



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

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“ELABORACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIAL
ORGÁNICO SÓLIDO DEL MERCADO MAYORISTA DE LA
CIUDAD DE LATACUNGA PARA LA RECUPERACIÓN DE
AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO A NIVEL DE
LABORATORIO”**

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

Autor:
Molina Claudio Edison Javier

Tutor:
Ágreda Oña José Luis

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Edison Javier Molina Claudio, con cédula de ciudadanía No. 0503800146, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “Elaboración de biochar a partir de material orgánico sólido del mercado mayorista de la ciudad Latacunga para la recuperación de aguas contaminadas con mercurio a nivel de laboratorio”, siendo el Ingeniero Mg. José Luis Ágreda Oña, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 17 de agosto del 2023



Edison Javier Molina Claudio
Estudiante
C.C. 0503800146



Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.
Docente/Tutor
CC: 0401332101

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **MOLINA CLAUDIO EDISON JAVIER**, identificado con cédula de ciudadanía **0503800146** de estado civil soltero a quien en lo sucesivo se denominará **EL 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. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Elaboración de biochar a partir de material orgánico sólido del mercado mayorista de la ciudad de Latacunga para la recuperación de aguas contaminadas con mercurio 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 Mg. José Luis Agreda Oña.

Tema: “Elaboración de biochar a partir de material orgánico sólido del mercado mayorista de la ciudad de Latacunga para la recuperación de aguas contaminadas con mercurio 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, **EL 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 **EL 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 **EL 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 **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

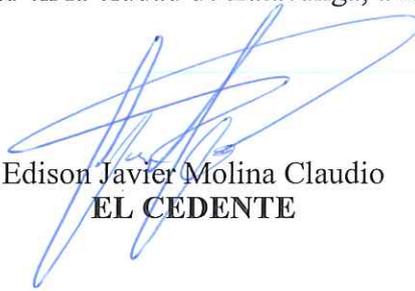
CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

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

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

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

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


Edison Javier Molina Claudio
EL 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:

“ELABORACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO DEL MERCADO MAYORISTA DE LA CIUDAD DE LATACUNGA PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO A NIVEL DE LABORATORIO”, de Molina Claudio Edison Javier, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 17 de agosto del 2023



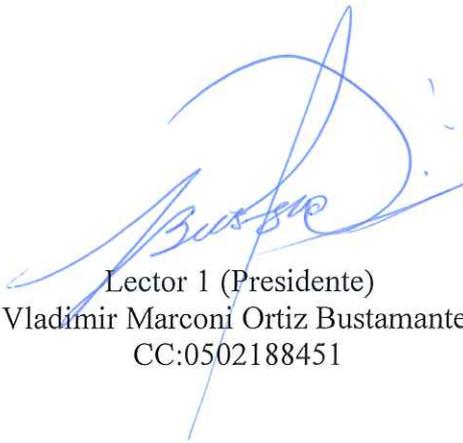
Ing. José Luis Agreda Oña, Mg.
DOCENTE TUTOR
CC: 0401332101

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

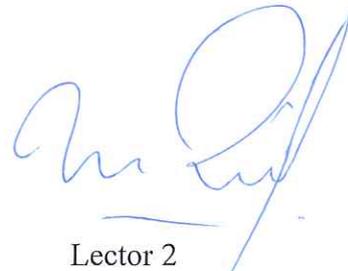
En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Molina Claudio Edison Javier, con el título del Proyecto de Investigación: “ELABORACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO DEL MERCADO MAYORISTA DE LA CIUDAD LATACUNGA PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO A NIVEL DE LABORATORIO”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Latacunga, 17 de agosto del 2023



Lector 1 (Presidente)
Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, Mg.
CC:0502188451



Lector 2
Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.
CC:0501518955



Lector 3
Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg.
CC:0502205164

AGRADECIMIENTO

Doy las gracias principalmente a mis queridos padres, mi gratitud es inmensa por su constante apoyo, amor incondicional y sacrificio a lo largo de este camino. Sus palabras de aliento y valores arraigados en mí han sido la fuerza impulsora detrás de cada paso que he dado. Este logro es también un reflejo de su dedicación y creencia en mí.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, agradezco por proporcionarme un ambiente de aprendizaje enriquecedor y por cultivar en mí el deseo de buscar conocimiento.

También agradezco a todos aquellos que participaron en mi investigación, contribuyendo con sus conocimientos y perspectivas únicas.

A mis amigos y seres queridos, les agradezco por su apoyo constante, paciencia y ánimo en los momentos de desafío.

Edison Javier Molina Claudio

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de investigación a dos pilares fundamentales en mi vida a mis padres Camilo Y Enma por su amor incondicional, apoyo constante y sabias enseñanzas que han sido la brújula que me guio a lo largo de esta travesía académica Y por ser mi inspiración al inculcarme valores que han moldeado mi camino hacia el éxito. Este logro es un testimonio de su amor y guía en mi vida.

A mis mentores y profesores, cuya orientación y sabiduría me han guiado en este emocionante viaje intelectual. A mis amigos y, por su constante, apoyo y comprensión la formación Académica. Con todo mi cariño y gratitud.

Edison Javier Molina Claudio

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

TÍTULO: “ELABORACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO DEL MERCADO MAYORISTA DE LA CIUDAD LATACUNGA PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO A NIVEL DE LABORATORIO”

AUTOR: Molina Claudio Edison Javier

RESUMEN

En el país la contaminación del agua con mercurio es una de las problemáticas más habituales en donde, no se realiza un tratamiento adecuado para las aguas residuales. Por la cual se llevó a la elaboración del biochar dentro de los laboratorios en la Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache. Con el objetivo principal de determinar un tratamiento adecuado y eficaz con la implementación de biochar a partir de material orgánico sólido del mercado mayorista ubicado en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga sector San Felipe con una latitud de -0.915448° y una longitud de -78.628299° , para la recuperación de aguas contaminadas con Mercurio. Para la obtención de los residuos sólidos orgánicos denominada biomasa, del mercado mayorista se realizó la recolección directa, posteriormente su adecuado acondicionamiento de secado natural en un periodo de tiempo de 20 días en donde se lo dejó al sol extendido en un plástico de 2m x 2m bien distribuidos en lugares con humedad y evitar su putrefacción. y su adecuada preservación a condiciones normales. Al tener definido la composición de la biomasa se aplicó la pirolisis a temperaturas de 300°C , 350°C y 400°C con un intervalo de tiempo de 30 minutos y con un periodo de enfriamiento de 24 horas, se retiró y se realizó su caracterización. Para la determinación del funcionamiento del biochar en la eliminación del mercurio del agua se aplicó un diseño experimental basándose con la hipótesis nula y alternativa tomando en cuenta los factores de peso, temperatura, y el tipo de tratamiento de filtración con un numero de 5 repeticiones teniendo en total 750 valores. Con la aplicación de tablas de frecuencia entre las interacciones de los factores con un resultado categórico de si funciona o no funciona, y así determinar el mejor tratamiento. Los resultados obtenidos de la producción del biochar producido a 400°C es de 651,02g, a 350°C es de 579.08g y a 300°C es de 613. 324g. Se puede constatar que las características de densidad aparente, densidad real son directamente proporcional es decir si aumenta la temperatura su valor aumentara, al contrario de la porosidad y el pH que es inversamente proporcional. El factor que mayor influencia tiene en los resultados positivos dentro de la aplicación de los diferentes tratamientos, es el biochar elaborado a 400°C ya que, su frecuencia porcentual en los valores positivos es de 72% siendo significativamente superior a los obtenidos a 300°C y 350°C .El tratamiento de doble filtración con el biochar conformado con cascaras de plátano, papa, naranja y mango elaborado con una temperatura de 400°C y un periodo de tiempo de 30 minutos, presenta mejores características de pH y porosidad teniendo una mejor absorción de Mercurio. Eliminando por cada un gramo de biochar 80ml de agua contaminada cumpliendo los parámetros permisibles del mercurio de la tabla 1, 2 y 3 del ACUERDO MINISTERIAL 097-A.

Palabras clave: Sistema de filtrado, biomasa, pirolisis, carbonización, efectividad.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL
RESOURCES

TEME: “PRODUCTION OF BIOCHAR FROM SOLID ORGANIC MATERIAL FROM THE WHOLESALE MARKET OF THE CITY OF LATACUNGA FOR THE RECOVERY OF WATER CONTAMINATED WITH MERCURY AT THE LABORATORY LEVEL”

AUTHOR: Molina Claudio Edison Javier

ABSTRACT

In the country, water pollution with mercury is one of the most common issues, where proper treatment of wastewater is not carried out. This led to the development of biochar within the laboratories at Cotopaxi Technical University's Salache campus. The main objective was to determine an adequate and effective treatment using biochar derived from solid organic material from the wholesale market located in the Cotopaxi province, Latacunga canton, San Felipe sector, with a latitude of -0.915448° and a longitude of -78.628299° , for the recovery of mercury-contaminated water. For obtaining the organic solid waste, referred to as biomass, from the wholesale market, direct collection was performed, followed by proper conditioning through natural drying over a period of 20 days, where it was laid out in the sun on a plastic sheet of 2m x 2m, well-distributed in humid areas to prevent putrefaction, and adequately preserved under normal conditions. Once the biomass composition was defined, pyrolysis was applied at temperatures of 300°C , 350°C , and 400°C , with a time interval of 30 minutes and a cooling period of 24 hours. After this process, characterization was conducted. To determine the effectiveness of biochar in mercury removal from water, an experimental design was applied based on the null and alternative hypotheses, considering factors such as weight, temperature, and the type of filtration treatment, with 5 repetitions resulting in a total of 750 values. Frequency tables were used to analyze interactions between factors, providing a categorical outcome of whether the treatment worked or not, thereby identifying the best treatment. The results obtained from biochar production at 400°C were 651.02g, at 350°C were 579.08g, and at 300°C were 613.324g. It can be observed that apparent density and real density are directly proportional, meaning their values increase with temperature, in contrast to porosity and pH, which are inversely proportional. The factor with the greatest influence on positive results among the different treatments is biochar produced at 400°C , with a 72% percentage frequency of positive values, significantly surpassing those obtained at 300°C and 350°C . The double-filtration treatment using biochar composed of banana peels, potato peels, orange peels, and mango peels, produced at a temperature of 400°C and a time period of 30 minutes, exhibits better pH and porosity characteristics, leading to enhanced mercury absorption. It successfully removes 80ml of contaminated water per gram of biochar, meeting the permissible mercury parameters outlined in Table 1, 2, and 3 of Ministerial Agreement 097-A.

Keywords: Filtration system, biomass, pyrolysis, carbonization, effectiveness.

INDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORIA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
4. OBJETIVOS	4
4.1 Objetivo General	4
4.2 Objetivos Específicos	4
5. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	4
6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	6
6.1 El agua.....	6
6.1.1 El agua en el Ecuador	7
6.1.3 Aguas residuales	8
6.1.3.1 Tipos de aguas residuales	8
6.1.3.2 Aguas residuales en Ecuador.....	9
6.1.3.2.1 Contaminación de agua en la costa	10
6.1.3.2.2 Contaminación de agua en la sierra.....	10
6.1.3.2.3 Contaminación de agua en la Amazonia	10
6.2 METALES PESADOS.....	11
6.2.1 Fuentes principales de emisión de los metales pesados	11
6.2.2 Mercurio	12
6.2.2.1 Toxicocinético del mercurio.....	14
6.2.2.2 Efectos en la salud	15
6.2.2.3 Impacto ambiental	15
6.3 BIOMASA.....	16
6.3.1 Composición química de la biomasa	16
6.3.1.1 Cascara de plátano	16
6.3.1.3 Cascara de mango.....	18
6.3.1.4 Cascara de Naranja	18
6.4 BIOCHAR.....	19
6.4.1 Definición	19
6.4.2 Composición del biochar.....	19
6.4.3. Características del biochar.....	20
6.4.3.1 pH	20

6.4.3.2 Porosidad	20
6.4.3.3 Densidad Aparente	21
6.4.3.4 Densidad Real.....	21
6.4.4 Factores que afectan las propiedades del biochar.....	21
6.4.4.1 PIRÓLISIS	21
6.4.4.1.1 Definición	21
6.4.4.1.2 TIPOS DE PIRÓLISIS	22
6.4.4.1.3 Condiciones en el proceso de pirólisis.....	22
6.4.5 Efectos ambientales del biochar	24
6.4.6 Propiedades de biochar obtenido a diferentes temperaturas.....	24
6.4.6.1 Rugosidad	24
6.4.6.2 Estabilidad térmica.....	25
6.4.6.3 Densidad	25
6.4.6.4 Carga superficial	25
6.4.6.5 Capacidad de adsorción	25
6.4.7 Tratamiento de aguas contaminadas con biochar	25
6.5 MARCO LEGAL	26
CÓDIGO ORGÁNICO AMBIENTAL	27
7. HIPÓTESIS.....	28
8. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	28
8.1 Metodología.....	28
8.1.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	28
8.1.2 OBSERVACIÓN DIRECTA	28
8.1.3 ÁREA DE RECOLECCIÓN DE BIOMASA	29
8.1.3 SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE BIOMASA	29
8.1.3.1 Plan previo de la toma de muestras de biomasa	29
8.1.3.2 Método de recolección directa.....	30
8.1.3.3 Método de cuarteo	31
8.1.3.4 Acondicionamiento de la Biomasa.....	31
8.1.3.4.1 Método de secado de material orgánico	31
8.1.3.4.2 Secado natural	31
8.1.3.4.3 Conservación de biomasa	32
8.1.4 Producción de biochar	32
8.1.4.1 Pirolisis	32
8.1.4.1.1 Medidas de seguridad	32
8.1.4.1.2 Materiales.....	32
8.1.4.1.3 Procedimiento	33
8.1.4.1.4 Conservación de biochar producido.....	34
8.1.5 Caracterización de biochar	34
8.1.5 .1 Determinación de pH y alcalinidad.....	34
8.1.5.2 Determinación de pH	34
8.1.5.2.1 Materiales.....	34
8.1.5.2.2 Procedimiento	35
8.1.5.3 Determinación de Alcalinidad	35
8.1.5.3.1 Materiales.....	35
8.1.5.3.2 Procedimiento	36

8.1.5.4 Determinación de la densidad aparente	37
8.1.5.4.1 Materiales.....	37
8.1.5.4.2 Procedimiento	37
8.1.5.5 Determinación de la densidad real.....	38
8.1.5.5.1 Materiales.....	38
8.1.5.5.2 Procedimiento	38
8.1.5.6 Determinación de la Porosidad	39
8.1.7 PREPARACIÓN DE AGUA CONTAMINADA CON MERCURIO.....	39
8.1.7.1 Medidas de seguridad.....	39
8.1.7.2 Preparación de solución contaminada	40
8.1.7.2.1 Materiales	40
8.1.7.2.2 Procedimiento.....	40
8.1.8 DESCONTAMINACIÓN DE MERCURIO EN EL AGUA CON BIOCHAR.....	41
8.1.8.1 Método de filtración	41
8.1.8.1.1 Materiales	41
8.1.8.1.2 Medidas de seguridad	42
8.1.8.1.3 Procedimiento.....	42
8.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	44
8.2.1 Tablas de Frecuencia	46
8.2.2 Interpretación Tablas de Frecuencia.....	46
8.2.3 DETERMINACIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO	47
9 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.	47
9.1 Obtención de biomasa	47
9.1.1 Identificación de biomasa.....	47
9.1.2 Recolección de Biomasa.....	47
9.1.3 Caracterización y clasificación de biomasa.....	48
9.1.4 Secado de biomasa	48
9.1.5 Metodología establecida para la elaboración de biochar a base de residuos orgánicos.	48
9.1.5.1 Recolección y acondicionamiento de la biomasa	49
9.1.5.1.1 Recolección de material orgánico.....	49
9.1.5.1.2 Caracterización de la composición de la biomasa	49
9.1.5.1.3 Secado natural	50
9.1.5.1.3.1 Preservación de biomasa	50
9.1.5.1.4 Producción de biochar	50
9.1.5.1.4 Pirolisis	50
8.1.4.1.1 Medidas de seguridad	51
8.1.4.1.2 Materiales.....	51
8.1.4.1.3 Procedimiento	51
9.2 Elaboración de los biochar	52
9.2.1 Análisis y comparación del rendimiento de carbonización a diferente temperatura...	53
9.2.2 Características del biochar.....	54
9.2.2.1 pH	54
9.2.2.2 Alcalinidad	55
9.2.2.3 Densidad Aparente	55
9.2.2.4 Densidad real	56

9.2.2.5 Porosidad	57
9.2.3 Análisis y comparación de características del biochar a diferentes temperaturas	57
9.3 Descontaminación de Mercurio.....	58
9.3.1 Análisis de resultados	58
9.3.1.1 Mejor Tratamiento.....	65
9.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	65
10 IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	67
10.1 Impacto técnico.....	67
10.2 Impactos sociales.....	67
10.3 Impacto ambiental	67
10.4 Impacto económico.....	68
11 PRESUPUESTO.....	69
12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
12.1 Conclusiones.....	71
12.2 Recomendaciones	73
13 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
14 ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos	5
Tabla 2. Fuentes principales de emisión de los metales pesados	11
Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del mercurio.....	13
Tabla 4. Criterios de calidad, y límites permisibles con relación al mercurio	27
Tabla 5. Equipo de seguridad para la toma de muestra	29
Tabla 6. Materiales para el registro de biomasa	30
Tabla 7. Materiales para elaborar el biochar	32
Tabla 8. Materiales para caracterizar el pH	34
Tabla 9. Materiales para la determinación de alcalinidad	35
Tabla 10. Materiales para la determinación de densidad aparente	36
Tabla 11. Materiales para la determinación de densidad real	37
Tabla 12. Equipo de seguridad para la preparación de agua contaminada	38
Tabla 13. Materiales para la preparación de solución contaminada	39
Tabla 14. Materiales para el método de filtración	5
Tabla 15. Factores para el tratamiento de descontaminación del mercurio en el agua	43
Tabla 16. Asignación de valores a las categorías de los resultados	44
Tabla 17. Matriz de tablas de frecuencia	44
Tabla 18. Equipo de seguridad para la toma de muestra	46
Tabla 19. Materiales para elaborar el biochar	49

Tabla 20. Rendimiento de carbonización a diferentes temperaturas -----	51
Tabla 21. Características del biochar a diferente temperatura -----	55
Tabla 22. Ejemplo de tabla de interacciones de factores -----	56
Tabla 23. Resultados de la tabla de frecuencia general -----	57
Tabla 24. Resultados de la tabla de frecuencia a 300°C -----	57
Tabla 25. Resultados de la tabla de frecuencia a 350°C -----	58
Tabla 26. Resultados de la tabla de frecuencia a 400°C -----	58
Tabla 27. Resultados de la tabla de frecuencia con la mediana a 300°C -----	59
Tabla 28. Resultados de la tabla de frecuencia con la mediana a 350°C -----	59
Tabla 29. Resultados de la tabla de frecuencia con la mediana a 400°C -----	60
Tabla 30. Resultados de la tabla de frecuencia con 400° y una filtración. -----	61
Tabla 31. Resultados de la tabla de frecuencia con 400° y sistema de filtración -----	64
Tabla 32. Presupuesto para la elaboración del proyecto. -----	66

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Elaboración de biochar a partir de material orgánico sólido del mercado mayorista de la ciudad Latacunga para la recuperación de aguas contaminadas con metales pesados a nivel de laboratorio”

Lugar de ejecución:

Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

Institución, unidad académica y carrera que auspicia

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

Nombres de equipo de investigación:

Tutor: Mg. José Luis Ágreda Oña.

Estudiante: Sr. Edison Javier Molina Claudio

LECTOR 1: Mg. Vladimir Ortiz

LECTOR 2: Mg. Marco Rivera

LECTOR 3: Mg. Eduardo Cajas

Área de Conocimiento:

Ciencia Naturales. Medio Ambiente, Ciencias Ambientales.

Línea de investigación:

- Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.
- Eficiencia energética y Protección Ambiental

Sub-línea de Investigación de la Carrera:

Manejo de Recursos Hídricos

Línea de Vinculación de la Facultad:

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

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El Biochar es una forma de carbono orgánico sólido que se produce a partir del proceso de pirólisis de los residuos orgánicos, tales como materia orgánica de bosques naturales, hojas, ramas, residuo de lodos activados y residuos agrícolas. Esta técnica presenta características de adsorción y absorción de un material con altas capacidades para sorber metales pesados, prácticamente insolubles en agua.

La creación de biochar como un enfoque de remediación de aguas contaminadas por metales pesados ha demostrado tener un impacto significativo en la purificación de agua y el mejoramiento del medio ambiente en la República de Ecuador. Ya que, En Ecuador, uno de los principales mecanismos usados para tratar el agua contaminada son los sistemas de descontaminación biológica convencionales. Estos sistemas requieren alto nivel de infraestructura, alto costo y poseen una baja eficiencia en la remoción y concentración de contaminantes. Sin embargo, el uso de biochar ayuda a mejorar la descontaminación de agua en comparación con los sistemas biológicos convencionales, debido a su condición adsorbente.

Por lo tanto, la creación de biochar como una alternativa para la remediación de aguas contaminadas por metales pesados en Ecuador es una iniciativa viable. Esto ayudará a reducir el impacto negativo de los contaminantes en el medio ambiente, prevenir la contaminación de fuentes de agua, mejorar la calidad del agua y reducir los costos de los sistemas de tratamiento convencionales. Mediante la aplicación de biochar a los cuerpos de agua contaminados puede reducir significativamente los índices de contaminación por metales pesados, reduciendo la toxicidad y mejorando la calidad de agua para el uso de una amplia variedad de aplicaciones.

Las diferentes estrategias de usos de biochar a nivel de sitio aprovechan sus propiedades químicas y físicas para remover los metales pesados del agua e inhibir su absorción en los sedimentos, mejorando entonces drásticamente la calidad del agua y reduce el impacto en los ecosistemas. Esto genera una alternativa relativamente barata, segura y

eficiente para promover el desarrollo sostenible y reducir la contaminación en el medio ambiente, proporcionando una mejora en la calidad de vida de la población local.

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La calidad ambiental global en la actualidad es una preocupación mundial y tiene un impacto significativo en la salud y el bienestar de la humanidad. Las actividades humanas han contribuido a un gran deterioro de la calidad ambiental en los últimos años, especialmente en las grandes ciudades. Debido a la creciente preocupación por el medio ambiente, la contaminación del agua es un importante tema de debate actualmente. Esta forma de contaminación se produce cuando los efluentes y desechos industriales, así como los productos químicos utilizados en la agricultura, la contaminan con sustancias que pueden resultar tóxicas para la salud humana. Esto conlleva un peligro significativo para la vida silvestre y los cuerpos de agua, lo que a su vez puede tener efectos perjudiciales en la economía, la salud y el bienestar.

