochar, temperatura, mercurio.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

TITLE: "PRODUCTION OF BIOCHAR FROM ORGANIC MATTER OF COCOA HUSK AND RICE HUSK, FOR THE RECOVERY OF WATER CONTAMINATED WITH HEAVY METALS AT LABORATORY LEVEL".

AUTHOR: Zavala Lema Melanie Ibeth

ABSTRACT

This research project was carried out in the laboratories of the Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources of the Technical University of Cotopaxi, with the objective of producing biochar from organic matter from cocoa shells and rice husks, in order to obtain a recovery of water contaminated with heavy metals at the laboratory level. Several methods were used to carry out this process, which involved a series of unitary operations such as: drying of the samples through the gravimetric method, production of biochar through a pyrolysis process at 350°C, 400°C and 500°C, application of the analytical march of group I cations for the qualitative detection of Mercury in water, evaluation of the Mercury removal efficiency carried out through a frequency table and finally the quantitative characterization of biochar. Thus, results were obtained such that the average moisture content is 16.01% for cocoa husk and 16.08% for rice husk and on the other hand, the average ash content was 44.34% and 47.53% respectively. In addition, it was identified that cocoa husk biochar at 350°C is the most efficient in the Mercury removal process, considering that its removal efficiency is 100%, with a pH of 9.47, conductivity of 32.7 mS/cm, moisture of 1.55%, ashes of 15.24%P, volatile materials of 42.53%P and a granulometry of 0.5 mm to 20 mm. Consequently, it is concluded that both types of biochar have the capacity to contribute to the removal of mercury from contaminated water, and their removal efficiency will depend on the drying temperature, pyrolysis production and the amount of biomass, since the lower the amount of biochar the removal will be minimal or null, and the higher the amount, the more efficient the removal of mercury will be.

Key words: Moisture, ash, biochar, temperature, mercury.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	¡Error! Marcador no definido.
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iv
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
ÍNDICE DE CONTENIDOS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FÓRMULAS.....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	2
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
5. OBJETIVOS.....	4

5.1. Objetivo General	4
5.2. Objetivos Específicos.....	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
7.1. Recolección de muestras	7
7.1.1. Biomasa.....	7
7.1.2. Cacao	7
7.1.3. Cascarilla de arroz	7
7.2. Secado de muestras	8
7.2.1. Secado.....	8
7.2.3. Estufa de secado	8
7.2.4. Temperatura.....	8
7.2.5. Humedad.....	8
7.2.6. Análisis gravimétrico.....	9
7.2.7. Masa constante	9
7.3. Obtención de biochar	9
7.3.1. Pirólisis	9
7.3.2. Mufla.....	9
7.3.3. Calcinado	10
7.3.4. Cenizas.....	10

7.3.5.	Biochar	11
7.4.	Prueba de caracterización de biochar	11
7.4.1.	pH.....	11
7.4.2.	Conductividad eléctrica	12
7.4.3.	Humedad	12
7.4.4.	Materiales volátiles	12
7.4.5.	Carbono fijo	12
7.4.6.	Granulometría	13
7.5.	Contaminación de agua con metales pesados	13
7.5.1.	Agua.....	13
7.5.2.	Contaminación del agua por metales pesados	15
7.5.3.	Mercurio.....	15
7.5.4.	Marcha analítica de metales pesados del Grupo I.....	15
7.6.	Marco Legal	16
7.6.1.	Constitución de la República del Ecuador	16
7.6.2.	Ley de minería	16
8.	VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.	18
9.	METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	18
9.1.	ENFOQUE	18
9.2.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	19
9.2.1.	Método deductivo indirecto de conclusión inmediata	19

9.3.	METODOLOGÍA PARA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	19
9.3.1.	Método gravimétrico para secado de muestras	19
9.3.2.	Cálculo de porcentaje de humedad	20
9.4.	METODOLOGÍA PARA LA SÍNTESIS DE BIOCHAR	20
9.4.1.	Pirólisis	20
9.4.2.	Procedimiento para producción de biochar a partir de cáscara de cacao.....	22
9.4.3.	Procedimiento para producción de biochar a partir de cascarilla de arroz	23
9.4.4.	Método Analítico	24
9.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	25
9.5.1.	Factores de Estudio	25
9.6.	METODOLOGÍA DE CONTAMINACIÓN DE AGUA CON METALES PESADOS	26
9.6.1.	Muestra de agua contaminada.....	26
9.6.2.	Marcha analítica de metales pesados del Grupo I.....	26
9.7.	METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE EFICACIA.....	28
9.7.1.	Aplicación de biochar para remoción de mercurio del agua contaminada	28
9.7.2.	Determinación de carga óptima	29
9.7.3.	Tabla de Frecuencias.....	31
9.8.	METODOLOGÍA PARA CARACTERIZACIÓN DE BIOCHAR	31
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.	32
10.1.	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	32

10.1.1.	Secado de muestras	32
10.2.	SÍNTESIS DE BIOCHAR.....	35
10.2.1.	Porcentaje de cenizas	37
10.3.	CONTAMINACIÓN DE AGUA CON METALES PESADOS.	38
10.3.1.	Marcha analítica de metales pesados del Grupo I- Mercurio (Hg)	38
10.4.	ANÁLISIS DE EFICACIA	39
10.4.1.	Carga óptima	39
10.4.2.	Tabla de frecuencias.....	41
10.5.	CARACTERIZACIÓN DE BIOCHAR.....	43
11.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	44
11.1.	Impacto social.....	44
11.2.	Impacto ambiental	44
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
14.	ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Beneficiarios del Proyecto	2
Tabla 2.	Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados.....	5

Tabla 3. Distribución del agua en la Tierra.....	13
Tabla 4. Tipos de pirólisis.....	21
Tabla 5. Proceso de remoción en función de la carga óptima	29
Tabla 6. Factores de estudio.....	25
Tabla 7. Datos de secado de muestras por el método de gravimetría	32
Tabla 8. Porcentaje de humedad de las muestras.....	34
Tabla 9. Pirólisis realizadas para obtención de biochar	35
Tabla 10. Datos de biochar obtenido	36
Tabla 11. Porcentaje de cenizas del biochar	37
Tabla 12. Proceso cualitativo de remoción en función de la carga óptima.....	39
Tabla 13. Tabla de frecuencias	41
Tabla 14. Caracterización físico- química del biochar de cáscara de cacao a 350°C.....	43

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Porcentaje de humedad.....	9
Fórmula 2. Porcentaje de cenizas.....	10
Fórmula 3: Ecuación de molalidad del pH	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfica estadística del % de eficacia de remoción de Mercurio del agua	42
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.....	53
Cáscara de cacao picada.....	53
Anexo 2.....	53
Cascarilla de arroz.....	53
Anexo 3.....	54
Muestra seca de cáscara de cacao	54
Anexo 4.....	54
Muestra seca de cascarilla de arroz.....	54
Anexo 5.....	55
Molienda o triturado de cáscara de cacao seca	55
Anexo 6.....	55
Pesaje de las muestras de cáscara de cacao y cascarilla de arroz previo al proceso de pirólisis	55
Anexo 7.....	56

Reposos de muestras en el desecador	56
Anexo 8.....	56
Escala de pH según colorimetría.....	56
Anexo 9.....	57
Biochar de cáscara de cacao a 350°C- 400°C y 500°C.....	57
Anexo 10.....	57
Biochar de cascarilla de arroz a 350°C- 400°C y 500°C	57
Anexo 11.....	58
Preservación de muestras de biochar	58
Anexo 12.....	58
Solución de mercurio (Hg).....	58
Anexo 13.....	59
Pesaje de 0,5 g y 5 g de biochar de cáscara de cacao para la remoción de mercurio (Hg).....	59
Anexo 14.....	59
Pesaje de 0,5 g y 5 g de biochar de cascarilla de arroz para la remoción de mercurio (Hg)	59
Anexo 15.....	60
Proceso de filtrado	60
Anexo 16.....	60
Muestra de 80 ml de muestra problema	60
Anexo 17.....	61
Toma de cada filtración de muestra en tubos de ensayo.....	61

Anexo 18.....	61
Colocación de HCl 6M para identificación de mercurio (Hg) después de cada filtración	61
Anexo 19.....	62
Diseño experimental del proceso de remoción de mercurio (Hg) del agua.....	62
Anexo 20.....	62
Observación directa de presencia de mercurio (Hg) después de los filtrados	62
Anexo 21.....	63
Observación directa de absorción de mercurio (Hg)	63
Anexo 22.....	63
Materiales y Equipos utilizados en el laboratorio de la universidad	63
Anexo 23.....	65
Resultados del análisis físico- químico del biochar de cáscara de cacao a 350°C.	65
Anexo 24.....	66
Aval de Traducción.....	66

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Producción de biochar a partir de materia orgánica de cáscara de cacao y cascarilla de arroz, para la recuperación de agua contaminada 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 Ambiental.

Nombres de equipo de investigación:

Tutor: Ing. Mgs. Andrés Sebastian Moreno Ávila

Estudiante: Srta. Melanie Ibeth Zavala Lema

LECTOR 1: Ing. Mgs. Jose Luis Agreda Oña

LECTOR 2: Ing. M. Sc. Vladimir Marconi Ortíz Bustamante

LECTOR 3: Ing. Mgs. Marco Antonio Rivera Moreno

Línea de investigación:

Energías Alternativas y Renovables, eficacia energética y protección ambiental.

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 social.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La utilización de los residuos sólidos para la generación de biochar, es una alternativa para la absorción de metales pesados en el agua, ya que este actúa como un filtro purificador que a comparación del carbón activado tiene mayor nivel de absorción y retención de líquidos, debido a los micro y macro poros presentes en su estructura.

Muchos de los residuos orgánicos como la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz son quemadas por su sobreproducción (García Montero, 2021), por ello optar por la producción del biochar a partir de esta materia orgánica, es aportar a la retroalimentación energética, la disminución de las emisiones de CO_2 , mejorar la gestión de los residuos sólidos y ayudar a la descontaminación del agua por metales pesados para conservar los recursos hídricos.

El último informe del órgano científico Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), incluye al biochar como herramienta de mitigación por su capacidad de fijar carbono y absorción de contaminantes orgánicos y metales pesados. Por ello al hacer uso del biochar se aportará a la resolución de problemáticas ambientales como el tratamiento de aguas residuales o contaminadas con metales pesados, ya que al integrar el biochar al agua este actúa como un filtro retenedor de metales pesados, disminuyendo así la contaminación de las fuentes hídricas por metales pesados producto de las actividades antropogénicas industriales en la provincia de Cotopaxi.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Tabla 1.

Beneficiarios del Proyecto

BENEFICIARIOS DIRECTOS	BENEFICIARIOS INDIRECTOS
------------------------	--------------------------

Población de la Provincia de Cotopaxi		Carrera de Ingeniería Ambiental	
Población económicamente activa:	173.094	Estudiantes de la carrera de ingeniería ambiental:	661
Población económicamente inactiva:	146.253	Docentes:	73
Población menor de 10 años:	89.858	Personal administrativo:	10
		Personal de servicio CEASA:	15
Total	409.205	Total	759

Nota: Obtenido del Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Cotopaxi 2021- 2025 (Caiza Quispe & Zambrano Cárdenas, 2022).

Elaborado por: La autora, 2023.

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La contaminación del agua por descargas residuales es una preocupación mundial, las principales causas de la contaminación se deben a las altas tasas de crecimiento de las actividades antropogénicas que día a día emiten metales pesados, disolventes y químicos tóxicos, constituyendo un peligro que amenaza a la humanidad y a los seres vivos.

El principal problema de las aguas residuales en el Ecuador es que tan solo el 12% de las aguas residuales generadas son tratadas mientras que el 88% no tienen ningún tratamiento y son canalizadas de forma directa a ríos y quebradas (Torske, 2019), afectando directamente al recurso hídrico y al ecosistema.

Las aguas residuales industriales según el TULSMA (2003), son aguas de desecho generadas en las operaciones o procesos de los establecimientos industriales, es decir que son un

subproducto de todo el proceso de la industria de petróleo, gas, minería, química, alimentos, confección, entre otros (Micronics, 2019).

Actualmente la contaminación del agua por metales pesados proviene de la imprudencia y del mal manejo de los desechos residuales industriales ha provocado el aumento de la concentración de la contaminación en el ambiente y afectaciones a la salud de la población. Dentro de la provincia de Cotopaxi la actividad minera legal e ilegal es la que genera mayor contaminación de las fuentes hídricas existentes, arrojando metales pesados perjudiciales para la salud humana como son el plomo, cromo, mercurio, entre otros.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

- Producir Biochar a partir de materia orgánica de cáscara de cacao y cascarilla de arroz para recuperación de agua contaminada con metales pesados a nivel de laboratorio.

5.2. Objetivos Específicos

- Establecer el peso y la humedad adecuada de la biomasa para la producción de biochar.
- Producir biochar con diferentes condiciones de temperatura y biomasa para su aplicación en la remediación de agua contaminada con metales pesados.
- Determinar el biochar más eficiente para la remoción de mercurio del agua contaminada, a través de métodos estadísticos para la determinación del mejor tratamiento.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2.

Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultado
O.1.- Establecer el peso y la humedad adecuada de la biomasa para la producción de biochar.	1. Investigación bibliográfica sobre estudios realizados para la producción de biochar 2. Caracterizar y secar la biomasa.	1. Empleo de gravimetría de secado. 2. Calculo del porcentaje de humedad.	Obtención de la biomasa más óptima para el proceso de pirolisis.
O.2.- Producir biochar con diferentes condiciones de temperatura y biomasa para su aplicación en la remediación de agua contaminada con metales pesados.	1. Encapsular sin oxígeno la materia orgánica. 2. Realizar proceso de pirólisis. 3. Enfriamiento de biochar.	1. Metodología para la síntesis de biochar (pirólisis). 2. Cálculo del porcentaje de cenizas.	Obtención de biochar a diferentes temperaturas.
O.3.- Comparar la eficacia de remoción	1. Muestra de agua	1. Diseño experimental	Biochar más eficiente para

<p>de contaminantes de los biochar producidos, a través de métodos estadísticos para la determinación del mejor tratamiento.</p>	<p>contaminada.</p> <p>2. Pruebas de laboratorio cualitativas para determinar la remoción de Hg después del tratamiento.</p> <p>3. Validación de datos cualitativos a través una tabla de frecuencias.</p> <p>4. Caracterizar el biochar más eficiente por medio de pruebas de laboratorio para medición de parámetros físico – químicos.</p>	<p>2. Marcha analítica de metales pesados del grupo I.</p> <p>3. Carga óptima</p> <p>4. Tabla de frecuencias</p> <p>5. Standard Methods</p>	<p>la remoción de mercurio (Hg) del agua contaminada.</p>
--	---	---	---

Nota: Actividades propuestas con respecto a los objetivos.

Elaborado por: La autora, 2023.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

En el presente proyecto de investigación se pretende producir Biochar a partir de materia orgánica como es la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz. Por ello se abordará fundamentos teóricos que sustentan este proceso. Por último se define el biochar y su aplicación para la remoción de metales pesados en el agua.

7.1. Recolección de muestras

7.1.1. Biomasa

La biomasa es una energía renovable a base de materia orgánica que tiene una alta eficiencia energética, dosis de ahorro y sostenibilidad ambiental siendo una opción viable para su utilización en varios casos, también es aquello que puede considerarse como materia orgánica de un proceso biológico espontáneo o provocado y ser utilizado como fuente de energía (Rodríguez, 2020).

7.1.2. Cacao

El cacao es un árbol frutal originario de América su nombre científico es Theobroma, su fruto es mayormente conocido por la elaboración del chocolate, sus usos son varios como alimentación, medicina y cosméticos (CuidatePlus, 2020). En el Ecuador la exportación de cacao es una de las fuentes principales de ingresos económicos y a la vez es el sustento de las familias campesinas que día a día aportan en su producción.

7.1.2.1. Tipos de cacao

En el Ecuador se producen dos tipos de cacao, lo que es el cacao Nacional Fino de Aroma y el cacao CCN- 51, los cuales son reconocidos a nivel mundial por la calidad de sus granos y delicioso sabor, dejando al Ecuador como el mejor productor de cacao a nivel mundial (MAGAP, 2019).

7.1.3. Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es la capa más externa del arroz, está representa el 20% de la cosecha de arroz y es considerada como un residuo el cual en muchos casos no tiene una buena disposición final, esto contamina el medio ambiente ya que la mayor parte de ella es quemada a cielo abierto (Osorio Aguirre, 2019).

7.2. Secado de muestras

7.2.1. Secado

El proceso de secado es una de las técnicas más utilizadas para la conservación de alimentos como frutos, carnes, entre otros, este proceso trata de eliminar agua impidiendo el crecimiento microbiano, existe el secado al sol que es un proceso más demoroso y se usa desde la antigüedad y el secado industrial en el cual se da uso de equipos que trabajan con variabilidad de temperatura para evaporar el agua, este proceso también disminuye el peso y volumen de la biomasa (Rodiles López & Zamora, 2020).

7.2.3. Estufa de secado

Es un equipo de laboratorio utilizado para deshidratar biomasa, reactivos e inclusive secar instrumentos de laboratorio, esta estufa de secado maneja variabilidad de temperaturas llegando hasta los 350°C y una de sus ventajas es que configura el tiempo a realizar el secado (Artedínamico, 2022).

7.2.4. Temperatura

La temperatura es una magnitud escalar que se experimenta con la sensación de tocar un objeto y sentir frío o calor, es decir nos permite medir la cantidad de energía térmica que posee un cuerpo, su unidad de medida en el sistema internacional es el kelvin (°K), otras unidades son el grado centígrado (°C) y los grados fahrenheit (°F) (Fernández, 2023).

7.2.5. Humedad

La humedad es la cantidad de agua que a nivel de materia está dentro de un cuerpo o alimento; y a nivel del ambiente la humedad es el vapor presente en la atmósfera, una forma de obtener la humedad de una muestra, es pesando la biomasa antes del proceso de secado a una temperatura deseada, por un lapso de tiempo determinado y pesando la biomasa después del proceso de secado (Equipos y Laboratorio, 2022), para ello se emplea la siguiente fórmula:

Fórmula 1. Porcentaje de humedad

$$\% \text{ HUMEDAD} = \frac{W \text{ muestra seca}}{W \text{ muestra inicial}} \times 100$$

Fuente: (Equipos y Laboratorio, 2022)

Dónde:

W: es el peso de la muestra

7.2.6. Análisis gravimétrico

El análisis gravimétrico es una técnica de laboratorio que sirve para determinar la masa o la concentración de una sustancia midiendo el peso de la misma con ayuda de una balanza analítica (Skoog & West, 2022).

7.2.7. Masa constante

Esta se obtiene a partir de varios pesajes de las muestras por gravimetría durante el proceso de secado de la biomasa, en el cual se repite el procedimiento hasta que el peso de la muestra no varíe significativamente y se pueda considerar constante (Arcos Moreira, 2020).

7.3. Obtención de biochar

7.3.1. Pirólisis

La pirólisis es el proceso de degradación térmica al que se somete una sustancia ya sea sólida o líquida en ausencia de oxígeno, la cual se degradará por medio de altas temperaturas, evitando a la vez que se genere una reacción de combustión durante todo el proceso (MITECO, 2023). Existen diferentes tipos de pirólisis los cuales son: pirólisis de carbonización, lenta, rápida, ultrarrápida y de gasificación.

7.3.2. Mufla

La mufla es un equipo de laboratorio que alcanza temperaturas muy altas, que oscilan entre los 100 °C y 1700 °C (Arcos Moreira, 2020), se utiliza para la cocción de materiales de

cerámica, para la fundición de metales, calcinación de sustancias y realización de procesos de pirólisis utilizando la energía térmica, para su utilización se debe tomar en cuenta el uso de materiales especiales como crisoles de porcelana, cuarzo o instrumentos de laboratorio inoxidable de alta que soporten las altas temperaturas (Arellano, 2019).

7.3.3. Calcinado

El calcinado es el producto de una reacción endotérmica elevada aplicada a una sustancia o materia hasta descomponerse térmicamente, existe la calcinación con modificación química, que como su nombre lo dice esta busca descomponer químicamente a la materia y la calcinación sin modificación química la cual modifica únicamente las condiciones físicas de la materia y a diferencia del secado, la calcinación necesita más calor para efectuarse (Arcos Moreira, 2020).

7.3.4. Cenizas

El contenido de cenizas es la cantidad de residuo orgánico sobrante del proceso de combustión o de la oxidación completa de la materia orgánica de una biomasa (Flores et al., 2021). En los alimentos la determinación del contenido de cenizas es un indicador del contenido de minerales, materia inorgánica y micro elementos que cumplen funciones metabólicas importantes en el organismo y permite determinar contaminaciones metálicas que han adquirido los alimentos desde el proceso de producción hasta el almacenamiento del mismo para su distribución (Quispe Rondan, 2019). Para calcular el porcentaje de cenizas se aplica la siguiente fórmula:

Fórmula 2. Porcentaje de cenizas

$$\% \text{ CENIZAS} = \frac{W \text{ muestra final}}{W \text{ muestra inicial}} \times 100$$

Fuente: (Constante Tamayo & Machado Muñoz, 2020)

Dónde:

W: es el peso de la muestra

7.3.5. Biochar

El biochar también conocido como carbón activado es un producto sólido que se obtiene al someter una biomasa a un proceso de pirólisis ya sea en ausencia parcial o total de oxígeno (Rosero Yela, 2019).

7.4. Prueba de caracterización de biochar

7.4.1. pH

El pH es una variable química que nos ayuda a medir el grado de acidez o de basicidad que tiene de una solución o sustancia (Pineda-Caro et al., 2020), la medición del pH se lo puede realizar de diferentes maneras, el pH metro es un instrumento específico para esta variable el cual se debe calibrar usando una disolución de un pH conocido para que sirva de patrón guía, otro instrumento para medición de pH es el papel tornasol, este es un indicador colorimétrico, no es tan precisos como el pH- metro pero es uno de los más usados y antiguos (Tomé, 2019), en el anexo 8 se muestra el pH según colorimetría.

El pH se puede identificar con la siguiente ecuación de la fórmula 3, que representa la actividad de los iones hidrógeno en términos de molalidad:

Fórmula 3: Ecuación de molalidad del pH

$$pH = -\log\{a_H\} = -\log\left\{\frac{m_{H^+}/\gamma_{H^+}}{m_0}\right\}$$

Fuente: (Tomé, 2019).

Dónde:

a_H : es la actividad del ion hidrógeno H^+ .

γ_{H^+} : se refiere al coeficiente de actividad molal del ion hidrógeno H^+ .

m_{H^+} : a la molalidad del ion hidrógeno H^+ .

m_0 : es molalidad estándar (1 mol kg⁻¹) del solvente.

Según Constante Tamayo & Machado Muñoz (2020), la mayor parte de biochar son alcalinos, es decir que presentan un pH mayor a 7 y depende de la materia prima, ya que el pH está muy relacionado con el contenido de cenizas, determinando que a mayor contenido de cenizas, mayor será el pH del biochar.

7.4.2. Conductividad eléctrica

Es la capacidad que tiene una solución o materia para conducir la corriente eléctrica, esto depende de la presencia de iones, su concentración, nivel de movilidad y temperatura (Nieto Vilarde, 2022). Existen dos formas de medir la conductividad, la primera es mezclando la muestra con agua, formando una sustancia barrosa y la otra forma es la medición directa con ayuda de un medidor portátil de conductividad (Cromtek, 2020).

7.4.3. Humedad

La humedad es la cantidad de agua contenida en un líquido o sólido por medio de absorción, esta puede ser eliminada sin necesidad de alterar sus propiedades químicas, por medio de un secado de la muestra, existen diferentes tipos de humedad, la humedad libre que se mueve por la fuerza de la gravedad y se encuentra en macroporos, la humedad capilar que se encuentra en microporos y es responsable de interacciones fisicoquímicas y mineralógicas- biológicas y la humedad higroscópica que es muy difícil de eliminar por su gran fuerza de adhesión (Caicedo-Rosero et al., 2021).

7.4.4. Materiales volátiles

La materia volátil es la fase gaseosa que se produce cuando el biochar se está calentando, este es inestable al cambiar rápidamente de estado, a su vez el contenido de materia volátil es usado como una medida de la susceptibilidad del biochar a degradarse (Escalante Rebolledo et al., 2016).

7.4.5. Carbono fijo

Es el residuo combustible del proceso de eliminación de materia volátil en una muestra de carbón como es el caso del biochar, este carbono fijo es la cantidad de combustible que se quema en estado sólido, el carbono fijo se determina a partir de la diferencia entre 100 y la

suma de los porcentajes de humedad, materias volátiles y cenizas; precisamente (Caiza Agualongo, 2022).

7.4.6. Granulometría

Es el tamaño de partícula de una muestra que a pasado por un proceso de molienda la cual es clasificada para medir sus fracciones, la forma de medir la granulometría de una muestra es por medio de tamices de diferentes diámetros de orificios y obteniendo la media geométrica y la amplitud de la partícula a través de desviaciones estándar geométrica (Evangelista et al., 2021).

7.5. Contaminación de agua con metales pesados

7.5.1. Agua

El agua es el elemento esencial para la vida tanto del ser humano como del ecosistema, esta circula naturalmente en océanos, la atmósfera, lagos, ríos, glaciares y aguas subterráneas formando un ciclo constante (Sierra Ramírez, 2021), el agua cubre la mayor parte del planeta, por ello en la tabla 3 se muestra la distribución del agua en la Tierra:

Tabla 3.