Uno de los principales contaminantes del agua es la presencia de metales pesados como el mercurio, plomo, cadmio, arsénico, níquel y aluminio, que son altamente tóxicos para la fauna y la flora y pueden causar problemas graves de salud humana. Estos metales se acumulan en lodos, sedimentos y zonas acuáticas a través de actividades humanas como la industria, agricultura, pesticidas y desechos domésticos.

Los metales pesados causan diferentes impactos en el medio ambiente acuático, desde el deterioro de la salud de los organismos y la reducción de la diversidad biológica, hasta el cambio en los flujos de los nutrientes, la reducción de la productividad y la disminución de la fertilidad. Esto se debe a que los peces, moluscos y otros organismos acuáticos son particularmente sensibles a la presencia de metales tóxicos en el agua. Los efectos de la contaminación por metales pesados en el medio ambiente se retroalimentan, ya que estos elementos se acumulan en los organismos a través de la cadena alimenticia.

En el Ecuador, el problema de los metales pesados en el agua se ha vuelto cada vez más preocupante debido a actividades humanas como la industria, el agro, la quema de combustibles fósiles, la agricultura y los residuos destinados al agua. En la industria, se

liberan metales pesados a través de la descarga de desechos industriales a los cuerpos de agua, en particular plomo, arsénico y mercurio. Los profesionales agrícolas también contribuyen a la contaminación de los metales pesados en el agua al usar pesticidas y fertilizantes para su cultivo. Esto se debe a que los pesticidas que se aplican en terrenos agrícolas pueden con frecuencia entrar en los canales de agua, arrastrando consigo metales pesados con ellos.

En la actualidad, la contaminación del agua por mercurio sigue siendo un problema crítico. El mercurio se encuentra en cantidades preocupantes en los ríos del Ecuador, particularmente en los ríos que se encuentran cerca de zonas donde se explotan recursos naturales. Estos niveles de mercurio pueden afectar negativamente la vida silvestre, la conservación de estas especies, la salud de los humanos y el bienestar de los ecosistemas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2005)

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Producir biochar a partir de material orgánico sólido del mercado mayorista de la ciudad Latacunga para la recuperación de aguas contaminadas con mercurio a nivel de laboratorio

4.2 Objetivos Específicos

- Establecer la metodología adecuada para la elaboración de biochar.
- Producir 3 tipos de biochar con diferentes características.
- Validar la eficacia de remoción de contaminantes del biochar producido, a través de métodos estadísticos para la determinación del mejor tratamiento.

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

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultado
O.1.- Establecer la metodología adecuada para la síntesis de biochar.	Investigación bibliográfica sobre estudios realizados a la producción de biochar.	Revisión bibliográfica Triangulación de conceptos	Obtención de la metodología adecuada para la elaboración de biochar
O.2.- Producir 3 tipos de biochar con diferentes características.	Caracterizar la biomasa. Recolectar la biomasa requerida para el proceso. Encapsular la materia orgánica. Realizar proceso de pirolisis con diferentes temperaturas y biomasas. Enfriamiento de biochar. Conservación de biochar.	Gravimetría. Pirolisis	Obtención de biochar.
O.3.- Validar la eficacia de remoción de contaminantes del biochar producido, a través de métodos estadísticos para la determinación del mejor tratamiento.	Realizar pruebas de laboratorio con agua contaminada con mercurio para medición de parámetros físico – químicos antes del tratamiento Realizar un análisis cualitativo para la determinación de la presencia del mercurio después del tratamiento. Validación de datos a través de métodos estadísticos Cualitativos	Filtración Tablas de frecuencia Análisis Comparativo	Tratamiento más efectivo

Fuente: Javier Molina

6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

6.1 El agua

El agua es una sustancia compuesta por dos elementos químicos: hidrógeno y oxígeno. Es un líquido inodoro, incoloro y sin sabor generalmente conocido como H₂O (Krauskopf, 2019). Es una sustancia universal y vital para la vida en la Tierra, ya que constituye el 80 % de la masa total del organismo humano (Carroll, 2002). Además de presentarse como líquido, el agua existe en tres estados físicos: sólido, líquido y gaseoso (Kormos, 2018).

Los compuestos de agua juegan un papel importante en procesos redes como la preservación de la vida y el control del clima. Por ejemplo, el agua ayuda a regular el intercambio de energía entre la Tierra y el Sol, lo que contribuye a formar la atmósfera terrestre (Kormos, 2018). También contribuye a la termodinámica, que inicia los procesos físico-químicos en la Tierra y en otros planetas (Chyba, 2002). Además, se utiliza como elemento para transportar cantidades de nutrientes a los organismos vivos (Deshazer & Johanson, 2002).

Las propiedades químicas y físicas del agua la hacen ideal para el transporte y la vida (Kormos, 2018). Por un lado, el agua tiene un punto de congelación, punto de ebullición y capilaridad únicos (Chernoff, 2003). Estas propiedades permiten que el agua esté presente tanto en estado sólido como líquido en todas las regiones de la Tierra. Por otro lado, el agua es un solvente universal, lo que significa que puede disolver la mayoría de los compuestos. Esta cualidad es necesaria para el transporte y la absorción de nutrientes medida para el desarrollo de muchas formas de vida (Krauskopf, 2019).

Su importancia radica en los innumerables usos y beneficios que posee para la sociedad y el medio ambiente (Prem et al., 2019; Alibabaei et al., 2018). En primer lugar, el agua es el principal elemento para la alimentación, el riego es un medio de sustento para millones de personas alrededor del mundo, mediante la producción de alimentos, también permite hidratar a los animales para su alimentación. Además, el agua es esencial para la

salud humana, ya que el 93% del cuerpo humano está compuesto por agua y es necesaria para el buen funcionamiento de nuestro sistema corporal (Osterberg et al., 2019).

6.1.1 El agua en el Ecuador

Nuestro país es privilegiado en cuanto a recursos hídricos, toda vez que se sitúan los principales afluentes del río Amazonas y, en tal virtud contiene una gran concentración de ríos por milla cuadrada en el mundo. En este territorio de 256.370 km². Por su parte de conformidad a lo señalado por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) existe una disponibilidad de agua de 22.500 m³ por habitante por año.

En el Ecuador, los dos principales ríos son el Río Napo y el Río Aguarico, también conocidos como los “ríos de la vida”. Estos ríos son importantes para el país porque contribuyen al suministro de agua para el país y para la región, así como por sus importantes recursos para la actividad turística. Además, el Río Aguarico conecta tres provincias con la frontera brasileña, lo que significa también un medio para el transporte y comercio. Por este motivo, ambos ríos son sumamente importantes para el Ecuador y su economía (Lago, 2019).

Según las contribuciones de un estudio publicado en 2017, el recurso hídrico disponible por persona en el Ecuador es de 478 m³/persona/año. Esto representa una de las mayores cantidades en la región para los países iberoamericanos, por debajo de la media regional, de 678 m³/persona/año (Román et al., 2017). Esta cantidad se considera una buena calidad de recursos hídricos, sin embargo, existe una disparidad de la distribución de agua entre los sectores del país, lo que aumenta la inequidad de agua a través de territorios y regiones (Osoreo, 2018).

Además, las normas de calidad del agua establecidas en Ecuador están establecidas por la Dirección de Calidad Ambiental (DICA) de la secretaria nacional del Agua (SENAGUA) (Secretaría Nacional del Agua, 2012). Estas normas según los contaminantes, son estructuradas mediante la Reglamentación de las Normas de Calidad del Agua de Consumo Humano aprobada por Decreto Ejecutivo 213. Estos estándares regulan el contenido de materias inorgánicas y orgánicas del agua para consumo humano, así como también el contenido de materias inorgánicas y orgánicas en las fuentes de agua para uso agrícola, recreativo y de irrigación. Estas normas son en su mayoría de acuerdo a los

estándares internacionales, recomendados por la Organización Mundial de la Salud (Secretaría Nacional del Agua, 2012).

6.1.3 Aguas residuales

Las aguas residuales son una mezcla natural o artificial de aguas de diferentes descargas, tales como aguas domésticas, pluviales, agrícolas o industriales (Barreau & Rougerie, 2018). Estas aguas se componen de una mezcla de componentes químicos y biológicos, así como de sedimentos, que se descargan a los cuerpos de agua naturales (Kisekka & Regehr, 2016). Esta descarga afecta la calidad del agua y puede tener un impacto significativo en la vida acuática y la calidad del medio ambiente (Kisekka & Regehr, 2016).

Los efectos de la contaminación del agua son diversos; de manera directa, los más gravemente afectados son los seres humanos, animales y vegetales, ya que los ecosistemas acuáticos generan seres vivos que dependen de manera directa de la salud de estos. Los humanos además sufren enfermedades e intoxicaciones por consumir agua no tratada. (Díaz & Baquero, 2017).

6.1.3.1 Tipos de aguas residuales

Proviene de cuatro fuentes principales que son:

- **Aguas residuales industriales:** Estas son aquellas que contienen desechos industriales, producidos como resultado de la producción de productos y procesos que tienen lugar allí. Estas aguas contienen materiales dañinos para el ambiente como el nitrógeno, el fósforo, los metales pesados y los compuestos orgánicos volátiles, entre otros (EPA, 2019).
- **Aguas servidas domésticas:** Estas son aquellas que se recolectan de propiedades privadas para su tratamiento. Estas aguas pueden contener desechos orgánicos, plaguicidas, materiales tóxicos, nutrientes (clorofila, nitrógeno, fósforo mineral, etc.), materias flotantes y sólidos suspendidos (USEPA, 2015).
- **Aguas pluviales:** Estas son aquellas que se recolectan de cuencas pluviales para su tratamiento y descarga. Las aguas pluviales no tratadas contienen metales pesados,

metales traza y pesticidas que pueden ser contaminantes peligrosos para el medio ambiente (USEPA, 2011).

- Aguas de drenaje de plantas de procesamiento: Estas son las aguas residuales que se recolectan de las plantas de procesamiento que reciben aguas de ríos y arroyos naturales o tratadas. Estas aguas contienen desechos orgánicos, metales pesados, clorina, metales traza, nutrientes, compuestos orgánicos volátiles, entre otros (USEPA, 2020).

6.1.3.2 Aguas residuales en Ecuador

Las aguas residuales son generadas en el Ecuador principalmente por la desviación de los desechos domésticos, industriales y agrícolas de las aguas limpias que se usan para el riego (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018). Estas aguas residuales no tratadas contienen nutrientes, materia orgánica y productos químicos que afectan los ecosistemas acuáticos, el suelo y la salud humana (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018). Diferentes medidas deben tomarse para tratar estas aguas residuales, como el mejoramiento de los sistemas de alcantarillado, la incorporación de pozos sépticos y la salida consciente de efluentes industriales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018).

La contaminación de las aguas superficiales ocurre en todo el país y está relacionada con las fuentes urbanas y agrícolas. Ecuador posee una amplia red hídrica con ríos de gran importancia como el Guayas y Esmeraldas en la vertiente Pacífica, y el Napo y Pastaza en la vertiente Amazónica. Las fuentes de contaminación a nivel nacional son principalmente los asentamientos humanos y las aguas residuales sin tratamiento que aquellos arrojan a los ríos. Cada región del país presenta fuentes de contaminación diferentes.

Dentro del Ecuador se registra diferente contaminación de agua por aguas residuales dependiendo el sector ya que en cada región se registra diversas actividades en la que existe contaminación en:

6.1.3.2.1 Contaminación de agua en la costa

La contaminación del agua residual en la región de la Costa de Ecuador ocurre debido a la presencia de diferentes provincias agrícolas y urbanas en el área. Esas industrias emiten fugas y vertimientos de petroquímicos, productos químicos de debates tóxicos y canales desagüe en los que se descarga la materia orgánica y las impurezas procedentes del uso doméstico (Agallcio et al., 2016). Además, los desastres naturales como las inundaciones en la región también contribuyen a los niveles más altos de contaminación. Esta combinación proviste altos volúmenes de nutrientes, toxinas, coliformes fecales, metales pesados y compuestos orgánicos fónicos usan molestas a lo largo de la Cana (Peugré et al., 2017).

6.1.3.2.2 Contaminación de agua en la sierra

Las principales actividades en la región de la Sierra del Ecuador producen aguas residuales a través de la agricultura, minería, ramadería, fabricación de materiales y productos de consumo, así como el uso y desecho de productos industriales, domésticos y humanos (Granados & Martinez, 2019). Y sin duda la producción de electricidad o la descarga de aguas residuales alcantarilladas o de desechos domésticos (Federación Ecuatoriana de Municipios, 2020).

6.1.3.2.3 Contaminación de agua en la Amazonia

Las principales actividades en la región amazónica del Ecuador que generan aguas residuales son la agricultura, la deforestación, la minería y la ganadería. Los desechos generados por estas actividades químicas, biológicas y físicas son mezclados con agua para su descarga, formando las aguas residuales (Dispater et al., 2018). Estas aguas contienen elementos químicos como nitrógeno, fósforo y suelo, así como sustancias orgánicas degradables como carbohidratos y lípidos (Corral-Molina et al., 2019). Además, también pueden contener metales pesados, lixiviados de la deforestación, los cuales se consideran una amenaza para el ambiente (Canullán et al., 2019).

6.2 Metales pesados

Se les considera metales pesados aquellos elementos químicos cuya densidad es mayor a 4,5 g/cm³, además de estar presentes como variaciones químicas en los metales. Estos metales incluyen el plomo, el cromo, el cadmio, el níquel, el zinc, el mercurio y los radioisótopos (Etchegoyen, García, & Michelena, 2019). Los metales pesados se han convertido en una de las mayores preocupaciones ambientales, ya que se han identificado como contaminantes químicos y consecuencias a largo plazo para el medio ambiente. Los metales pesados se suelen dividir en dos grupos principales; metales pesados naturalmente presentes (NPM) y metales pesados derivados del uso humano (MUDH) (Berry, 2013).

Los MUDH incluyen arsénico, cobre, mercurio, plomo, níquel y cromo. Estos contaminantes se liberan principalmente debido a los desechos industriales, la combustión de combustibles fósiles, la agricultura, la agricultura industrial y el derrame accidental de petróleo (Walsh et al., 2016). Estos metales persisten en el medio ambiente por periodos de tiempo prolongados, que van desde décadas o incluso siglos, y pueden afectar negativamente diversos aspectos de la salud y el medio ambiente si se acumulan en niveles excesivos (Walsh et al., 2016).

6.2.1 Fuentes principales de emisión de los metales pesados

Tabla 2. Fuentes principales de emisión de los metales pesados

ELEMENTO	CAUSA
Mercurio	<p data-bbox="745 1446 1382 1520">Explotaciones mineras de extracción de oro, plata y cobre.</p> <p data-bbox="781 1551 1346 1583">Fundición primaria y secundaria de metales.</p> <p data-bbox="745 1619 1382 1724">Producción de carbón y coque. Combustión de combustibles fósiles y carbón en la generación de electricidad.</p> <p data-bbox="914 1759 1211 1793">Industria de cloro-sosa.</p>

	Incineración de residuos peligrosos y biológicos infecciosos.
--	---

Plomo	<p>Fundición primaria y secundaria de metales. Loza vidriada.</p> <p>Producción de pinturas. Elaboración de latas soldadas con plomo.</p> <p>Industria electrónica y de cómputo.</p> <p>Uso de gasolina con plomo.</p>
--------------	--

Cadmio	<p>Baterías recargables de níquel/cadmio (Ni/Cd):</p> <p style="padding-left: 40px;">Agroquímicos</p> <p>Pigmentos y estabilizadores en plástico y PVC</p> <p style="padding-left: 40px;">Pigmentos en pinturas.</p> <p style="padding-left: 40px;">Galvanización</p> <p>Catalizadores y conservadores en la industria del plástico</p> <p style="padding-left: 40px;">Elaboración de pinturas</p> <p style="padding-left: 40px;">Aleaciones</p>
---------------	--

Cromo	<p style="padding-left: 40px;">Pinturas</p> <p style="padding-left: 40px;">Sales de broncear</p> <p style="padding-left: 40px;">Aleaciones metálicas.</p>
--------------	---

Fuente: (*Utgikar, 2004*)

6.2.2 Mercurio

El mercurio pertenece al grupo de los metales pesados, considerado peligroso en la que se encuentra naturalmente en el medio ambiente y está ampliamente disperso por la atmósfera, el agua y la tierra. Se presenta en tres formas diferentes: líquida, sólida y gaseoso.

En estado líquido, el mercurio es un líquido viscoso y brillante, de color plateado característico. Se encuentra a temperatura ambiente en estado líquido, con un punto de fusión de $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un punto de ebullición de $357\text{ }^{\circ}\text{C}$. En estado sólido, el mercurio es más duro que en estado líquido. Si se deja enfriar por debajo del punto de fusión sin añadir ningún compuesto, se forma una lámina lisa. En forma gaseosa, el mercurio es un gas incoloro a temperatura y presión ambientes, con un punto de ebullición de $356.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Estado gaseoso del mercurio es muy volátil y puede ser fácilmente transportado por el aire (Safari et al., 2019).

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del mercurio.

Peso molar	200.59
Estado físico	Líquido
Aspecto	Pesado
Olor	Inodoro
Punto de fusión	-38.9°C
Punto de ebullición	357°C
Densidad relativa	13.5
Densidad relativa de vapor	6.93

Fuente: (Contra & Fugaz, 2001).

Las propiedades químicas del mercurio se caracterizan por su gran resistencia a la oxidación y a la corrosión, lo que le permite combinarse con más de 30 elementos. El mercurio reacciona con los ácidos clorhídrico, sulfúrico y nítrico para formar sales, y reaccionará con algunos compuestos no metálicos para formar otros compuestos. El número

másico del mercurio es 196,97. El análisis químico da como resultado una proporción aproximada de los elementos químicos: 79,87% de Hg, 14,11% de O_2 y 5,5% de CH_4 (Llana & Vega, 2018).

6.2.2.1 Toxico-cinético del mercurio

En el proceso tóxico-cinético del mercurio, el mercurio inorgánico (elemental) se adsorbe a la superficie de partículas orgánicas y a sedimentos antes de entrar en un ambiente acuático. El mercurio inorgánico ingresa al cuerpo de agua donde puede convertirse a mercurio orgánico formado por el metabolismo de bacterias. El mercurio orgánico es absorbido por organismos acuáticos y en ciertas concentraciones puede ser ingerido por organismos superiores, por lo tanto, es considerado como peligroso para la salud humana. El proceso tóxico-cinético de mercurio consta de las siguientes etapas (Sedlacek, 2019):

- Adsorción: El Hg se adsorbe a la superficie de partículas orgánicas presentes en el sedimento.
- Migración: Tras la adsorción, el Hg forma un complejo con la materia orgánica repartiéndose gradualmente en el agua.
- Biotransformación: Al entrar en contacto con las bacterias, el Hg se biodispone y hay lugar a su conversión a compuestos orgánicos.
- Metabolismo: El Hg orgánico biodispuesto es metabolizado por el tejido animal y empezando aquí el paso de Hg a especies más altas de la cadena alimentaria (por ejemplo, peces - mamíferos).
- Acumulación: El Hg finalmente se acumula eventualmente en las especies superiores, enfocándose en tejidos como hígado y músculo.

Este metal pesado rara vez se encuentra en su forma elemental y se absorbe principalmente a través de la inhalación, la ingestión y la absorción cutánea. Los estudios muestran que el mercurio se distribuye rápidamente a través del cuerpo con concentraciones relativamente altas en los tejidos nerviosos, riñones, hígado y glándulas salivales, entre otros. Los estudios también han informado sobre variaciones en las cinéticas de la absorción y eliminación de mercurio entre humanos, dependiendo de la edad, el sexo, el nivel de

exposición y la vía de administración. Se ha demostrado que la eliminación de mercurio se realiza principalmente a través de la orina y las heces, aunque también se observa una pequeña proporción de excreción en el sudor y los líquidos bucales (Mercola, 1983).

6.2.2.2 Efectos en la salud

Según Lovelock et al. (2013) el mercurio es un metal pesado tóxico que puede tener numerosos efectos nocivos en la salud humana. Estos efectos en la salud incluyen trastornos neurológicos, problemas cardíacos, daño renal, enfermedades pulmonares, daño prenatal, trastornos inmunes, cáncer y problemas oculares. El contacto prolongado con el mercurio también se relaciona con un aumento en el riesgo de enfermedades autoinmunes, incluyendo el lupus eritematoso sistémico, el síndrome antifosfolípido y la enfermedad de Graves (Termini et al., 2017). Otras enfermedades asociadas a la exposición al mercurio incluyen el síndrome cardíaco isquémico y la enfermedad isquémica (Aminiyani et al, 2013). Dentro de la cual los efectos en la salud van a depender de los tiempos de exposición, los efectos pueden llegar a ser crónicos al aumentar los tiempos de exposición y concentración (Poulin & Gibb, 2008).

6.2.2.3 Impacto ambiental

La utilización del mercurio en las diferentes actividades antropogénicas ha generado impactos ambientales dentro de las cuales se destacan:

- Contaminación del agua por el mercurio: Cuando el mercurio entra en el ambiente, se disuelve y se distribuye en los suelos y el agua. La acumulación de este elemento en los organismos acuáticos, como peces, y en los sedimentos pueden llevar a un mayor desequilibrio de los ecosistemas acuáticos. Esto puede tener un impacto en la salud humana, debido al contenido de mercurio en el pescado (Gee, 2011).
- Contaminación del aire por el mercurio: El mercurio también se libera en la atmósfera a través de los procesos naturales y antropogénicos. La incineración de combustibles fósiles, la producción de ciertos fertilizantes y plaguicidas, el uso de termómetros y los descansos termométricos de equipamientos son algunas de las actividades humanas que contribuyen con la emisión de mercurio al ambiente. Estas emisiones

pueden llevar a la ingesta de mercurio por parte de los seres humanos, lo cual conlleva a graves efectos en la salud (Gracia y Hernández, 2011).

- Cambios en el clima: Debido a la capacidad del mercurio para formar gases como el óxido de mercurio (HgO) y el dióxido de carbono (CO₂), pueden contribuir a los efectos invernadero y el calentamiento global. Estos procesos afectan los patrones climáticos globales, los cuales impactan la salud humana y la biodiversidad regional (Loh, 2011).