Distribución del agua en la Tierra

Situación del agua	Volumen en Km^3		Porcentaje
	Agua dulce	Agua salada	Agua total
Océanos, mares	-	1.338	96,5
Casquetes y glaciares polares	24.064.000	-	1,74
Agua subterránea	-	12.870.000	0,94

salada			
Agua subterránea dulce	10.530.000	-	0,76
Glaciares continentales y permafrost	300.00	-	0,022
Lagos de agua dulce	91.000	-	0,007
Lagos de agua salada	-	85.400	0,006
Humedad del suelo	16.500	-	0,001
Atmósfera	12.900	-	0,001
Embalses	11.470	-	0,0008
Ríos	2.120	-	0,0002
Agua biológica	1.120	-	0,0001
<hr/>			
Total agua dulce	35.029.110		-
<hr/>			
Total agua en la tierra	1.386.000.000		100
<hr/>			

Nota: La siguiente tabla nos muestra la distribución del agua en el planeta Tierra.

Elaborado por: La autora, basado en: (Sierra Ramírez, 2021).

7.5.2. Contaminación del agua por metales pesados

La contaminación de las fuentes hídricas se produce de manera natural o antropogénica, uno de los problemas de contaminación antropogénica es la presencia de metales pesados generados por la actividad industrial, minera, entre otros, pues los nivel de toxicidad de los metales pesados afecta no solo la calidad del agua, sino también a la salud de las personas que la utilizan o consumen (Pabón et al., 2021).

7.5.3. Mercurio

El mercurio (Hg) es un elemento que está presente de forma natural en el agua, suelo y aire, el cual es liberado al ambiente por la realización de actividades industriales y mineras legales e ilegales, en el caso de los océanos se libera como metilmercurio que puede ser acumulado en peces, moluscos y crustáceos, y en el caso de los hogares se puede encontrar mercurio en los termómetros, que al momento de entrar en contacto con este elemento por rotura del instrumento, puede afectar al sistema nervioso, digestivo e inmunitario y a los órganos tales como los pulmones, riñones y ojos, en caso de mayor exposición puede producir cáncer e incluso la muerte de la persona (OMS, 2023).

7.5.4. Marcha analítica de metales pesados del Grupo I

La marcha analítica consiste en una serie de procesos químicos que separan selectivamente las diferentes especies químicas presentes en una muestra, su propósito es la extracción o eliminación de un determinado elemento químico e impurezas y la detección de ciertos elementos o compuestos en una muestra. La marcha analítica típica para la detección y separación de metales pesados comienza con preparación de una disolución acuosa y se basa en reacciones de precipitación de los distintos compuestos metálicos, en el caso del mercurio que forma parte del grupo I, se caracteriza por formar precipitados en presencia de ácido clorhídrico diluido (Carbonero & Meza, 2019).

7.6. Marco Legal

7.6.1. Constitución de la República del Ecuador

En la Constitución de la República del Ecuador se presentan varios artículos que defienden los derechos de los ciudadanos a vivir en un ambiente sano y a la naturaleza reconociéndola como sujeto de derechos como se presenta a continuación:

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Constitución de la República del Ecuador, 2021).

Art. 71.- La naturaleza o *Pacha Mama*, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema (Constitución de la República del Ecuador, 2021).

7.6.2. Ley de minería

La ley de la minería del Ecuador nos expone en los artículos **134** y **138** la existencia de cuatro tipos de minería, la minería artesanal, pequeña, mediana y la gran minería, y establece el organismo regulador para esta actividad, es importante mencionar que en la actualidad se ha negado completamente el uso del mercurio en la amalgamación de oro del proceso minero (Ley de minería, 2021).

También determina el uso del agua en los procesos de la actividad minera como se señala en el siguiente artículo:

Art 79.- Tratamiento de aguas.- Los titulares de derechos mineros y mineros artesanales que, previa autorización de la autoridad única del agua, utilicen aguas para sus trabajos y procesos, deben devolverlas al cauce original del río o a la cuenca del lago o laguna de donde fueron tomadas, libres de contaminación o cumpliendo los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental y del agua vigentes, con el fin que no se afecte a los derechos de las personas y de la naturaleza reconocidos constitucionalmente.

El tratamiento a darse a las aguas para garantizar su calidad y la observancia de los parámetros de calidad ambiental correspondientes, deberá preverse en el respectivo sistema de manejo ambiental, con observancia de lo previsto en las leyes pertinentes y sus reglamentos.

La reutilización del agua, a través de sistemas de recirculación es una obligación permanente de los concesionarios

Dependiendo del grado de incumplimiento de esta disposición, podrá disponerse la suspensión temporal o definitiva de las actividades mineras, a cuyo efecto se seguirá el procedimiento establecido en esta Ley y su reglamento general (Ley de minería, 2021).

En el artículo innumerado de esta ley hace referencia a la prohibición del uso del mercurio en operaciones mineras como se mencionó anteriormente:

Art....- Prohibición del uso del mercurio en operaciones mineras.- Sin perjuicio de la aplicación de la normativa minero ambiental, se prohíbe el uso del mercurio en el país en actividades mineras, de acuerdo a los mecanismos que la autoridad ambiental nacional establezca para el efecto, en conjunto con las instituciones con potestad legal sobre la materia. La inobservancia a esta prohibición será sancionada con la revocatoria del derecho minero, sin perjuicio de las sanciones de orden penal a las que hubiere lugar (Ley de minería, 2021).

En caso de generar daño ambiental esta ley nos expone el siguiente artículo:

Art. 86.- Daños ambientales.- Para todos los efectos legales derivados de la aplicación de las disposiciones del presente artículo y de la normativa ambiental vigente, la autoridad legal es el Ministerio del Ambiente. Para los delitos ambientales, contra el patrimonio cultural y daños a terceros se estará a lo establecido en la Constitución de la República del Ecuador y en la normativa civil y penal vigente. El incumplimiento de las obligaciones contenidas en este Capítulo, dará lugar a las sanciones administrativas al titular de derechos mineros y poseedor de permisos respectivos por parte del Ministerio Sectorial, sin perjuicio de las acciones civiles y penales a que diere lugar. Las sanciones administrativas podrán incluir la suspensión de las actividades mineras que forman parte de dicha operación o la caducidad. El procedimiento y los requisitos para la aplicación de dichas sanciones estarán contenidos en el reglamento general de la ley (Ley de minería, 2021).

8. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

H_0 : La aplicación de biochar de cáscara de cacao y cascarilla de arroz, no tiene un efecto significativo en la remoción del mercurio presente en el agua contaminada, al mismo tiempo que no mejora la calidad de dicha agua.

H_1 : La aplicación de al menos uno de los biochar de cáscara de cacao y cascarilla de arroz, si tiene un efecto significativo en la remoción del mercurio presente en el agua contaminada, al mismo tiempo que mejora la calidad de dicha agua.

9. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1.ENFOQUE

El enfoque del presente proyecto de investigación es mixto ya que se emplea un enfoque cualitativo de uso de bibliografías, tablas, entre otros recursos, para describir el procedimiento metodológico y para la obtención de los resultados de remoción de contaminante (Sánchez Flores, 2019), y también un enfoque cuantitativo ya que se presentó un análisis de caracterización físico- químico del biochar más eficiente en el proceso de remoción de

mercurio y se utilizó un método estadístico para la identificación de la relación entre las variables resultantes de la eficacia de remoción de contaminante.

9.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

9.2.1. Método deductivo indirecto de conclusión inmediata

Este enfoque emplea la premisa mayor que contiene la proposición universal, la premisa menor que contiene la proposición particular y de su comparación resulta la conclusión, a su vez utiliza silogismos, es decir usa dos o más conceptos para obtener una conclusión (Labajo González, 2017). Por medio de la búsqueda bibliográfica, se empleó el método deductivo es decir se compararon varios conceptos para llegar a una conclusión aplicable al presente proyecto de investigación.

9.3. METODOLOGÍA PARA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Se seleccionó la cáscara de cacao y la cascarilla de arroz, ya que estas dos biomásas son quemadas por su sobreproducción, aumentando la emisión de CO_2 a la atmósfera. Por lo tanto, al utilizar estas dos biomásas, ayudamos a disminuir esas emisiones y mejoramos su sistema de gestión de residuos sólidos dándoles una vida útil y sostenible.

Primero se realizó la selección del cacao, del cual se utilizó únicamente la cáscara, se limpió y se procedió a cortar en finos trozos para proceder al secado de los mismos, en el caso de la cascarilla de arroz se adquirió esta biomasa ya seca, pero posteriormente también se sometió a un proceso de secado para mejor eficacia del biochar.

9.3.1. Método gravimétrico para secado de muestras

El método gravimétrico es un método directo de medición de la humedad, que consiste en pesar la muestra antes y después de su desecado y calcular el contenido de humedad (Quichimbo et al., 2016), por tanto se utilizó este método para el secado de las muestras de la cáscara de cacao y de la cascarilla de arroz.

Según García Martínez & Fernández Segovia (2019), el empleo de la estufa de secado es primordial en el método gravimétrico y en el caso de productos con un elevado contenido de azúcares la temperatura máxima de secado es de 70°C. Lo cual se tomó en cuenta para el caso

de la cáscara de cacao y así no eliminar sus propiedades por completo ya que se necesita la mayor cantidad de materia orgánica.

9.3.2. Cálculo de porcentaje de humedad

Para obtener el porcentaje de humedad, se pesó en una balanza digital las muestras obtenidas en el secado, aplicando la fórmula 1 antes mencionada.

Fórmula 1. Porcentaje de humedad

$$\% \text{ HUMEDAD} = \frac{W \text{ muestra seca}}{W \text{ muestra inicial}} \times 100$$

Fuente: (Equipos y Laboratorio, 2022)

Dónde:

W: es el peso de la muestra

Según Fernández Vivanco & López Portilla (2018), el porcentaje de humedad de la biomasa debe ser baja o menor al 50%, de humedad para obtener condiciones de trabajo óptimas dentro del equipo y que el proceso de pirólisis sea más eficaz.

9.4. METODOLOGÍA PARA LA SÍNTESIS DE BIOCHAR

9.4.1. Pirólisis

Una vez secas las muestras de cáscara de cacao y cascarilla de arroz, se procedió a realizar la pirólisis, para ello se utilizó los siguientes materiales:

Materiales:

- Crisol con Tapa
- Papel aluminio
- Balanza digital
- Mufla

- Pinzas metálicas
- Guantes anticolor (hasta 800°C).

En la tabla 4 se puede apreciar los tipos de pirólisis, los cuales nos ayudaron para aplicar la temperatura y tiempo adecuado para obtención del biochar tanto de la cáscara de cacao como de la cascarilla de arroz.

Tabla 4.

Tipos de pirólisis

Proceso	Velocidad de calentamiento	Temperatura °C máxima	Tiempo de residencia	Productos
Carbonización	Muy Lenta	350 a 400	Minutos-Horas-Días	Biochar
Pirólisis Lenta	0,01- 2 °C/s Lenta	400 a 500	45 a 60 minutos	Biochar
Pirólisis Convencional	Lenta	500 a 600	5- 30 minutos	Biochar Bioaceite Gas
Pirólisis Rápida	Muy rápida	650	0,5 a 5 segundos	Bioaceite

Nota: Tipos de pirólisis con sus respectivas temperaturas y tiempo de residencia de la muestra.

Fuente: (Gómez Zuñiga & Quevedo Gamba, 2020)

9.4.1.1.Pirólisis lenta

La pirólisis lenta según la tabla 4, nos dice que la velocidad de calentamiento es de 0,01-2°C/s a una temperatura de entre los 400°C y 500°C con un tiempo de residencia de la biomasa de 45 a 60 minutos para la obtención de biochar (Gómez Zuñiga & Quevedo Gamba, 2020).

9.4.1.2.Pirólisis convencional

La pirólisis convencional se genera a una velocidad de calentamiento lenta, alcanzando una temperatura máxima entre 500-600°C. En estas condiciones, se obtienen tres productos: sólidos, líquidos y gases, en proporciones significativas, utiliza velocidades de calentamiento bajas (~0.1-1 K/s), el tiempo de residencia de los volátiles varía entre 5 y 60 minutos, la biomasa se calienta hasta alrededor de 500°C y usa tamaños de partícula entre 5-50 mm (Baray Guerrero et al., 2019).

9.4.1.3.Pirólisis rápida

La pirólisis rápida según la tabla 4, nos dice que la velocidad de calentamiento es rápida a una temperatura de 650°C con un tiempo de residencia de la biomasa de 0,5 a 5 segundos para la obtención de bio aceite (Gómez Zuñiga & Quevedo Gamba, 2020).

9.4.2. Procedimiento para producción de biochar a partir de cáscara de cacao

A partir del método de (Constante Tamayo & Machado Muñoz, 2020), se pesó 111 g de cáscara de cacao previamente secada y triturada dentro de un crisol el cual tapamos y envolvimos con papel aluminio para impedir la entrada de oxígeno a la muestra, se colocó la biomasa pesada en el interior de la mufla, cerramos y seteamos la temperatura deseada según el tipo de pirólisis guiándonos en la tabla 4, una vez culminado se apagó el equipo y se dejó que este se enfríe por un lapso máximo de 24 horas, ya frío se abrió la mufla para recoger el biochar y se procedió a pesar para obtener el peso final y se almacenó en una funda ziploc posteriormente se envolvió en papel aluminio.