6.3 Biomasa

La biomasa se refiere al total de materia orgánica de los seres vivos y de los productos derivados de la misma (Giampieri, Karp, & Norris, 2019). Se trata de uno de los principales componentes de la energía renovable. Se compone de materiales orgánicos tales como cuerpos animales, plantas, residuos, organismos, microorganismos, etc. (Goudriaan et al., 2017). Esta materia se puede transformar para producir energía y otros bienes aprovechables.

La biomasa representa una gran cantidad de material orgánico almacenado en los seres vivos, los cuales, como resultado de la actividad biológica, producen carbono, hidrógeno y oxígeno. Estos componentes se combinan para formar compuestos orgánicos útiles. El término “biomasa” incluye desde materia orgánica que todavía sigue viva hasta la que ya ha muerto. Por esa razón, los productos derivados de los seres vivos como el petróleo, el carbón y el gas natural, también se consideran biomasa (Solberg H.D., 2019).

6.3.1 Composición química de la biomasa

La biomasa es una mezcla compleja principalmente constituida de celulosa, hemicelulosa, lignina, una pequeña parte de otros compuestos orgánicos agrupados como “extractos”, agua y cenizas (González & Sánchez, 2016).

6.3.1.1 Cascara de plátano

La cáscara de plátano contiene calcio, fósforo, potasio, magnesio, zinc, cobre y vitamina E, con algunos estudios argumentando que contiene niveles nutricionalmente importantes de

nutrientes (Mehul, Pandey, & Sharma, 2018). Las cáscaras de plátano también contienen más residuos químicos útiles, como fenoles, lignina y almidón. Los compuestos fenólicos presentes en el rinde de plátano ayudan a prevenir la formación de compuestos indeseables en el agua (Oyeleye, 2015).

La cáscara de plátano está compuesta principalmente por materiales orgánicos como fenoles y fibras dietéticas. Esto hace que sea un recurso natural para la adsorción de compuestos tóxicos. Está lleno de características versátiles que lo hacen ideal para la remoción de metales pesados, compuestos orgánicos y productos químicos nocivos del agua. Por ejemplo, la tectina en la cáscara de plátano es un agente para la absorción y retención de compuestos orgánicos solubles. Además, el almidón en la cáscara de plátano es un agente de coagulación eficaz para separar la materia suspendida y los nitratos del agua (Peleg et al., 2014). Estas características hacen de la cáscara de plátano una herramienta útil para remover compuestos tóxicos del agua.

Otra propiedad importante de la cáscara de plátano es su bajo costo. Las cáscaras de plátano se pueden recolectar de forma gratuita y biodegradables. Esto significa que después del tratamiento del agua con cáscara de plátano, el residuo se puede desechar de manera segura sin necesidad de realizar un tratamiento adicional del subproducto. También es una opción muy económica ya que no hay adicionales para amortizar y el costo de recolección es generalmente bajo (Peleg et al., 2014).

7.3.1.2 Cáscaras de papa

La cáscara de papa es un biocarburante potencialmente abundante, que se cree que puede producir rendimientos más elevados que los combustibles de uso común. La cáscara de papa está compuesta principalmente por carbohidratos, lípidos y proteínas (Molder, 2018). Además, contiene algunos minerales, vitaminas, aminoácidos, antioxidantes y otros compuestos fenólicos (Taji et al., 2017).

En cuanto a las propiedades físicas y químicas de la cáscara de papa, estas incluyen un alto contenido de proteína (9%), un alto contenido de cenizas (12%), bajas cenizas volátiles (15%) y un contenido de humedad del 65%, con una densidad aparente de 0,3 g/mL (Trejo, et al, 2010). La cáscara de papa contiene aproximadamente el 30% de lípidos, y los

lípidos solubles tales como ácidos grasos y triglicéridos representan aproximadamente el 25%-30% del contenido total de lípidos (Rad, et al. 2019). Además, la cáscara de papa contiene aproximadamente el 10% - 12% de carbohidratos digestivos, como glúcidos, sacarosa, amilosa y almidón (Rad, et al. 2019).

6.3.1.3 Cascara de mango

La cáscara de mango está llena de nutrientes beneficiosos como antioxidantes, minerales y selenio (Fahey, Zhang, & Talalay, 1997). La cáscara de mango también es rica en minerales como calcio, magnesio, potasio y fósforo, que pueden apoyar la salud ósea y la absorción de calcio en el cuerpo (Tarassou et al., 2019). Además, el alto contenido de vitamina C de la cáscara de mango ayuda a reforzar el sistema inmunológico, mientras que la vitamina A es importante para la salud de la piel y la vista (De Paz et al., 2017).

Su composición de polisacáridos ha sido ampliamente estudiada. Estudios recientes han mostrado que estos polisacáridos tienen importantes propiedades para la biorremediación en aguas contaminadas. Esta propiedad se debe principalmente a que la cáscara de mango posee el potencial para adsorber fácilmente diferentes contaminantes inorgánicos, como metales pesados, pesticidas y fenoles (Sharma y Saxena, 2017).

6.3.1.4 Cascara de Naranja

La cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) es una parte del fruto de la naranja que se compone principalmente de la pared celular externa de los segmentos y las membranas que separan el fruto de la flor y estimulan su crecimiento y desarrollo (José et al., 2014). Está compuesta principalmente de lignina, celulosa y pectina, junto con pequeñas cantidades de taninos, minerales y otros compuestos químicos (Karun et al., 2017). También contiene una cantidad significativa de vitamina C, calcio, fibra dietética y flavonoides con propiedades antioxidantes (Pérez et al., 2016).

La cascara de naranja es un material orgánico renovable y relativamente poco costoso que se ha utilizado como un material activo para la biorremediación (Amatya et al., 2019). La cascara de naranja contiene componentes tales como cenizas, ácidos lípidos, lignina, amilosa, pentosas y lignina. Estos componentes son eficaces en la remoción de metales

pesados de los suelos contaminados, tales como cobre, plomo, hierro, níquel, zinc y arsénico (Katznelson et al., 2018). El cobre y el plomo son factores clave en la reducción de la contaminación por metales pesados en la tierra, como se ha demostrado en numerosos estudios (Ullah et al., 2020).

6.4 Biochar.

6.4.1 Definición

El "biochar" (también llamado "biocarbón") se define como un material negro carbonizado hecho de Generalmente materiales orgánicos, como el residuo de madera, los restos de cosechas, la materia prima agrícola o el estiércol. El carbón se produce mediante el proceso de "pirolisis" (una forma de descomposición térmica de materiales orgánicos en ausencia de oxígeno) (Stinson, 2019). El biochar se usa como un suplemento orgánico para mejorar la calidad del suelo y agua, la productividad agrícola, fortaleciendo la fertilidad del suelo y ayudando a aumentar el rendimiento de los cultivos, y la retención de contaminantes en el agua. (Secure Technologies LLC., 2020).

6.4.2 Composición del biochar

El biochar generalmente se compone principalmente de carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno (Liang et al., 2019). El biochar es un material físico-químico compuesto de carbono orgánico.

Físicamente, el biochar es un material poroso con superficies amplias compuesto por una mezcla de partículas de diferentes tamaños de carbón y carbono. Está compuesto físicamente por una red de átomos en una matriz de los compuestos antes mencionados formados por unidades ligeras y grandes de poros, lo que le da una estructura porosa de alto área superficial (Maharjan et al., 2018).

En cuanto a su composición química, el biochar es principalmente carbono orgánico (50-90%), y también contiene pequeñas cantidades de nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, fósforo y calcio (Kamthan et al., 2011). Debido a su composición química, el biochar posee una

relación de área superficial / volumen elevado, lo que le lleva a tener un buen poder de intercambio de cationes, además de otros beneficios (Uren et al., 2006).

6.4.3. Características del biochar

6.4.3.1 pH

El valor de pH característico del biochar depende de muchos factores, desde el origen de la matriz hasta los tratamientos térmicos y del agua recibidos. Los biochars tienen un pH comprendido entre 5 y 11.5, con la mayoría de los valores cercanos a 9. Esto sucede porque los biochars son formados a partir de la quema de materia orgánica, por la cual emiten gases con compuestos orgánicos que se condensan en el biochar y le imprimen su valor de pH (Colakoglu et al., 2017).

Otro factor que determina el valor de pH característico de un biochar es el tiempo y la temperatura de su producción. En general, cuanto mayor sea el tiempo y la temperatura para la producción, mayor será el contenido de sales minerales, por lo tanto, provocando un aumento en el valor del pH del biochar (Atarod et al., 2020).

6.4.3.2 Porosidad

La porosidad característica del biochar se comprende como el volumen de poros presentes en el gránulo. Este valor es estimado como el volumen poroso de cada volumen de material. Se calcula como un porcentaje del volumen poroso dividido por el volumen total multiplicado por 100 (Hudson et al., 2008). Por lo general, se ha reportado que el porcentaje de porosidad característica del biochar es del 25-45% (Avi et al., 2018).

Esta variación en la porosidad del biochar se debe a varios factores como la temperatura y tiempo de combustión, la edad del material carbonizado, la humedad y el pH del suelo, los minerales en el combustible y su peso molecular (Avi et al., 2018). Los poros tienen una influencia importante en el comportamiento de los biodigestores. Estos contienen el sustrato, establecen la estructura mecánica y permiten la circulación de fluidos, como los fluidos gaseosos y líquidos. Además, los poros proporcionan condiciones para la actividad biológica microbiana (Hudson et al., 2008).

Por lo tanto, el porcentaje de porosidad característica del biochar es un parámetro importante a considerar. Se ha demostrado que a mayor porosidad del biochar, mayor es su capacidad de almacenar nutrientes en el suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Hudson et al., 2008; Avi et al., 2018).

6.4.3.3 Densidad Aparente

La densidad aparente característica del biochar es de entre aproximadamente 0,3 a 0,7 g/cm³ (Shamsi et al., 2014). Esta densidad depende del material usado para hacer el biochar, así como de los tiempos y temperaturas requeridos para su producción (Rowan et al., 2019).

6.4.3.4 Densidad Real

La densidad real característica del biochar es variable, dependiendo del material de partida y la conversión química realizada durante el proceso de producción (Elbana et al., 2018). Esto incluye la densidad de partida del material, la deshidratación y la combustión (Elbana et al., 2018). El peso de la parte volátil en general disminuye dramáticamente a medida que se procesan los materiales y se transforman en biochar (Elbana et al., 2018). La densidad real puede variar desde los 0,35 g / cm³ hasta los 2,1 g/ cm³ del material de partida, con densidades más altas observadas en los materiales que son más ricos en carbono duro y contienen menos partes volátiles (Elbana et al., 2018).

6.4.4 Factores que afectan las propiedades del biochar

6.4.4.1 PIRÓLISIS

6.4.4.1.1 Definición

La pirólisis es un proceso de degradación térmica que involucra el calentamiento de un material orgánico en condiciones de baja o ausencia de oxígeno. a temperaturas entre 200 °C y 700 °C, preservando todos sus compuestos químicos y cambiando su estructura química y física (Feng, 2016). Esto resulta en la descomposición de sus componentes para crear un producto final conocido como biochar (García Caballero, 2017).