9.4.2.1. Carbonización

La temperatura máxima para la carbonización de la biomasa según la tabla 4 tiene un máximo de 400°C, a partir de ello se aplicó el método de (Constante Tamayo & Machado Muñoz, 2020), se realizó el proceso de pirólisis a una temperatura de 350°C con una duración de 30 minutos, una vez terminado se apaga el equipo y se dejó que enfríe para recoger el biochar el cual se procedió a almacenar en una funda ziploc y se pesó su peso final.

9.4.2.2. Pirólisis Lenta

La temperatura máxima para la pirólisis lenta de la biomasa según la tabla 4 tiene un máximo de 500°C, a partir de ello se aplicó el método de (Constante Tamayo & Machado Muñoz, 2020), se realizó el proceso de pirólisis a una temperatura de 400°C con una duración de 20 minutos y a 450°C con una duración de 15 minutos, una vez terminado se apagó el equipo y se dejó que enfríe para recoger el biochar el cual se procedió a almacenar en una funda ziploc y se pesó su peso final.

9.4.2.3. Pirólisis convencional

La temperatura máxima para la pirólisis convencional de la biomasa según la tabla 4 tiene un máximo de 600°C, a partir de ello se aplicó el método de (Constante Tamayo & Machado Muñoz, 2020), se realizó el proceso de pirólisis a una temperatura de 500°C con una duración de 10 minutos, una vez terminado se apagó el equipo y se dejó que enfríe para recoger el biochar el cual se procedió a almacenar en una funda ziploc y se pesó su peso final.

9.4.3. Procedimiento para producción de biochar a partir de cascarilla de arroz

A partir del método de Constante Tamayo & Machado Muñoz (2020), se pesó 12,5 g de cascarilla de arroz previamente secada y triturada dentro de un crisol el cual tapamos y envolvimos con papel aluminio para impedir la entrada de oxígeno a la muestra, se colocó la biomasa pesada en el interior de la mufla, cerramos y seteamos la temperatura deseada según el tipo de pirólisis guiándonos en la tabla 4, una vez culminado se apago el equipo y se dejó que este se enfríe por un lapso máximo de 24 horas, ya frío se abrió la mufla para recoger el biochar y se procedió a pesar para obtener el peso final y se almacenó en una funda ziploc posteriormente se envolvió en papel aluminio.

9.4.3.1. Carbonización

La temperatura máxima para la carbonización de la biomasa según la tabla 4 tiene un máximo de 400°C, a partir de ello se aplicó el método de (Constante Tamayo & Machado Muñoz, 2020), se realizó el proceso de pirólisis a una temperatura de 350°C con una duración de 30 minutos, una vez terminado se apaga el equipo y se dejó que enfríe para recoger el biochar el cual se procedió a almacenar en una funda ziploc y se pesó su peso final.

9.4.3.2. Pirólisis Lenta

La temperatura máxima para la pirólisis lenta de la biomasa según la tabla 4 tiene un máximo de 500°C, a partir de ello se aplicó el método de (Constante Tamayo & Machado Muñoz, 2020), se realizó el proceso de pirólisis a una temperatura de 400°C con una duración de 20 minutos y a 450°C con una duración de 15 minutos, una vez terminado se apagó el equipo y se dejó que enfríe para recoger el biochar el cual se procedió a almacenar en una funda ziploc y se pesó su peso final.

9.4.3.3. Pirólisis convencional

La temperatura máxima para la pirólisis convencional de la biomasa según la tabla 4 tiene un máximo de 600°C, a partir de ello se aplicó el método de (Constante Tamayo & Machado Muñoz, 2020), se realizó el proceso de pirólisis a una temperatura de 500°C con una duración de 10 minutos, una vez terminado se apagó el equipo y se dejó que enfríe para recoger el biochar el cual se procedió a almacenar en una funda ziploc y se pesó su peso final.

9.4.4. Método Analítico

9.4.4.1. Porcentaje de cenizas

Para obtener el porcentaje de cenizas, una vez frío el crisol, pesamos en una balanza digital y se aplicó la fórmula 2 antes mencionada.

Fórmula 2. Porcentaje de cenizas

$$\% \text{ CENIZAS} = \frac{W \text{ muestra final}}{W \text{ muestra inicial}} \times 100$$

Fuente: (Constante Tamayo & Machado Muñoz, 2020)

Dónde:

W: es el peso de la muestra

9.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

9.5.1. Factores de Estudio

Se identificó tres factores, el factor A trata de las dos biomásas utilizadas para la producción de biochar, el factor B identifica los dos pesos de biochar utilizados para el proceso de remoción de biochar y el factor C identifica las tres temperaturas de producción de biochar como se puede evidenciar en la tabla 5.

Tabla 5.

Factores de estudio

	Factores	Variables	Repeticiones	Tratamientos
A (biomasa)	Biochar de cáscara de cacao	2	3	12
	Biochar de cascarilla de arroz			
B (pesos de biochar)	0.5 g	2	3	12
	5 g			
C (temperatura de producción de biochar)	350°C	3		
	400°C			
	500°C			

Nota: La tabla muestra los factores, variables, repeticiones y tratamientos totales del proyecto de investigación, correspondientes al diseño experimental.

Elaborado por: La autora, 2023.

9.6. METODOLOGÍA DE CONTAMINACIÓN DE AGUA CON METALES PESADOS

9.6.1. Muestra de agua contaminada

Para obtener la muestra de agua contaminada, se procedió a tomar 80 ml de agua destilada para cada biochar y colocar concentraciones del mercurio (*Hg*), ya que el mercurio es muy tóxico, incluso en concentraciones del orden de 0,001 mg/L a 0,1 mg/L en el agua (Tejada Tovar et al., 2012).

Materiales:

- Termómetros de mercurio (1.5 g a 2 g de Hg)
- Muestra de agua

9.6.2. Marcha analítica de metales pesados del Grupo I

Se realizó la marcha analítica para la identificación cualitativa de los cationes del grupo I: Ag, Pb^{+2} y Hg, precipitados con HCl para así identificar el mercurio (Hg) en una muestra problema. Para ello se empleó los siguientes materiales:

Materiales:

- 3 Vasos de precipitado
- 2 pipetas graduadas 10ml
- 1 gradilla
- 10 tubos de ensayo
- 1 Embudo
- 1 Mechero
- 1 Trípode
- Papel filtro
- Centrífuga
- Tubos para centrífuga
- Balanza (Ramírez Avila, 2014).

Reactivos:

- HNO_3 diluido
- HCl 6M
- NH_4OH
- Muestra Problema
- K_2CrO_4 0.5M (Ramírez Avila, 2014).

Proceso:

Se realizó el proceso de Ramírez Avila (2014), para la identificación, siguiendo los siguientes pasos:

1. Se colocaron 5 gotas de la muestra problema en un tubo de ensayo.
 2. Seguido se colocó 15 gotas de agua destilada y 2 gotas de HCl 6 M.
 3. Centrifugamos.
 4. Se dejó escurrir 1 gota de HCl 6M por la pared del tubo de ensayo que contiene el precipitado, si la solución sobre el precipitado queda clara, o casi clara, quiere decir que todos los iones del Grupo I se precipitaron completamente, si se forma más precipitado, significa que la cantidad de agente precipitante es insuficiente. Si es el caso se agita, se centrifuga y se agrega otra gota de HCl 6M, repitiendo todas las operaciones hasta que al momento de adición HCl ya no se forme más precipitado.
 5. Se procedió a enfriar, dejando correr agua por el exterior del tubo y se decantó la solución que queda clara sobre el precipitado.
 6. El precipitado puede ser $PbCl_2$, $AgCl$, Hg_2Cl_2 o cualquier posible combinación de los tres.
- **Identificación de los Cationes del Grupo I**
7. Al precipitado que quedó en el tubo de ensayo se le agregó 1 ml de agua destilada y se calentó el tubo de ensayo por 2 minutos en un baño de agua caliente, agitando varias veces durante el calentamiento.
 8. Se sacó el tubo y se centrifugó inmediatamente por no más de 30 segundos.
 9. Se procedió a decantar y la solución se guardó para el ensayo de plomo en caso de requerir y el precipitado se guardó para la identificación de Plata y Mercurio (Ramírez Avila, 2014).

- **Ensayo del Plomo**

10. Para el ensayo del plomo se tomaron 5 gotas de la solución obtenida en el paso 9 y se las colocó en un tubo de ensayo limpio, se agregó 110 gotas de agua destilada y 2 gotas de K_2CrO_4 0.5M, si se forma un precipitado amarillo, esto es indicio de que el plomo puede estar presente en la muestra. Para confirmar se tomaron otras gotas de la solución obtenida en el paso 9 y se le agrega 6 gotas de H_2SO_4 9M dando la formación de un precipitado blanco es evidencia de la presencia de plomo (Ramírez Avila, 2014).

- **Separación del $AgCl$ y del Hg_2Cl_2**

11. Se procedió a lavar el precipitado del paso 9 con agua caliente y se le añadió 5 gotas de agua destilada y 5 de hidróxido de amonio concentrado, se agitó, se centrifugó y se decantó la solución a un vaso de precipitado, en este paso se logra disolver al $AgCl$ y el Hg_2Cl_2 reacciona con el NH_3 o con HCl para formar partículas muy pequeñas de Hg y de $Hg(NH_2)Cl$ (Blancas). La presencia por tanto de un color gris o blanco polvoriento se entiende como una prueba positiva de la presencia del Hg .

12. A la solución obtenida en el paso anterior se le agregó lentamente 1 ml de HNO_3 concentrado (esto debe hacerse con mucho cuidado para evitar salpicaduras, debe dejarse resbalar el HNO_3 por las paredes del vaso y se debe agitar constantemente), la formación de un precipitado blanco en este paso es indicativo de la presencia de Plata para que esto suceda la solución debe ser ácida (Ramírez Avila, 2014).

9.7. METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE EFICACIA

9.7.1. Aplicación de biochar para remoción de mercurio del agua contaminada

Una vez obtenida la solución con presencia de mercurio, utilizamos los siguientes materiales:

Materiales:

- Vasos de precipitación de 100 ml
- Balón de destilación de 100 ml
- Tubos de ensayo

- Gradilla
- Guantes
- Varilla de agitación
- Biochar de cáscara de cacao (350°C, 400°C y 500°C)
- Biochar de cascarilla de arroz (350°C, 400°C y 500°C)
- Cuchara pequeña
- Balanza
- Papel filtro
- Embudos
- Papel aluminio

Reactivos:

- Ácido clorhídrico (HCl) 6M.
- Muestra problema de mercurio

9.7.2. Determinación de carga óptima

Se pesó cada tipo de biochar el cual se colocó sobre el embudo que contiene el papel filtro y se colocó 80 ml de solución de mercurio, se dejó que el biochar filtre el agua y una vez filtrada el agua se procedió a colocar una parte de la muestra de agua en 1 tubo de ensayo al cual se colocó 1 ml de HCl 6M, si el agua muestra partículas de tonalidad blanca polvorienta significa que el agua aún tiene presencia de Mercurio y si el agua no presenta partículas de tonalidad blanca polvorienta significa que el biochar si ayuda a remover el mercurio del agua. Este proceso de filtrado se realizó 5 veces o más para verificar la remoción por medio de la observación directa con la identificación química de metales pesados y con una repetibilidad de 3 veces por cada biochar de diferente temperatura y con diferente peso como se evidencia en la tabla 6.

Tabla 6.

Proceso de remoción en función de la carga óptima

Parámetro	Biochar de cáscara de cacao	Biochar de cascarilla de
-----------	-----------------------------	--------------------------

arroz			
350°C		350°C	
0,5 g	5 g	0,5 g	5 g
Hg			
400°C		400°C	
0,5 g	5 g	0,5 g	5 g
Hg			
500°C		500°C	
0,5 g	5 g	0,5 g	5 g
Hg			

Nota: El siguiente formato de tabla nos ayudó a registrar el proceso de remoción de mercurio por cada biochar

Elaborado por: Melanie Zavala, 2023.

Se identificó la evidencia de remoción de mercurio con un máximo a las 5 filtrados eliminando todas las partículas blancas polvorientas que evidencian la presencia de mercurio y se evidencia la ausencia de remoción de mercurio al necesitar un mayor número de filtraciones superiores a 5 filtraciones de agua.

9.7.3. Tabla de Frecuencias

Para dar una justificación porcentual se realizó una tabla de frecuencias con ayuda del software Excel en el que se calculó las siguientes frecuencias:

9.7.3.1.Frecuencia Absoluta

Se realizó el conteo del número de veces que se repite la variable cualitativa de remoción de mercurio en el conjunto de datos obtenidos posteriormente.

9.7.3.2.Frecuencia Relativa

Se realizó el cálculo porcentual correspondiente a las veces que se repite un número en el conjunto de datos respecto al total de los mismos.

9.8. METODOLOGÍA PARA CARACTERIZACIÓN DE BIOCHAR

Al finalizar la comparación cualitativa de eficiencia de absorción de cada tipo de biochar, se identificó el biochar más eficiente, el que no presentó cambio en su color después del filtrado (no cambio a la coloración blanca polvorienta indicativa de la presencia de mercurio), posteriormente se analizó 150 g de muestra de dicho biochar, en el cual realizó los siguientes análisis cuantitativos:

pH: El método empleado fue EPA 9045 C y la técnica de electrometría a 25°C.