6.4.4.1.2 TIPOS DE PIRÓLISIS

6.4.4.1.2.1 Pirólisis lenta

También conocida como la destilación lenta o la destilación indirecta es un proceso de tratamiento térmico para convertir biomasa en combustible para uso en la generación de energía. A bajas temperaturas (que generalmente se encuentran debajo de los 300°C) produce una mezcla de compuestos químicos que contienen combustible como la leña, el carbón y los aceites y su aceite (Lynn, 2018). El proceso de pirólisis lenta suele reducir las dioxinas y otros reguladores de la calidad del aire que se producen durante el proceso de combustión, haciéndolo más seguro para el medio ambiente (Zhang et al., 2016). Adicionalmente, una ventaja de la pirólisis lenta es el ahorro en energía necesaria para llevar a cabo el proceso. Hay menos energía necesaria para lograr el mismo promedio de rendimiento de energía que las alternativas más calentadas (Lynn, 2018).

6.4.4.1.2.2 Pirólisis rápida

Esta técnica involucra el calentamiento rápido de materiales orgánicos a alta temperatura durante un corto periodo de tiempo, sin la presencia de oxígeno. Esto resulta en la producción de varios productos, incluyendo biochar, productos gaseosos, y líquidos (Bridgwater, et al. 2018).

La pirolisis rápida es la destrucción termoquímica de materiales con una alta temperatura alrededor de 600 °C para producir productos como gases, líquidos y biochar (Raiga, 2007). La pirolisis rápida implica una destrucción rápida del material a una temperatura particularmente alta; esto se logra al controlar el tiempo para la combustión y las cantidades de oxígeno disponibles para la misma (Ayoko, 2013). La producción de biochar se realiza a temperaturas de 400°C a 600°C (Antonopoulou et al., 2016).

6.4.4.1.3 Condiciones en el proceso de pirólisis

6.4.4.1.3.1 Temperatura

La temperatura es un factor crítico para la eficiencia del proceso de pirólisis, el cual determina directamente el tamaño de partícula, retención de nutrientes, producción de productos volátiles y estabilidad de los productos sólidos (Xu et al., 2017). Esto significa que

la formulación óptima de una receta para la fabricación de biochar depende de la temperatura y las condiciones de pirólisis. Una baja temperatura de generación de biochar produce carbones estructuralmente menos estables con una alta retención de nutrientes (Cho & Massoth, 2014). Esto produce materiales pobres en rendimiento termoquímico debido a la baja condensación y combustión de los volátiles. En contraste, al aumentar la temperatura de producción se liberan más volátiles y se produce una mayor descomposición de materia orgánica (Kumari & Sharda, 2018), lo que puede resultar en una mayor producción de carbón y menor humedad (Thring et al., 2017).

6.4.4.1.3.2 Composición de la Biomasa

Cada biomasa tiene su propia composición y esto debe tenerse en cuenta a la hora de realizar la pirolisis de residuos para producir biochar. Las características y composición de la biomasa influyen directamente en los resultados del proceso de la pirolisis. a relación en la composición de la biomasa determina los rendimientos y productos resultantes del pirólisis y la calidad del biochar (Dash & Jayas, 2013).

Los líquidos y los gases resultantes del proceso son generalmente más ricos en volátiles que el biochar (Dash & Jayas, 2013). Más aún, la composición de la biomasa influye en los productos, ya que una misma descarga de biomasa puede resultar en diferentes productos, dependiendo del índice de humedad, contenido de cenizas, contenido de nutrientes y propiedades de los y/o finales (Dash & Jayas, 2013). La identificación y una buena comprensión de las composiciones y características de la biomasa resultará en la creación de un biochar de alto rendimiento y calidad (Mei et al., 2020).

6.4.4.1.3.3 Velocidad de calentamiento

Este parámetro es fundamental en la definición de los tipos de pirólisis. Al llevar a cabo el proceso de pirólisis a una alta velocidad de calentamiento y un tiempo corto de residencia favorece una rápida fragmentación de la biomasa y permite obtener un mayor rendimiento de gases, mientras que a bajas de velocidades calentamiento y un tiempo largo de residencia la fragmentación de la biomasa es más lento y se genera una alta producción de biochar (Castro, 2018).

6.4.5 Efectos ambientales del biochar

Los efectos del biochar sobre el medio ambiente están siendo estudiados cada vez con más detalle. Estas son algunas de sus principales contribuciones:

- **Mejora de la calidad del suelo:** El biochar mejora la estructura del suelo, aumenta el nivel de materia orgánica, la capacidad de retención de agua y la fertilidad natural (Hansen et al., 2020).
- **Mitigación de gases de efecto invernadero:** El biochar tiene la capacidad de absorber y almacenar cantidades significativas de dióxido de carbono, reduciendo de esta manera la contribución al efecto invernadero (Cherubini et al., 2011).
- **Conservación del agua:** Debido a su gran poder de retención de agua, el biochar puede contribuir a una mejor conservación del agua en los suelos (Taggart et al., 2018).
- **Prevención de la contaminación:** El biochar puede absorber y retener metales pesados y otros contaminantes orgánicos como el pesticida, reduciendo así la contaminación (Plaza et al., 2013).

6.4.6 Propiedades de biochar obtenido a diferentes temperaturas

El biochar obtenido a diferentes temperaturas posee una variedad de propiedades físicas y químicas, como la porosidad, la rugosidad, la estabilidad térmica, la densidad, la carga superficial y la capacidad de adsorción (Lin et al., 2017). Porosidad: La porosidad de biochar está relacionada con la temperatura de producción, siendo los biochars producidos a altas temperaturas (de 300 a 800 °C) presentan porosidades menores que aquellos producidos a bajas temperaturas (Lin et al., 2017).

6.4.6.1 Rugosidad

Los biochars producidos a altas temperaturas suelen ser menos rugosos que aquellos producidos a bajas temperaturas (Lin et al., 2017).

6.4.6.2 Estabilidad térmica

los biochars producidos a bajas temperaturas presentan mayor estabilidad térmica que aquellos producidos a altas temperaturas (Lin et al., 2017).

6.4.6.3 Densidad

La densidad de los biochars también se relaciona con la temperatura de producción, siendo los biochars producidos a bajas temperaturas significativamente más ligeros que aquellos producidos a altas temperaturas (Lin et al., 2017).

6.4.6.4 Carga superficial

Los biochars producidos a bajas temperaturas tienen cargas superficiales mayores que aquellos producidos a altas temperaturas (Lin et al., 2017).

6.4.6.5 Capacidad de adsorción

La capacidad de adsorción del biochar también depende de las temperaturas de producción, siendo los biochars producidos a bajas temperaturas, tienen mayores capacidades de adsorción que aquellos producidos a altas temperaturas (Lin et al., 2017).

6.4.7 Tratamiento de aguas contaminadas con biochar

El uso de biochar para la eliminación de contaminantes naturales y emergentes en agua potable ha sido estudiado en profundidad en los últimos años (Robinson et al., 2013). El biochar es un material carbonoso derivado de la biomasa carbonizada que se puede utilizar para eliminar compuestos orgánicos persistentes, metales pesados y otros contaminantes emergentes del agua potable (Arora et al., 2020).

El biochar ha demostrado ser un material altamente efectivo para la adsorción de estos contaminantes (Ding et al., 2019). Cuando se utiliza en el tratamiento del agua, el biochar proporciona una mayor eficiencia en la reducción de los contaminantes en comparación con otros materiales adsorbentes (Li et al., 2018).

El biochar se puede usar en una variedad de aplicaciones de tratamiento de agua. Por ejemplo, se puede usar en un filtro lento de continuidad para procesar aguas residuales

contaminadas (Xi et al., 2016). Esta aplicación es útil para los sistemas de tratamiento de agua en los que los flujos de entrada varían significativamente, ya que el biochar proporciona una mejor estabilización para la remoción de contaminantes, permitiendo una eficiencia de adsorción significativamente más alta que la de los filtros convencionales (Huo et al., 2019). El biochar también puede mezclarse con materiales absorbentes convencionales para mejorar la eficiencia de los filtros existentes. Por ejemplo, se ha demostrado que el uso de biochar mezclado con arena permite una remoción significativamente mejorada de los compuestos orgánicos persistentes (CRC, 2020).

Además, el biochar ha demostrado tener un amplio rango de usos aplicables al tratamiento de aguas residuales industriales. Por ejemplo, la combinación de biochar con otros adsorbentes como la lignina, el humus de lombriz de tierra y el residuo de caucho ha demostrado resultados prometedores para la remoción de metales pesados (Zhang et al., 2017).

6.5 Marco Legal

Lo dispuesto en el artículo 138 de la Constitución de la República del Ecuador y el artículo 64 de la Ley Orgánica de la Función Legislativa, acompaño el texto de la de **LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA**, para que se sirva publicarlo en el Registro Oficial (Ley orgánica de recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, 2014).

Artículo 38. Prohibición de autorización del uso o aprovechamiento de aguas residuales.

La Autoridad Única del Agua no expedirá autorización de uso y aprovechamiento de aguas residuales en los casos que obstruyan, limiten o afecten la ejecución de proyectos de saneamiento público o cuando incumplan con los parámetros en la normativa para cada uso.

Artículo 80.- Vertidos: prohibiciones y control.

Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

CÓDIGO ORGÁNICO AMBIENTAL

Art. 196.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades (COA, 2018).

ACUERDO MINISTERIAL 097-A, ANEXOS DE NORMATIVA, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE

Recurso agua

Tabla 4. Criterios de calidad, y límites permisibles con relación al mercurio

TABLA 1: CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO

Parámetros	Expresado como	Unidad	Criterios de calidad
Mercurio	Hg	Mg/l	0,006

TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS

	Agua dulce	Agua marina y de Estuario

Mercurio	Hg	Mg/l	0,0002	0,0001
TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA				
				Valor máximo
Mercurio	Hg	Mg/l		0.01
Fuente: (MAE,2015)				

7. HIPÓTESIS.

El presente proyecto se partirá de la formulación de dos hipótesis en donde consta:

Nula

Aplicando los Biochar no se elimina por completo el mercurio del agua

Alternativa

Aplicando los Biochar se elimina por completo el mercurio del agua.

8. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

8.1 Metodología

Para la elaboración de biochar se debe tomar en la recolección de información que sustente los parámetros y condiciones en la cual se generará el biochar.

8.1.1 Investigación bibliográfica

Se debe realizar una investigación de todas las condiciones, características, propiedades y procedimientos para la elaboración de biochar de acuerdo a la biomasa empleada (residuos orgánicos sólidos del mercado).

8.1.2 Observación directa

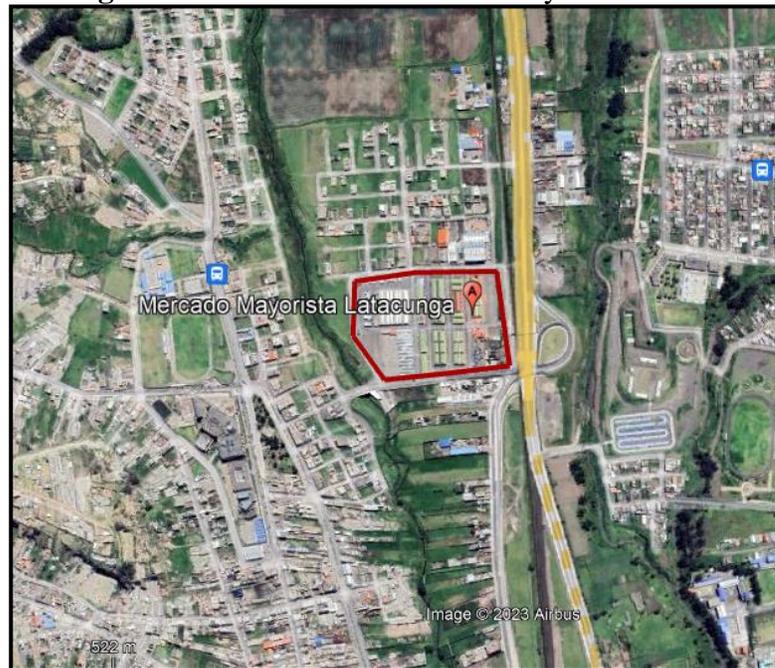
Realizar el recorrido pertinente en el área del mercado mayorista, observando, anotando y creando un registro en los lugares en donde se encuentran los residuos orgánicos

solidos además del tipo de residuo presente, dentro de la cual se debe generar el recorrido de observación mínimo de 7 días.