Conductividad: El método para medición de conductividad utilizado fue APHA 2510 B y técnica de electrometría a 25°C.

Humedad: El método para medición del porcentaje de humedad utilizado fue Infrarrojo y técnica de termogravimetría.

Cenizas: La técnica empleada para medición del porcentaje de cenizas fue termogravimetría.

Materiales volátiles (carbono fijo): La técnica para medición de materias volátiles utilizada fue termogravimetría.

Granulometría: Para la obtención del tamaño, forma y granulometría, se utilizó la técnica fotográfica (Camsizer).

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

10.1. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

10.1.1. Secado de muestras

Al realizar el secado por el método de gravimetría se empleó la estufa de secado a 70 °C por 48 horas, obteniendo los resultados que se evidencia en la tabla 7.

Tabla 7.

Datos de secado de muestras por el método de gravimetría

PRIMER SECADO DE MUESTRAS			
Temperatura 70°C			
Cáscara de Cacao	Tiempo (horas)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
M1	48	75,63	18,11
M2	48	75,76	14,7
Cascarilla de Arroz	Tiempo (horas)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
M3	48	157,79	25,96
M4	48	157,75	25,88

SEGUNDO SECADO DE MUESTRAS

Cáscara de Cacao	Tiempo (horas)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
M1	48	110,17	22,22
M2	48	110,19	21,14
M3	48	110,15	14,7
M4	48	110,13	20,25
M7	48	75,25	10,14
Cascarilla de Arroz	Tiempo (horas)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
M5	48	175,15	27,82
M6	48	175,15	27,31

TERCER SECADO DE MUESTRAS

Cáscara de Cacao	Tiempo (horas)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
M1	48	220	37,49
M2	48	110,02	14,09
M3	48	110,01	13,85
M4	48	110,03	13,74
M5	48	110	14,17
M6	48	70,01	8,66

Nota: Resultados del proceso de secado de las muestras por el método de gravimetría

Elaborado por: La autora, 2023.

Se puede evidenciar el peso inicial y final del secado de cada muestra tanto de la cáscara de cacao como de la cascarilla de arroz, durante el proceso de secado, se pesó cada muestra a las 4 horas después de estabilizarse la temperatura de la estufa de secado, después a las 2 horas y después de 1 hora, este proceso se repitió por dos días, con el objetivo de obtener un peso constante en el último pesaje de cada muestra. Posteriormente cada muestra se recolectó en fundas ziploc para conservarse como se puede observar en el anexo 3 y 4.

10.1.2. Porcentaje de humedad

Para obtener el porcentaje de humedad, se utilizó los datos del peso inicial y peso final de la tabla 7 y se reemplazó aplicando la fórmula 1 antes mencionada en el presente proyecto de investigación, los resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 8.

Porcentaje de humedad de las muestras

PRIMER SECADO DE MUESTRAS		SEGUNDO SECADO DE MUESTRAS		TERCER SECADO DE MUESTRAS	
Cáscara de Cacao	% Humedad	Cáscara de Cacao	% Humedad	Cáscara de Cacao	% Humedad
M1	23,95	M1	20,17	M1	17,04
M2	19,40	M2	19,19	M2	12,81
Cascarilla de Arroz	% Humedad	M3	13,35	M3	12,59
		M4	18,39	M4	12,49
M3	16,45	M7	13,48	M5	12,88
M4	16,41	Cascarilla de Arroz	% Humedad	M6	12,37
				M5	
		M6	15,59		

Elaborado por: La autora, 2023.

En esta tabla se puede observar el porcentaje de humedad de cada una de las muestras, por tanto se ha calculado el promedio del porcentaje de humedad, obteniendo como resultados el 16,01% de humedad para la cáscara de cacao y el 16,08% de humedad para la cascarilla de arroz. Es decir que la cáscara de cacao contiene menor contenido de humedad a comparación de la cascarilla de arroz debido a que la cascarilla de arroz absorbe la humedad mucho más rápido al ser expuesta a temperatura ambiente.

10.2.SÍNTESIS DE BIOCHAR

A partir de la tabla 3, se generó la tabla 9 de los tipos de pirólisis utilizados en el proyecto de investigación, para la realización del biochar con su respectiva variación de tiempo.

Tabla 9.

Pirólisis realizadas para obtención de biochar

Proceso	Velocidad de calentamiento	Temperatura °C máxima	Tiempo de residencia	Productos
Carbonización	Muy Lenta	350 a 400	30 minutos	Biochar
Pirólisis Lenta	0,01- 2 °C/s Lenta	400 a 500	20 minutos	Biochar
Pirólisis Convencional	Lenta	500 a 600	10 minutos	Biochar

Elaborado por: La autora, 2023.

Como se puede observar en la tabla 9, se realizó 3 tipos de pirólisis para los dos tipos de biomasa y son la carbonización a 350°C por 30 minutos, la pirólisis lenta a 400°C por 20 minutos y la pirólisis convencional a 500°C por 10 minutos, cabe recalcar que al aumentar la temperatura se debe disminuir el tiempo de residencia de la muestra, para evitar la quema excesiva de la misma y el exceso de cenizas. Una vez terminado el proceso se apagó el equipo y se dejó que enfríe por un lapso de 24 horas dentro de la mufla y del desecador para impedir

la absorción de humedad del ambiente previo a su almacenamiento como se puede observar en el anexo 6.

Tabla 10.

Datos de biochar obtenido

Temperatura 350°C			
Cáscara de Cacao	Tiempo (minutos)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
M1	30	32,36	16,34
M7	30	32,38	14,86
M8	30	26,03	12,94
Cascarilla de Arroz	Tiempo (minutos)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
M2	30	12,50	6,50
M5	30	12,50	6,10
M6	30	12,50	6,98
Temperatura 400°C			
Cáscara de Cacao	Tiempo (minutos)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
M9	20	20,62	8,40
M10	20	19,54	9,32
M12	20	23,97	10,17
Cascarilla de Arroz	Tiempo (minutos)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
M3	20	12,50	5,68
M4	20	12,50	5,90
M11	20	12,50	6,20
Temperatura 500°C			

Cáscara de Cacao	Tiempo (minutos)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
M13	10	21,90	8,45
M14	10	20,52	8,72
M17	10	25,55	10,47
Cascarilla de Arroz	Tiempo (minutos)	Peso inicial (g)	Peso final (g)
M15	10	12,51	5,16
M16	10	12,51	5,42
M18	10	13,08	5,80

Elaborado por: Melanie Zavala, 2023.

Se puede observar la cantidad de biochar obtenido en cada pirólisis a diferentes temperaturas, por tanto se ha calculado el promedio del total de pérdida de peso, obteniendo como resultado que la cáscara de cacao presenta mayor pérdida de peso con un promedio de 13,69 g a comparación de la cascarilla de arroz con un promedio de 6,60 g.

10.2.1. Porcentaje de cenizas

Los resultados obtenidos del cálculo del porcentaje de cenizas utilizando la fórmula 2, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11.

Porcentaje de cenizas del biochar

Temperatura 350°C	
Cáscara de Cacao	% Cenizas
M1	50,49
M7	45,89
M8	49,71
Cascarilla de Arroz	% Cenizas
M2	52,00
M5	48,80

M6	55,84
Temperatura 400°C	
Cáscara de Cacao	% Cenizas
M9	40,74
M10	47,70
M12	42,43
Cascarilla de Arroz	% Cenizas
M3	45,44
M4	47,20
M11	49,60
Temperatura 500°C	
Cáscara de Cacao	% Cenizas
M13	38,58
M14	42,50
M17	40,98
Cascarilla de Arroz	% Cenizas
M15	41,25
M16	43,33
M18	44,34

Elaborado por: Melanie Zavala, 2023.

En esta tabla se puede observar el porcentaje de cenizas de cada una de las muestras, por tanto se ha calculado el promedio del porcentaje de cenizas, obteniendo como resultados el 44,34% de cenizas para el biochar de cáscara de cacao y el 47,53% de cenizas para el biochar de cascarilla de arroz, es decir que el biochar de cáscara de cacao contiene menor contenido de cenizas a comparación del biochar de cascarilla de arroz.

10.3. CONTAMINACIÓN DE AGUA CON METALES PESADOS.

10.3.1. Marcha analítica de metales pesados del Grupo I- Mercurio (Hg)

Una vez contaminada la muestra de agua con mercurio e identificada su presencia con una correcta dilución, se utilizó en total 80 mL (anexo 12) de muestra problema para cada prueba de remoción de Mercurio del agua.

10.4. ANÁLISIS DE EFICACIA

10.4.1. Carga óptima

Una vez realizadas las pruebas para la determinación de la carga óptima se presenta los resultados cualitativos obtenidos en la tabla 12:

Tabla 12.

Proceso cualitativo de remoción en función de la carga óptima

Parámetro	Biochar de cáscara de cacao		Biochar de cascarilla de arroz	
Presenta/No	350°C		350°C	
	0,5 g	5 g	0,5 g	5 g
	No	Si	No	No
Hg	No	Si	No	Si
	No	Si	No	Si
	No	Si	No	Si
Presenta/No	400°C		400°C	
	0,5 g	5 g	0,5 g	5 g
	No	Si	No	Si
Hg	No	Si	No	Si

	No	Si	No	No
	No	No	No	No
	500°C		500°C	
	0,5 g	5 g	0,5 g	5 g
Hg	No	No	No	Si
	No	Si	No	No
	No	No	No	No

Elaborado por: Melanie Zavala, 2023.

Se obtiene como resultados que a mayor cantidad de biochar la remoción de mercurio del agua es más eficiente y que el biochar con mayor eficiencia de remoción es el de cáscara de cacao producido a 350°C, seguido por el de biochar de cáscara de cacao a 400°C y el biochar de cascarilla de arroz a 350°C, y los menos eficientes en el proceso de remoción son el biochar de cascarilla de arroz a 400°C y 500°C y el biochar de cáscara de cacao a 500°C.

Según Constante Tamayo & Machado Muñoz (2020), comprobaron que el biochar de cáscara de cacao producido a 350°C tiene mayor eficiencia que el biochar producido a 500°C, ya que garantiza un rendimiento de 39, 93% y un porcentaje de cenizas de 16,85% siendo el de mayor cantidad a comparación del biochar generado a 500°C, comprobando que a mayor temperatura el biochar tiene menor rendimiento al momento de utilizarlo para remoción de metales o abono agrícola, entre otros usos.

También Macías Cedeño (2021), comprobó que el biochar de cáscara de cacao producido a 350°C es un buen medio filtrante de contaminantes presentes en muestras de agua, ya que

mantiene el 90,43% de humedad y presenta un rendimiento del 61,65%, en su caso siendo más eficiente que el biochar producido a 375°C, nuevamente se comprueba que a mayor temperatura el biochar disminuye su rendimiento de remoción de contaminantes del agua.

Por último Palomino Quispe & Rodriguez Flores (2019), de igual manera comprobaron que el parámetro más significativo en el proceso de pirólisis es la temperatura, obteniendo mejores porcentajes de adsorción de metales pesado a menores temperaturas, es decir el biochar de 350°C es más eficiente que el biochar producido a 450°C y 550°C en su investigación.

Con estas comparaciones bibliográficas comprobamos que el biochar más eficiente fue el de cáscara de cacao a 350°C y que el parámetro de temperatura juega un rol importante en el rendimiento del mismo para el proceso de remoción, ya que a mayor temperatura el biochar disminuye su rendimiento de remoción.

10.4.2. Tabla de frecuencias

Los resultados obtenidos de la tabla de frecuencias a partir de los datos de la tabla 12 son los siguientes:

Tabla 13.

Tabla de frecuencias para % de eficacia de remoción.

Biochar	Remoción a 5 g	Temperatura	F. absoluta	F. relativa	F. relativa %
CACAO	SI	350	3	1	100
	NO	350	0	0	0
	Total		3	1	100
CACAO	Remoción a 5 g	Temperatura	F. absoluta	F. relativa	F. relativa %
	SI	400	2	0,67	66,67
	NO	400	1	0,33	33,33
	Total		3	1,00	100
CACAO	Remoción a 5 g	Temperatura	F. absoluta	F. relativa	F. relativa %
	SI	500	1	0,33	33,33
	NO	500	2	0,67	66,67
	Total		3	1,00	100
	Remoción a 5 g	Temperatura	F. absoluta	F. relativa	F. relativa %

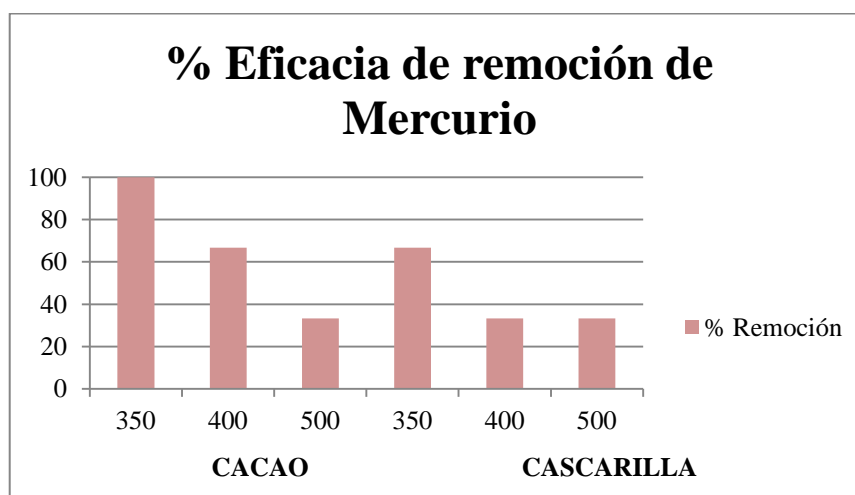
	SI	350	2	0,6667	66,67
CASCARILLA	NO	350	1	0,3333	33,33
		Total	3	1	100
	Remoción a 5 g	Temperatura	F. absoluta	F. relativa	F. relativa %
	SI	400	1	0,33	33,33
CASCARILLA	NO	400	2	0,67	66,67
		Total	3	1,00	100
	Remoción a 5 g	Temperatura	F. absoluta	F. relativa	F. relativa %
	SI	500	1	0,33	33,33
CASCARILLA	NO	500	2	0,67	66,67
		Total	3	1,00	100

Elaborado por: La autora, 2023.

Los resultados obtenidos justifican a los resultados antes mencionados en la tabla 12, evidenciando que el mejor tratamiento para la remoción de mercurio del agua es el biochar de cáscara de cacao a 350°C con un porcentaje de eficacia de remoción del 100%, seguido por el de biochar de cáscara de cacao a 400°C con un porcentaje de eficacia de remoción del 66,67% y el biochar de cascarilla de arroz a 350°C con un porcentaje de eficacia de remoción del 66,67%, y los menos eficientes en el proceso de remoción son el biochar de cascarilla de arroz a 400°C y 500°C y el biochar de cáscara de cacao a 500°C con un porcentaje de eficacia de remoción del 33,33%.

Figura 1.

Gráfica estadística del % de eficacia de remoción de Mercurio del agua



Elaborado por: La autora, 2023.

En la figura se puede evidenciar los porcentajes de la eficacia de remoción antes mencionados, con lo cual se acepta la Hipótesis alternativa ya que la aplicación de al menos uno de los biochar de cáscara de cacao y cascarilla de arroz, si tiene un efecto significativo en la remoción del mercurio presente en el agua contaminada, al mismo tiempo que mejora la calidad de dicha agua comprobado mediante la reacción química del HCl 6M correspondiente a la marcha analítica de metales pesados del grupo I, tomando en cuenta que a mayor cantidad de biochar la eficacia de remoción aumenta.

10.5. CARACTERIZACIÓN DE BIOCHAR

Los resultados del análisis físico- químico del biochar de cáscara de cacao producido a 350°C, se evidencia en la tabla 14.

Tabla 14.

Caracterización físico- química del biochar de cáscara de cacao a 350°C.

Parámetro	Método/ Técnica	Análisis de resultados
pH	EPA 9045 C (Electrometría)	Presenta un pH de 9,47 considerado alcalino
Conductividad	APHA 2510 B (Electrometría)	Presenta una conductividad de 32,7 mS/cm
Humedad	Infrarrojo (Termogravimetría)	Presenta un porcentaje de humedad de 1,55%
Cenizas	(Termogravimetría)	Presenta un porcentaje de cenizas de 15,24%P
Materia volátil (carbono fijo)	(Termogravimetría)	Presenta un total de carbono fijo de 42,53%P
Tamaño de partícula y granulometría	Fotografía (Camsizer)	Presenta tamaños de partículas de 0,5 mm, 2,45 mm, 4,40 mm, 6,35 mm, 8,30 mm, 10,25 mm, 12,20 mm, 14,15 mm, 16,10 mm, 18,05 mm y 20 mm, es decir que su tamaño oscila entre los 0,5 mm y 20 mm, a su vez la gráfica estadística nos muestra la distribución de las partículas, donde la concentración mayor es del 18,71% con un tamaño de

Elaborado por: La autora, 2023.

11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

11.1. Impacto social

Al haber identificado la eficacia de remoción de mercurio del agua que presentan los biochar tanto de cáscara de cacao como de cascarilla de arroz, se puede optar por darle una función positiva al vender o comercializar a la sociedad con el fin contribuir al cuidado del medio ambiente, el empleo del biochar a nivel micro o macro industrial ayudara a purificar las aguas contaminadas producto de los procesos de la empresa de una manera fácil y económica.

También la utilización del biochar nos puede servir como una medida preventiva o de mitigación, ya que evitará el aumento de la contaminación por metales pesados como el mercurio, ya sea de origen natural o antropogénico que actualmente está afectando a las fuentes hídricas de la provincia de Cotopaxi.

11.2. Impacto ambiental

Con respecto a los impactos ambientales, es necesario destacar que a través de la elaboración de biochar y la determinación de la eficacia de remoción de mercurio del agua, ayudamos a reducir los residuos sólidos por sobreproducción que en muchos de los casos tienen una mala destinación o gestión de los mismos como son los residuos de cascarilla de arroz y cáscara de cacao, utilizándolos para la producción de biochar y así darles una utilidad que favorece al cuidado y preservación del medio ambiente y también el empleo del biochar nos ayuda a disminuir la contaminación de las fuentes hídricas en la provincia de Cotopaxi, favoreciendo al cuidado de la vida de los organismos vivos que residen en el agua, mejorando la productividad del suelo y cuidando la salud de las personas ya que como sabemos las afectaciones a la salud son muy diversas dependiendo del metal pesado al que esté expuesto la persona, pero que generalmente termina en lesiones celulares, enfermedades o la muerte por mayor exposición o acumulación de contaminante en el sistema de la persona.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1. Conclusiones

- Se realizó varias investigaciones bibliográficas con un enfoque mixto para establecer la metodología más adecuada para la producción de biochar, identificando así la metodología para la recolección de muestras que nos ayudó a caracterizar la biomasa en ella se desarrolla el uso de gravimetría para el secado de las muestras de cáscara de cacao y cascarilla de arroz y posteriormente se calculó el porcentaje de humedad en el cual se obtuvo un promedio de 16,01% de humedad para la cáscara de cacao y el 16,08% de humedad para la cascarilla de arroz. Concluyendo así que la cáscara de cacao contiene menor contenido de humedad a comparación de la cascarilla de arroz debido a que la cascarilla de arroz absorbe la humedad mucho más rápido al ser expuesta a temperatura ambiente y que previamente esta biomasa ya se comercializa seca.
- Para la producción de los biochar se realizó tres tipos de pirólisis, la pirólisis de carbonización a 350°C por 30 minutos, la pirólisis lenta a 400°C por 20 minutos y la pirólisis convencional a 500°C por 10 minutos y se calculó el porcentaje de cenizas de cada muestra, obteniendo un promedio de 44,34% de contenido de cenizas para el biochar de cáscara de cacao y 47,53% de contenido de cenizas para el biochar de cascarilla de arroz. Concluyendo así que el biochar de cáscara de cacao contiene menor contenido de cenizas a comparación del biochar de cascarilla de arroz, pero se identificó que el tamaño de la partícula es mayor al del biochar de cascarilla de arroz.
- Para la verificación de la eficacia de remoción de mercurio que presentan los biochar, se empleó un diseño experimental cualitativo en el cual se identificó un total de 12 tratamientos, se realizó de forma cualitativa la marcha analítica de metales pesados del Grupo I para la obtención de la carga óptima e identificación de la presencia de Mercurio en el agua por medio de la observación directa con una coloración blanca polvorienta, concluyendo así que a mayor cantidad de biochar la remoción de Mercurio del agua es más eficiente y que el biochar de cáscara de cacao producido a 350° C es el más eficiente en el proceso de remoción de Mercurio, con una eficacia del tratamiento en el proceso de remoción del 100% , a su vez presenta un pH de 9,47

(alcalino), una conductividad de 32,7 mS/cm, humedad de 1,55%, cenizas de 15,24%P, materiales volátiles de 42,53%P y una granulometría de 0,5 mm a 20 mm.

12.2. Recomendaciones

En base a las conclusiones obtenidas se recomienda:

- Tomar en cuenta que el porcentaje de humedad de la biomasa en el proceso de secado debe ser menor al 50%, de humedad para obtener condiciones de trabajo más óptimas previo al proceso de pirólisis para producción de biochar.
- Después del proceso de pirólisis, dejar las muestras enfriar dentro de la mufla o utilizar un desecador para abrirlas después de un lapso de 24 horas, a su vez se debe tomar en cuenta que es muy importante aislar las muestras de biochar en bolsas ziploc y papel aluminio para impedir que se modifiquen sus características.
- Realizar pruebas de eficacia de remoción de mercurio aumentando el peso (g) de las muestras de biochar para verificar si existe mayor cantidad de remoción de mercurio y mayor velocidad de remoción de mercurio del agua contaminada.
- Se debe considerar este estudio como una referencia para futuras investigaciones y obtención de resultados cuantitativos de remoción de mercurio con apoyo de equipos avanzados de espectrofotometría, cromatografía de gases, entre otros, necesarios para la determinación cuantitativa de mercurio del agua contaminada.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcos Moreira, N. (2020, noviembre 19). *Gravimetria. Secado—Informes*. Club Ensayos. <https://www.clubensayos.com/Ciencia/Gravimetria-Secado/5171248.html>
- Arellano, I. (2019, julio 25). Mufla: Que son y para qué sirven - Tipos y Aplicaciones. *Centro Integral de Servicio para Laboratorio*. <https://www.cislab.mx/mufla-que-son-y-para-que-sirven/>
- Artedimamico. (2022). *Estufa de secado u Horno de secado* (Colombia) [Text]. Equipos y laboratorio de Colombia; equiposylaboratorio.com. <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/estufa-de-secado-u-horno-de-secado>
- Baray Guerrero, M. del R., Porras Flores, D. A., Hoffmann Esteves, H. E., & Manjarrez Dominguez, C. B. (2019). Tratamiento de la biomasa lignocelulósica mediante la pirólisis lenta y a baja temperatura para la producción de biocombustibles. *Revista de Energías Renovables*, 1-9. <https://doi.org/10.35429/JRE.2019.9.3.1.9>
- Caicedo-Rosero, L. C., Méndez-Ávila, F. de J., Gutiérrez-Zeferino, E., & Flores-Cuautle, J. de J. A. (2021). Medición de humedad en suelos, revisión de métodos y características. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(17), Article 17. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7035>
- Caiza Agualongo, G. A. (2022). *Estimación de cantidad de carbono fijo almacenado en la madera de dos especies forestales comerciales en la provincia de Napo y Chimborazo*.
- Caiza Quispe, K. Y., & Zambrano Cárdenas, J. B. (2022). *Análisis y simulación del comportamiento hidráulico del sistema de descomposición anaeróbica mediante dinámica computacional de fluidos del campus Salache de la Universidad Técnica De*

Cotopaxi, Cantón Latacunga, Provincia De Cotopaxi, periodo 2022.

Carbonero, L. A., & Meza, I. E. (2019). *Evaluación de la Toxicidad Aguda de 12 especies de plantas vegetales recolectadas en la Zona Norcentral de Nicaragua, mediante el Bioensayo Allium cepa L y el Método de la Marcha Analítica de Cationes del grupo I.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-LEÓN Facultad de Ciencias Químicas.

http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:4PacXmvEFdMJ:scholar.google.com/+que+es+la+marcha+anal%C3%ADtica+de+metales+pesados&hl=es&as_sdt=0,5&as_ylo=2019&as_vis=1

Constante Tamayo, Y. D., & Machado Muñoz, A. I. (2020). *Estudio de biochar obtenido a partir de cáscara de cacao, como mejorador del suelo en un cultivo de frejol (Phaseolus vulgaris)* [Bachelor Thesis, Quito: UCE].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22332>

Constitución de la República del Ecuador. (2021). Constitución de la República del Ecuador. En *Constitución de la República del Ecuador*.
<https://www.lexis.com.ec/biblioteca/constitucion-republica-ecuador>

Cromtek. (2020, febrero 4). *Cómo medir la conductividad del suelo*.
<https://www.cromtek.cl/2022/01/19/como-medir-la-conductividad-del-suelo/>

CuidatePlus. (2020, agosto 6). *Cacao*. CuidatePlus.
<https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/diccionario/cacao.html>

Equipos y Laboratorio. (2022). *Qué es la humedad* (Colombia) [Text]. Equipos y laboratorio de Colombia; equiposylaboratorio.com.
<https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/que-es-la-humedad>

Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo

- Alves, J., Valtierra Pacheco, E., Etchevers Barra, J. D., Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792016000300367&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Euroinnova. (2023). *¿Qué es el chi cuadrado?* Euroinnova Business School. <https://www.euroinnova.ec/blog/que-es-el-chi-cuadrado>
- Evangelista, M., Zeferino, C., & Brennecke, K. (2021). Recomendações de granulometria para rações de suínos: Revisão. *Pubvet*, 15, 1-8. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n01a722.1-8>
- Fernández, J. L. (2023). *Temperatura*. FisicaLab. <https://www.fisicalab.com/apartado/temperatura#concepto-temperatura>
- Fernández Vivanco, V. B., & López Portilla, A. G. L. (2018). *Evaluación de la eficacia de biochar obtenido mediante pirólisis de residuos avícolas y lodos de depuración*.
- Flores, L., Ruiz, A., & Oscanoa, A. (2021). *Protocolo para determinación de cenizas en microalgas liofilizadas*. 48(1).
- García Martínez, E., & Fernández Segovia, I. (2019). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación*.
- García Montero, R. (2021). Biochar y sus aplicaciones potenciales en el suelo. *Técnica Industrial*, 328(328), 44-53. <https://doi.org/10.23800/10503>
- Gómez Zuñiga, K. Y., & Quevedo Gamba, N. R. (2020). *Evaluación del biochar obtenido por pirólisis del retamo espinoso para remover cromo del agua*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022, abril 4). *IPCC: Biochar -Potential to*

remove 2.6 billion tonnes CO₂. Reverse Carbon.