8.1.3 Área de recolección de biomasa

El área está ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga sector San Felipe con una latitud de -0.915448° y una longitud de -78.628299° como se observa en la figura (1).

Figura 1. Ubicación del mercado mayorista



Fuente. Google Earth

8.1.3 Selección de las muestras de biomasa

Para la selección de las muestras de biomasa para la elaboración de biochar es primordial tomar en cuenta un plan previo a la obtención de muestras, el equipo de seguridad para la toma de la muestra el material adecuado para el registro de la biomasa.

8.1.3.1 Plan previo de la toma de muestras de biomasa

Para la obtención de muestras se debe tomar en cuenta las medidas de seguridad ya que, se estará en contacto con residuos y desechos orgánicos en donde se debe portar el correcto equipo de seguridad que consiste en:

Tabla 5. Equipo de seguridad para la toma de muestra

EQUIPO DE PROTECCIÓN	CANTIDAD
Guantes protectores	1
Mascarilla	1
Zapatos de caña alta	1

Fuente: *(Javier Molina).*

Llevar materiales adecuados para el registro de la biomasa obtenida como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Materiales para el registro de biomasa

MATERIALES	CANTIDAD
Libreta de campo	1
Rotulador	1
Funda de basura plástica	5
Cámara fotográfica	1

Fuente: *(Javier Molina).*

Al tener previamente ubicado la zona de muestreo se debe realizar la recolección diaria de los residuos sólidos a la 10:00 Am durante 3 días. Llevar el registro con su rotulación y peso.

8.1.3.2 Método de recolección directa

Es primordial definir las zonas de influencia dentro del mercado mayorista de tal manera que se ubicara en los diferentes puntos de influencia de donde se genere residuos orgánicos sólidos (cascaras de frutas, vegetales, tubérculos, etc.), posteriormente se debe

tomar un mínimo de 3 muestras en cada punto de muestreo, colocar en una bolsa plástica o costal, posteriormente caracterizar la biomasa.

8.1.3.3 Método de cuarteo

Los residuos deben ser previamente pesados y posteriormente homogenizados, una vez obtenido el peso se procede a:

- **El contenido se vacía formando un montón o pila sobre un área plana horizontal de 2 x 2 metros.**
- **El montón de residuos sólidos se traspalea hasta homogeneizarlos, se dividen en partes iguales por tipo de residuos sólidos y se procede a pesarlos, para saber las proporciones porcentuales de las cuales está compuesta la muestra.**

Una vez obtenido la caracterización de la muestra obtenida de la biomasa se debe mantener en un lugar ambiente para evitar su putrefacción.

8.1.3.4 Acondicionamiento de la Biomasa

Al obtener la biomasa es fundamental generar un acondicionamiento de secado o deshidratación en donde consistirá de dos pasos fundamentales:

8.1.2.3.1 Método de secado de material orgánico

Este proceso es importante puesto que la biomasa debe presentar una humedad inferior al 20%, El proceso de secado se lo puede realizar mediante dos formas: secado natural y secado forzado. Para analizar la efectividad posteriormente con un análisis en la absorción de los metales presentes en la muestra del agua. En donde se lo hará de forma natural.

8.1.3.4.2 Secado natural

El secado natural se lo realiza al ambiente sobre una superficie plana y limpia y requiere de un tiempo de 20 días en donde se lo dejara al sol extendido en plásticos de 2m x 2m bien distribuidos en lugares sin humedad y evitar su putrefacción.

De tal manera obtener una cáscara seca de fácil ruptura mecánica. Consiste en eliminar un porcentaje de agua contenida en el interior del residuo orgánico obtenido fruta incrementando el periodo de vida útil del producto terminado, manteniendo las propiedades nutricionales y de calidad (Padilla & Hernández, 2014).

Pesar la biomasa constantemente pasando 3 días al tener el pesaje realizar un análisis estadístico promedio de cuanto peso al inicio y al final del pesaje de tal manera calcular porcentaje de humedad se perdió en su transcurso y el porcentaje de humedad con la siguiente formula.

$$HUMEDAD = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso original}} \times 100$$

8.1.3.4.3 Conservación de biomasa

Colocar la biomasa dentro de un recipiente plástico sellado a temperaturas normales (15°C a 20°C) y se debe dejar reposar la muestra de biomasa obtenida después del proceso de secado.

8.1.4 Producción de biochar

Para la elaboración del biochar realizara por el método de la pirolisis.

8.1.4.1 Pirolisis

Para la aplicación de la pirolisis es fundamental tomar en cuenta las correctas medidas de seguridad, los materiales para el proceso y el correcto procedimiento en donde:

8.1.4.1.1 Medidas de seguridad

Al trabajar con temperaturas elevadas se debe tomar en cuenta las medidas de seguridad para la protección de calor. En donde, se debe utilizar las pinzas para la manipulación de crisoles y el guante térmico para evitar quemaduras.

8.1.4.1.2 Materiales

Los materiales necesarios para la producción de biochar se muestran en la tabla (7).

Tabla 7. Materiales para elaborar el biochar

MATERIALES	CANTIDAD
Mufla	1
Crisoles de 100 g	3
Balanza electrónica	1
Rollo de papel aluminio	1
Paquete de bolsas ziploc	1
1000g de biomasa	1
Envase hermético	1

Fuente: (*Javier Molina*).

8.1.4.1.3 Procedimiento

Al tener la biomasa seca por los dos métodos anteriormente mencionados se procede

a:

- Moler la biomasa hasta tener un tamaño menor a 0.5cm
- Pesar los crisoles vacíos
- Llenar los crisoles con la biomasa y pesarlos llenos.
- Sellar los crisoles y envolver con papel aluminio, cubrirlo totalmente con dos capas de papel aluminio.
- Calentar y calibrar la mufla a 400°C
- Colocar con una pinza y un guante de cuero las muestras dentro de la mufla
- Una vez pasado media hora apagar la mufla y dejar reposar los crisoles por 24 horas
- Desenvolver el crisol del papel aluminio y pesar la muestra, y colocar en las bolsas ziploc y sellar con su adecuado etiquetado.
- Colocar en un embace hermético para su preservación
- Repetir el procedimiento con diferentes temperaturas (300°C y 350°C)

Para calcular el rendimiento de la carbonización se debe tomar en cuenta la siguiente formula:

$$\text{Rendimiento de la carbonización} = \frac{\text{masa de biocarbon obtenido}}{\text{masa inicial de la biomasa}} * 100$$

8.1.4.1.4 Conservación de biochar producido

Una vez obtenido el biochar es fundamental colocarlo dentro de bolsas ziploc con su correcto etiquetado, envolverlo con papel aluminio y colocar en un envase hermético y reposar en un lugar con temperatura ambiente.

8.1.5 Caracterización de biochar

Para la caracterización de biochar se debe tomar en cuenta los parámetros siguientes:

- Alcalinidad y pH
- Densidad aparente
- Densidad real
- Porosidad

8.1.5 .1 Determinación de pH y alcalinidad

Para la determinación del pH y la alcalinidad se realizará en el laboratorio en donde consiste:

8.1.5.2 Determinación de pH

8.1.5.2.1 Materiales

Los materiales para la determinación del pH se detallan en la tabla 8.

Tabla 8. Materiales para caracterizar el pH

MATERIALES	CANTIDAD
Multiparámetro	1
vasos de precipitación de 100 ml	3

Agitador magnético	1
15 gramos de cada muestra de biochar	1
litro de agua destilada	1
1000g de biomasa	1
Balanza electrónica	1

Fuente: (*Javier Molina*).

8.1.5.2.2 Procedimiento

Para determinar el pH del biochar se debe realizar una disolución de 5 g de biochar en 45 ml de agua destilada en un vaso de precipitación de 100ml, colocar en el agitador magnético colocar agitación constante de 200ppm por 15 minutos, a la solución resultante se debe medir con un multiparámetro en cada muestra.

La prueba se llevó a cabo con tres muestras para validar de forma más efectiva los datos y evitar errores, además de lavar la boca del multiparámetro para evitar mesclar el pH de cada muestra. Repetir en cada muestra de biochar.

8.1.5.3 Determinación de Alcalinidad

La determinación de la alcalinidad se realizará por medio de titulación.

8.1.5.3.1 Materiales

Tabla 9. Materiales para la determinación de alcalinidad

MATERIALES	CANTIDAD
Soporte universal	1
Bureta	1

vasos de precipitación de 600 ml	2
Vaso de precipitación de 100ml	4
Agitador magnético	1
Papel filtro	3
Fenolftaleína	1
Embudo de vidrio	1
500ml de HCl al 0.1 molar	1
Balanza electrónica	1

Fuente: (Javier Molina).

8.1.5.3.2 Procedimiento

Pesar 18 g de la muestra y disolverlos en 200 ml de agua destilada y se agitar por 30 minutos en el agitador electrónico.

Posteriormente filtrar con la ayuda de un embudo y un papel filtro y tomar 50ml de la solución filtrada, añadir 5 gotas de fenolftaleína, Colocar el HCl al 0.1 N en la probeta y proceder a titular y se determinara la alcalinidad con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de alcalinidad} = \frac{(\text{gasto de HCl} * N * F * \text{meq del acido})}{\text{peso de la muestra}} * 100$$

Donde:

- **Gasto NaOH: cantidad de ml de NaOH ocupamos para la titulación**
- **N: Normalidad del HCl**
- **F: factor de la solución HCl**

- **Meq del ácido: constante de miliequivalentes del HCl**

8.1.5.4 Determinación de la densidad aparente

La determinación de la densidad aparente se realizará en el laboratorio aplicando el método de la probeta.

8.1.5.4.1 Materiales

Los materiales para la determinación de la densidad aparente se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Materiales para la determinación de densidad aparente

MATERIALES	CANTIDAD
Probeta	1
6 gramos de biochar	1
Zapatos de caña alta	1

Fuente: *(Javier Molina)*.

8.1.5.4.2 Procedimiento

Introducir 2 g de la muestra en una probeta previamente pesada en la balanza electrónica. Compactarla hasta que se encuentre homogéneamente distribuida, medir y pesar el volumen ocupado por la muestra.

Una vez obtenido los datos se debe realizar 3 veces por cada muestra de biochar para evitar errores en el cálculo. Determinar la densidad mediante la siguiente ecuación:

$$\delta A = \frac{W_{pm} - W_p}{V}$$

Donde:

- W_{pm} = peso de la probeta con la muestra
- W_p = peso de la probeta vacía
- V = volumen ocupado por la muestra en la probeta

8.1.5.5 Determinación de la densidad real

La determinación de la densidad real se aplicará el método del picnómetro.