<https://www.reversecarbon.com/blog/ipcc-biochar-potential-to-remove-26-billion-tonnes-co2>

Labajo González, E. (2017). *EL método pericial*.

Ley de minería. (2021). *Ley de minería*. <https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/02/LEY-DE-MINERIA-2022.pdf>

Macías Cedeño, G. M. (2021). “*Aprovechamiento de residuos de cáscara de cacao en la obtención de carbón activado para ser usado como medio filtrante*”.

<http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6208>

MAGAP. (2019, septiembre 4). *Cacao Híbrido CCN-51 cuenta con certificación de calidad – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Ministerio de Agricultura y Ganadería.

<https://www.agricultura.gob.ec/cacao-hibrido-ccn-51-cuenta-con-certificacion-de-calidad/>

Micronics. (2019, febrero 27). *Aguas residuales industriales: ¿Qué es y de dónde viene?*

Micronics Engineered Filtration Group, Inc.

<https://www.micronicsinc.com/es/filtration-news/what-is-industrial-wastewater/>

MITECO. (2023). *Sistemas de tratamiento*. [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Pirolisis.aspx)

[residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Pirolisis.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Pirolisis.aspx)

Nieto Vilardell, E. (2022). *Mantenimiento industrial práctico (2a Edición): Aprende siguiendo el camino contrario (2a Edición)*. Fidestec.

OMS. (2023). *Mercurio—OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*.

<https://www.paho.org/es/temas/mercurio>

Osorio Aguirre, L. (2019). *Análisis técnico económico para el uso de la cascarilla de arroz*

- en la generación de energía eléctrica a partir del proceso de gasificación. Caso de estudio: Molino de arroz Pacande de la ciudad de Villavicencio – Meta.*
<http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/18602>
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2021, junio). *Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión.* Scielo. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009
- Palomino Quispe, C. A., & Rodriguez Flores, J. K. (2019). *Producción y caracterización química de biochar de residuos forestales para la adsorción de plomo.*
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49458>
- Pineda-Caro, D. Y., Medina-Vargas, Ó. J., & Falla-Rocha, G. (2020). Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico: Una revisión sistemática exploratoria. *Pensamiento y Acción*, 30, 37-51.
<https://doi.org/10.19053/01201190.n30.2021.12129>
- Quichimbo, P., Guamán, J., Cajamarca, M., & Aguirre, A. J. (2016). Evaluación del contenido de humedad del suelo por gravimetría y reflectometría. *Ecuador es calidad*, 4(1), Article 1.
<https://revistaecuadorestcalidad.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorestcalidad/index.php/revista/article/view/25>
- Quispe Rondan, K. (2019). Estimación de la incertidumbre en la determinación de humedad, ceniza, grasa y proteína en mezcla de harinas (alimento de reconstitución instantánea). *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.*
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4571>
- Ramírez Avila, S. (2014). *Manual de actividad experimental.*

https://www.academia.edu/34700007/PR%C3%81CTICAS_CUALITATIVO

Rodiles López, J. O., & Zamora, R. (2020, septiembre 9). *Secado en la industria de alimentos*. TecnoAgro. <https://tecnoagro.com.mx/no.-143/secado-en-la-industria-de-alimentos>

Rodríguez, A. (2020, julio 23). *¿Qué es la Biomasa y cómo funciona?* - Caloryfrio.com. Caloryfrio. <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/biomasa/que-es-la-biomasa-y-como-funciona.html>

Rosero Yela, C. J. (2019). *Producción y caracterización de biochar a partir de biomasa residual para el cultivo del hongo Trichoderma harzianum* [BachelorThesis, Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/8548>

Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 13(1), 102-122. <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>

Sierra Ramírez, C. A. (2021). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U.

Skoog, D. A., & West, D. M. (2022). *Introducción a la química analítica*. Reverte.

Tejada Tovar, C., Villabona Ortíz, Á., & Ruiz Rangel, V. (2012). Biomasa residual para remoción de mercurio y cadmio: Una revisión. *COLCIENCIAS TIPO 3*. [file:///C:/Users/DELL/Downloads/189-347-1-SM%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/DELL/Downloads/189-347-1-SM%20(1).pdf)

Tomé, C. (2019, noviembre 28). *¿Qué es el pH?* Cuaderno de Cultura Científica. <https://culturacientifica.com/2019/11/28/que-es-el-ph/>

Torske, M. (2019). *La realidad de las aguas servidas en Ecuador – Yakunina*. <https://www.yakunina.com/la-realidad-de-las-aguas-servidas-en-ecuador/>

14. ANEXOS

Anexo 1.

Cáscara de cacao picada



Nota: Cáscara de cacao picada finamente para facilitar el proceso de secado.

Anexo 2.

Cascarilla de arroz



Nota: Cascarilla de arroz para secado

Anexo 3.

Muestra seca de cáscara de cacao



Nota: Proceso de secado de muestra de cáscara de cacao y pesaje.

Anexo 4.

Muestra seca de cascarilla de arroz



Nota: Proceso de secado de muestra de cascarilla de arroz y pesaje.

Anexo 5.

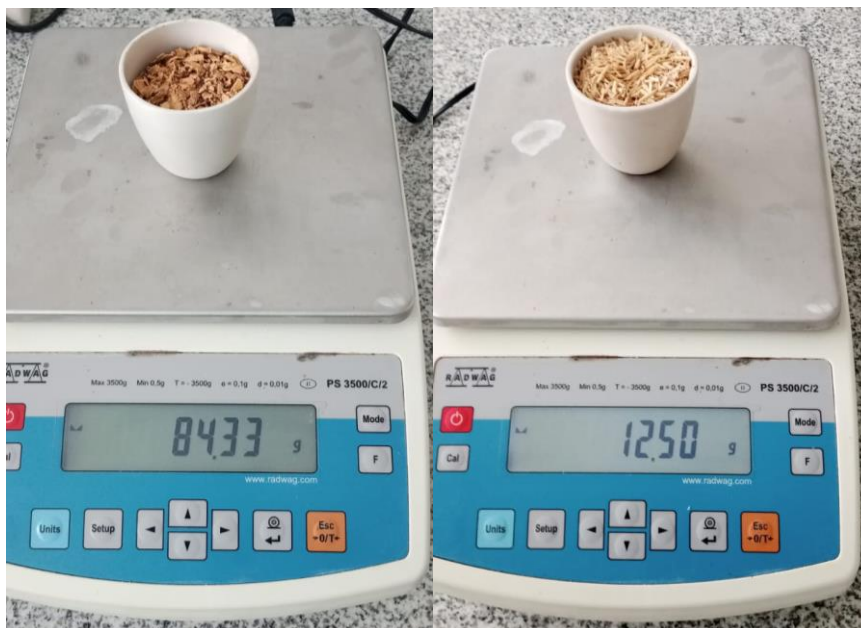
Molienda o triturado de cáscara de cacao seca



Nota: Molienda de muestra seca de cáscara de cacao, tomando en cuenta que mientras menor sea el tamaño de la partícula favorecerá al proceso de pirólisis.

Anexo 6.

Pesaje de las muestras de cáscara de cacao y cascarilla de arroz previo al proceso de pirólisis



Nota: En el pesaje se debe impedir la presencia de oxígeno de la muestra dentro del crisol.

Anexo 7.

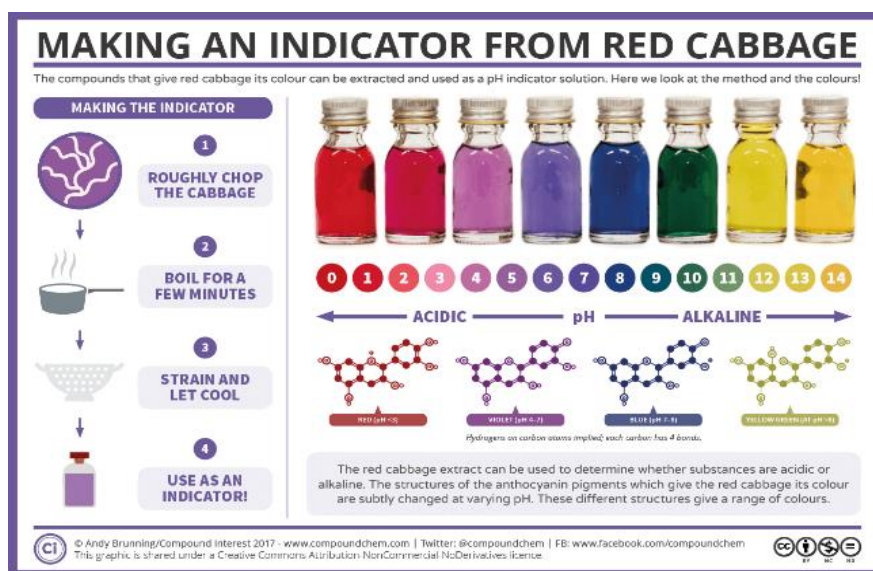
Reposos de muestras en el desecador



Nota: Enfriamiento de las muestras por un lapso de 24 horas para evitar que la muestra absorba humedad del ambiente.

Anexo 8.

Escala de pH según colorimetría



Nota: Se muestra la escala del pH según la colorimetría para fácil identificación

Fuente: (Tomé, 2019).

Anexo 9.***Biochar de cáscara de cacao a 350°C- 400°C y 500°C***

Nota: Resultados de biochar, evitando la combustión de la biomasa.

Anexo 10.***Biochar de cascarilla de arroz a 350°C- 400°C y 500°C***

Nota: Resultados de biochar, evitando la combustión de la biomasa.

Anexo 11.

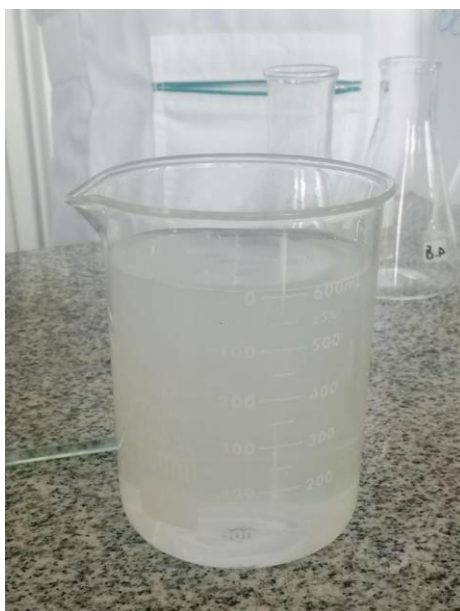
Preservación de muestras de biochar



Nota: Las muestras deben ser envueltas con papel aluminio para impedir modificaciones en sus características.

Anexo 12.

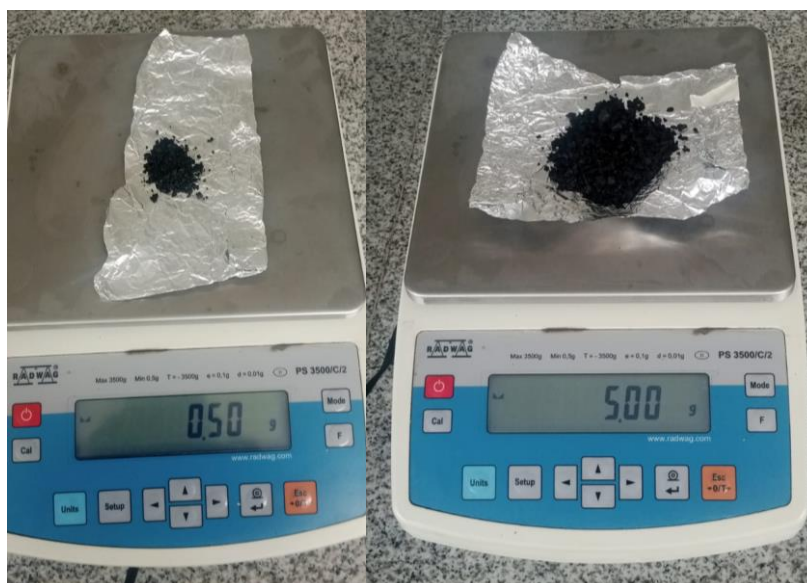
Solución de mercurio (Hg)



Nota: Se evidencia la presencia de Hg en el agua por la coloración blanca polvorienta.

Anexo 13.

Pesaje de 0,5 g y 5 g de biochar de cáscara de cacao para la remoción de mercurio (Hg)



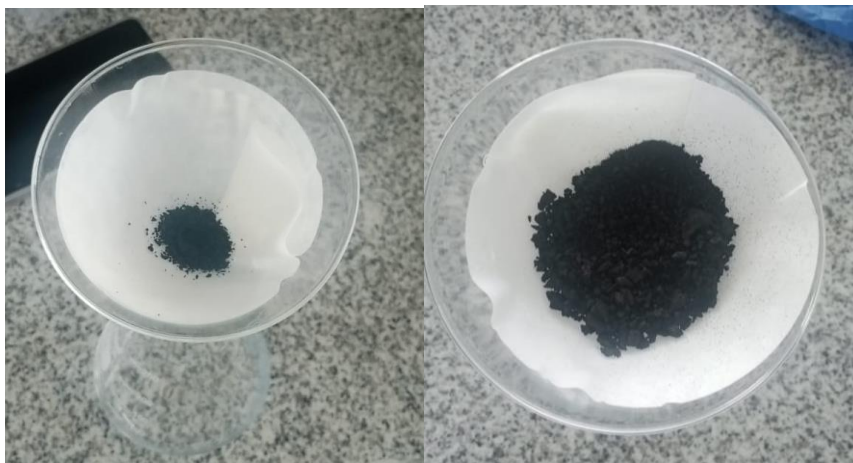
Nota: Pesaje de biochar de cáscara de cacao para el diseño experimental.

Anexo 14.

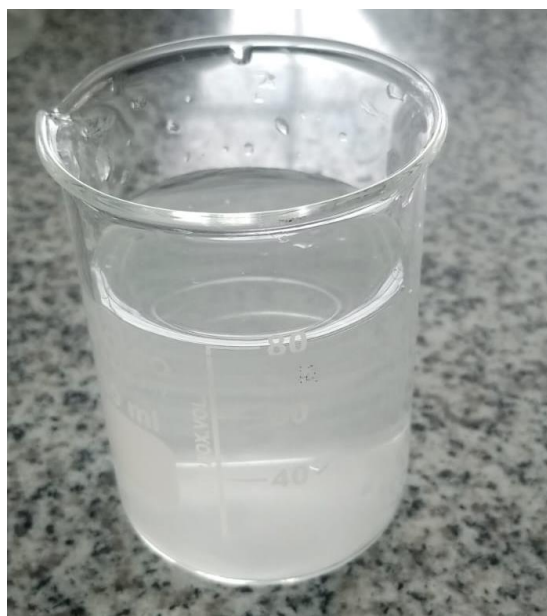
Pesaje de 0,5 g y 5 g de biochar de cascarilla de arroz para la remoción de mercurio (Hg)



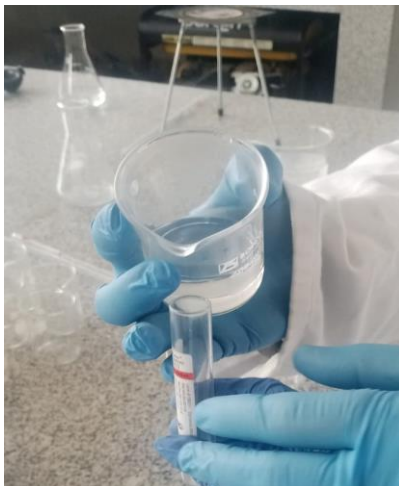
Nota: Pesaje de biochar de cáscara de cacao para el diseño experimental.

Anexo 15.**Proceso de filtrado**

Nota: Colocación del papel filtro con el biochar para el proceso de filtrado.

Anexo 16.**Muestra de 80 ml de muestra problema**

Nota: Esta cantidad se coloca para cada prueba de remoción.

Anexo 17.***Toma de cada filtración de muestra en tubos de ensayo***

Nota: Se realiza este proceso por cada filtrado de muestra.

Anexo 18.***Colocación de HCl 6M para identificación de mercurio (Hg) después de cada filtración***

Nota: Al colocar HCl 6M podemos verificar por medio de observación directa si persiste la presencia de Hg en el agua filtrada.

Anexo 19.

Diseño experimental del proceso de remoción de mercurio (Hg) del agua



Nota: Los tubos se colocan en la gradilla para facilitar su identificación y comparación en cada repetición de filtrado, siempre teniendo primero la muestra problema sin filtración para verificar la remoción del Hg.

Anexo 20.

Observación directa de presencia de mercurio (Hg) después de los filtrados



Nota: Se evidencia aún cantidades de mercurio (Hg), por la presencia de partículas blancas polvorientas en la muestra ya filtrada.

Anexo 21.***Observación directa de absorción de mercurio (Hg)***

Nota: Muestra de la eficacia de remoción de mercurio (Hg) del biochar más eficiente (biochar de cáscara de cacao a 350°C).

Anexo 22.***Materiales y Equipos utilizados en el laboratorio de la universidad***




Nota: Se muestran los materiales y equipos más utilizados en el laboratorio y son: mufla, guante anti calor, pinzas metálicas, desecador, agua destilada, balanza digital, ácido

clorhídrico (HCl), crisoles, papel aluminio, bolsas ziploc, tubos de ensayo y estufa se de secado.

Anexo 23.

Resultados del análisis físico- químico del biochar de cáscara de cacao a 350°C.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y COMERCIALIZACIÓN

INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS

Informe N°: 23-131.1
Fecha de emisión: 2023-07-18


Cliente: MELANIE IBETH ZAVALA LEMA
Ciudad: Súa, Napo (Zavala)
Dirección: Colón, Latacunga
Teléfono: 099274547 **Correo-e:** ibethzavala@gmail.com
Tipo de muestra: BIOCHAR
Descripción de la muestra: Biochar cacao
Condiciones de la muestra: Muestra en fardo plástico con envoltorio de papel aluminio.
Fecha de ingreso de muestra: 2023-07-05
Código de la muestra: 23-131.1
Fecha de realización de ensayos: 2023-07-05 al 2023-07-13
Lugar donde se realizaron los ensayos: Laboratorio DPEC - Área de Petróleos


DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO / TÉCNICA	RESULTADO	REQUISITOS (A-B)
pH a 25° C*	-	PH/DIPEC/EP/006 C (Electrometría)	7,87	-
CONDUCTIVIDAD a 25° C*	ed/cm	APHA 2510 B (Electrometría)	30,7	-
HUMEDAD*	%	Infrarrojo (Termogravimetría)	1,35	-
CENIZAS*	%P	Método Interno (Termogravimetría)	13,24	-
MATERIAS VOLÁTILES*	%P	Método Interno (Termogravimetría)	42,83	-
TAMAÑO, FORMA Y GRANULOMETRÍA DE PARTÍCULAS*	mm	MÉTODO INTERNO (Fotografía)	Ver fotografía adjunta	-

* Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
Nota: Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.
Nota: Los resultados se aplican a la muestra, tal y como se recibió.
Condiciones Ambientales: - Presión: 541,7 a 543,0 mm Hg, Temperatura: 28,2 a 20,1 °C

* Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información.


Analista: OBAVH/WJ
Revisado por: WJ

Revisado por:

Ing. Richard Herrera V.
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por:

Ing. Fernando Toese L.
RESPONSABLE DE CALIDAD

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE COPIAR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME.

Dirección: Enrique Ríos y Nubia Teléfono: 260604 / 234621 ext. 26 Email: informes@iqa.uba.edu.ec
 HC201-PEI-8 QUITO - ECUADOR HC201-PEI-6 QUITO - ECUADOR Página 2 de 2



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y COMERCIALIZACIÓN

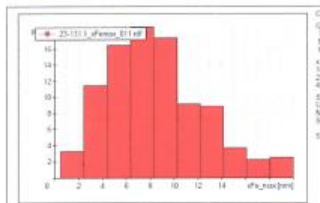
INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS

ANEXO I
FOTOGRAFÍA GRANULOMETRÍA DE PARTICULAS

Empresa: FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
Usuario: WJ
Sitio de instalación: C:\Compuer\CADEN\Tareas\ Publica\23-131.1_1_Financ_0711.rtf
Archivo de trabajo: C:\Compuer\CADEN\Tareas\ Publica\23-131.1_1_Financ_0711.rtf
Fecha: 07/07/2023 12:49 - Usuario: E. Ives 50 a 81 % área cubierta, velocidad de imágenes 1.1 y 30 mm/aberrador

Método de partícula: sfa, sfa
Dif. de partículas: CSD 0.0 = 1814712, CSD 2=masas
Aperta: 80
Material: Cacao


Clase de tamaño	d _{4,75}	d _{7,5}	d ₁₅	d ₃₀	d ₄₅	d ₆₀	d ₇₅	d ₉₀	d ₁₀₀
0 (0.000)	-3.0000	4.07	6.853	9.666	12.479	15.292	18.105	20.918	23.731
1 (0.075)	4.07	6.853	9.666	12.479	15.292	18.105	20.918	23.731	26.544
2 (0.150)	6.853	9.666	12.479	15.292	18.105	20.918	23.731	26.544	29.357
3 (0.225)	9.666	12.479	15.292	18.105	20.918	23.731	26.544	29.357	32.170
4 (0.300)	12.479	15.292	18.105	20.918	23.731	26.544	29.357	32.170	34.983
5 (0.375)	15.292	18.105	20.918	23.731	26.544	29.357	32.170	34.983	37.796
6 (0.450)	18.105	20.918	23.731	26.544	29.357	32.170	34.983	37.796	40.609
7 (0.525)	20.918	23.731	26.544	29.357	32.170	34.983	37.796	40.609	43.422
8 (0.600)	23.731	26.544	29.357	32.170	34.983	37.796	40.609	43.422	46.235
9 (0.675)	26.544	29.357	32.170	34.983	37.796	40.609	43.422	46.235	49.048
10 (0.750)	29.357	32.170	34.983	37.796	40.609	43.422	46.235	49.048	51.861
11 (0.825)	32.170	34.983	37.796	40.609	43.422	46.235	49.048	51.861	54.674
12 (0.900)	34.983	37.796	40.609	43.422	46.235	49.048	51.861	54.674	57.487
13 (0.975)	37.796	40.609	43.422	46.235	49.048	51.861	54.674	57.487	60.300
14 (1.050)	40.609	43.422	46.235	49.048	51.861	54.674	57.487	60.300	63.113
15 (1.125)	43.422	46.235	49.048	51.861	54.674	57.487	60.300	63.113	65.926
16 (1.200)	46.235	49.048	51.861	54.674	57.487	60.300	63.113	65.926	68.739
17 (1.275)	49.048	51.861	54.674	57.487	60.300	63.113	65.926	68.739	71.552
18 (1.350)	51.861	54.674	57.487	60.300	63.113	65.926	68.739	71.552	74.365
19 (1.425)	54.674	57.487	60.300	63.113	65.926	68.739	71.552	74.365	77.178
20 (1.500)	57.487	60.300	63.113	65.926	68.739	71.552	74.365	77.178	80.000



Características:
D₁₀ [µm] = 3.0562
D₅₀ [µm] = 7.7925
D₉₀ [µm] = 14.8427
d [µm] [D₁₀ - D₉₀]:
1.0000 2.7
2.0000 5.7
4.0000 15.5
D_{4,75} [µm] = 4.75
D_{7,5} [µm] = 7.5
D₁₅ [µm] = 15.0
D₃₀ [µm] = 30.0
D₄₅ [µm] = 45.0
D₆₀ [µm] = 60.0
D₇₅ [µm] = 75.0
D₉₀ [µm] = 90.0
D₁₀₀ [µm] = 100.0
S₀ = 2.542 /mm

D₁₀ (SPH) = 3.0562 % Valor medio SPH [µm] = 6.685
D₅₀ (SPH) = 7.7925 % Valor medio SPH [µm] = 8.805
D₉₀ (SPH) = 14.8427 % Valor medio SPH [µm] = 18.851

Analista: OBAVH/WJ
Revisado por: WJ



Revisado por:

Ing. Richard Herrera V.
RESPONSABLE TÉCNICO

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE COPIAR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME.

Dirección: Enrique Ríos y Nubia Teléfono: 260604 / 234621 ext. 26 Email: informes@iqa.uba.edu.ec
 HC201-PEI-8 QUITO - ECUADOR HC201-PEI-6 QUITO - ECUADOR Página 2 de 2

Nota: Se observa los valores obtenidos de la caracterización del biochar de cáscara de cacao a 350°C, identificado como el más eficiente en el proceso de remoción de mercurio del agua.

Anexo 24.**Aval de Traducción**

 **UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI**  **CENTRO
DE IDIOMAS**

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 CÁSCARA DE CACAO Y CASCARILLA DE ARROZ, PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA CONTAMINADA CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO”** presentado por: **Zavala Lema Melanie Ibeth** egresada de la Carrera de Ingeniería Ambiental perteneciente a la **Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**, lo realizó 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, agosto del 2023

Atentamente,


MSc. **Blanca Gladys Sánchez**
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 2100275375

 **CENTRO
DE IDIOMAS**