8.1.5.5.1 Materiales

Los Materiales para la determinación de la densidad real se muestran detalladamente en la tabla 11.

Tabla 11. Materiales para la determinación de la densidad real

MATERIALES	CANTIDAD
Picnómetro	2
Litro de agua destilada	1
1.5 gramos de biochar	1
Balanza electrónica	1

Fuente: (*Javier Molina*).

8.1.5.5.2 Procedimiento

Determinar el peso del picnómetro, posteriormente agregar 0,5 g de la muestra y se pesó nuevamente, a continuación, aforar el picnómetro con agua destilada y pesar, se debe secar bien el picnómetro para evitar errores de medición.

Pesar el picnómetro solo con agua destilada, generar tres veces la repetición con tres muestras para evitar errores y con los datos obtenidos aplicar la siguiente ecuación.

$$\delta R = \frac{W_{pm} - W_p}{m + W_{pw} - W_{pmw}} * \delta w$$

Donde:

- m= masa
- W_p= peso del picnómetro vacío
- W_{pm}= peso del picnómetro con la muestra
- W_{pw}= peso del picnómetro con agua
- W_{pmw}= peso del picnómetro con la muestra y aforado con agua destilada
- δw= densidad del agua (kg/m³)

8.1.5.6 Determinación de la Porosidad

Se determinará con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\delta R - \delta A}{\delta R} * 100$$

Donde:

- δR= densidad real
- δA= densidad aparente

8.1.7 Preparación de agua contaminada con Mercurio

8.1.7.1 Medidas de seguridad

Al trabajar con materiales peligrosos se debe tomar en cuenta el equipo de protección adecuada que consta de:

Tabla 2. Equipo de seguridad para la preparación de agua contaminada con Mercurio

EQUIPO DE PROTECCIÓN	CANTIDAD
Guantes quirúrgicos	1
Mascarilla	1
Mandil	1

Fuente: (*Javier Molina*).

Además de tener en cuenta la correcta manipulación de los contaminantes y ácidos requeridos para el proceso.

8.1.7.2 Preparación de solución contaminada

La preparación consistirá en crear una solución contaminada con mercurio dentro del laboratorio.

8.1.7.2.1 Materiales

Los materiales para la creación de la solución contaminada con mercurio se especifican en la tabla 13.

Tabla 3. Materiales para la preparación de solución contaminada

MATERIALES	CANTIDAD
Vasos de precipitación de 600ml	2
60ml Ácido nítrico	1
varillas de agitación	2
Disipador de vapores	1
Litro de agua destilada	1

Fuente: (*Javier Molina*).

8.1.7.2.2 Procedimiento

Para disolver el mercurio seguir el siguiente proceso:

- Colocar 1 miligramo de mercurio en un vaso de precipitación de 600ml
- Introducir el vaso de precipitación con el mercurio dentro del dissipador de vapores
- Colocar de 20ml a 40ml de ácido nítrico en el recipiente con mercurio
- Agitar el recipiente y homogenizar con la varilla de agitación cuidadosamente hasta que el vapor se disipe.
- Colocar 500ml de agua destilada en la solución.

El ácido nítrico no es capaz de disolver el mercurio. Aunque en concentraciones muy altas el ácido nítrico forma una solución salina con el mercurio, esto no se considera una disolución ya que el mercurio permanece como un sólido disuelto en la mezcla. Si se desea disolver el mercurio, se debe usar ácido sulfúrico concentrado

8.1.8 Descontaminación de mercurio en el agua con biochar

La descontaminación del mercurio en el agua se generará con un método cualitativo donde la cual se realizará un número necesario de tratamientos de filtración con diferentes pesos de biochar en las 3 muestras de biochar.

8.1.8.1 Método de filtración

El método de filtración consistirá en filtrar 80 ml de la solución contaminada con el mercurio dentro de la cual se generará por un filtro que contendrá el biochar con 5 pesos diferentes y por un sistema de dos filtros que contengan los 5 pesos iguales a la primera filtración.

8.1.8.1.1 Materiales

Los materiales para el proceso de descontaminación del mercurio se detallan en la Tabla 14.

Tabla 4. Materiales para el método de filtración

MATERIALES	CANTIDAD
Vasos de precipitación de 600ml	1

Vasos de precipitación de 100ml	5
100ml de HCl	1
Paquete de Papel filtro	10
Balanza electrónica	1
Gotero	3
1 litro de agua destilada	1
Embudo de vidrio	3
Soporte universal	1
Matraz de 250ml	3
Linterna	1
Tubos de ensayo de 10ml	25
Gradilla	1
Litro de agua destilada	1

Fuente: (Javier Molina).

8.1.8.1.2 Medidas de seguridad

Es fundamental el uso de equipo de protección (tabla 12) en todo momento ya que para el procedimiento de descontaminación se trabajará con mercurio y HCl. La cual, es riesgoso para la integridad física en una incorrecta manipulación.

8.1.8.1.3 Procedimiento

Al tener todos los materiales se procede a dividir en dos fases den la que la fase uno se trabajará con un filtro y al contrario de la fase dos que será con un sistema de filtración con dos filtros.

Fase uno

1. Colocar 2ml de la solución contaminada en el tubo de ensayo, posteriormente colocar 4 gotas de HCl concentrado tapar y dejar reposar en la gradilla. Para la utilización de concentración inicial y poder comparar con las demás muestras obtenidas.
2. Colocar 80ml de la solución contaminada con el mercurio en el vaso de precipitación de 100ml
3. En un matraz colocar un embudo de vidrio con un papel filtro
4. Pesar 0.5g de biochar y colocarlo en el embudo
5. Filtrar los 80 ml de la solución contaminada una vez filtrada con la ayuda de un gotero extraer dos ml de la solución filtrada y colocar en un tubo de ensayo, volver a filtrar un total de 5 veces tomando 5 muestras en tubos de ensayo.
6. Colocar las 5 muestras obtenidas de las 5 filtraciones en tubos de ensayo con un gotero de vidrio colocar 4 gotas de HCl concentrado, tapar el tubo de ensayo y homogenizar.
7. Al colocar el HCl concentrado en las muestras al presentar presencia de mercurio se tomarán de color blanquecino con un aspecto turbulento y al no poseer mercurio el agua se encontrará en estado trasparente sin presencia de partículas.
8. Con la ayuda de una linterna apuntar a los tubos de ensayo y mediante una observación directa comparar las distintas muestras con la muestra inicial.
9. Lavar adecuadamente con abundante agua destilada los materiales utilizados y repetir el procedimiento con 1g, 2g, 4g, y 8g con las diferentes muestras de biochar (300°C, 350°C y 400°C).

Fase 2

1. Colocar 2ml de la solución contaminada en el tubo de ensayo, posteriormente colocar 4 gotas de HCl concentrado tapar y dejar reposar en la gradilla. Para la utilización de concentración inicial y poder comparar con las demás muestras obtenidas.
2. Colocar 80ml de la solución contaminada con el mercurio en el vaso de precipitación de 100ml.

3. Armar el soporte universal y colocar un embudo con papel filtro.
4. En un matraz colocar un embudo de vidrio con un papel filtro y colocarlo debajo del embudo colocado en el soporte universal de tal manera creando un sistema de doble filtración.
5. Pesar 0.5g de biochar y colocarlo en el embudo.
6. Pesar 0.5g de biochar y colocar en el embudo del soporte universal.
7. Filtrar los 80 ml de la solución contaminada una vez filtrada con la ayuda de un gotero extraer dos ml de la solución filtrada y colocar en un tubo de ensayo, volver a filtrar un total de 5 veces tomando 5 muestras en tubos de ensayo.
8. Colocar las 5 muestras obtenidas de las 5 filtraciones en tubos de ensayo con un gotero de vidrio colocar 4 gotas de HCl concentrado, tapar el tubo de ensayo y homogenizar.
9. Al colocar el HCl concentrado en las muestras al presentar presencia de mercurio se tomarán de color blanquecino con un aspecto turbulento y al no poseer mercurio el agua se encontrará en estado trasparente sin presencia de partículas.
10. Con la ayuda de una linterna apuntar a los tubos de ensayo y mediante una observación directa comparar las distintas muestras con la muestra inicial.
11. Lavar adecuadamente con abundante agua destilada los materiales utilizados y repetir el procedimiento con 1g, 2g, 4g, y 8g con las diferentes muestras de biochar (300°C, 350°C y 400°C).

8.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se implementó un ensayo factorial representada en.

- **F1=** Materia orgánica
- **F2=** Temperatura
- **F3=** Peso del biochar

- **F4=** Tipo de filtración

Dentro de cada factor se obtuvo diferentes variables

- **F1=** 1
- **F2=**3
- **F3=**5
- **F4=** 10

Con las interacciones de factores en un diseño de bloques al azar con 5 réplicas se obtiene un valor total de 750 datos

Tabla 5. Factores para el tratamiento de descontaminación del mercurio en el agua

Factores	Variables	# variables	Numero de repeticiones	Total, de tratamientos
f1 (materiales)	Residuos de mercado	1		
f2 (temperatura)	300° 350° 400°	3		
f3 (Peso)	0,5 1 2 4 8	5		
f4 (filtraciones)	Fi.1 x 1 Fi.1 x 2 Fi.1 x 3 Fi.1 x 4 Fi.1 x 5 Fi.2 X 1 Fi.2 X 2 Fi.2 X 3 Fi.2 X 4 Fi.2 X 5	10	5	fi x f2 x f3 x f4 x No de R
Total		19	5	750

Fuente: (Javier Molina).

Al tener un total de 250 tratamientos y 5 repeticiones de cada uno obteniendo 750 datos en total en donde, al resultado se le asignara una categoría como se observa en la tabla 16.

Tabla 6. Asignación de valores a las categorías de los resultados

Número total de datos	Categorías	Valor asignado
750	Si	2
	No	1

Fuente: (*Javier Molina*).

8.2.1 Tablas de Frecuencia

Dentro de la aplicación de las tablas de variables se interpretará con la ayuda del programa Excel y Infostat con el análisis de los resultados obtenidos con la interacción de los factores de temperatura, peso utilizado del biochar, el tipo de filtración y el número de repeticiones, calculando la frecuencia absoluta, frecuencia absoluta acumulada, frecuencia relativa, frecuencia relativa acumulada, frecuencia porcentual y la frecuencia porcentual acumulada como se observa en la tabla 17.

Tabla 7. Matriz de tablas de frecuencia

Valores que toma la variable	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual acumulada
1						
2						
Total						

Fuente: (*Javier Molina*).

8.2.2 Interpretación Tablas de Frecuencia

Al tener los resultados de los valores de cada uno de los tratamientos analizados y tener un valor de la frecuencia porcentual de la categoría si, se rechaza la hipótesis nula y se

acepta la hipótesis relativa, ya que si existe eliminación del mercurio en el agua con la aplicación de biochar a través de los métodos de filtración.

8.2.3 Determinación del mejor tratamiento

Para la determinación del tratamiento más eficaz se realizará una comparación de la frecuencia porcentual del promedio de las repeticiones de cada uno de los tratamientos, al tener una diferencia significativa se tomará el valor más alto obtenido.

9 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

9.1 Obtención de biomasa

9.1.1 Identificación de biomasa

Dentro de la recolección de muestras en el mercado mayorista de la ciudad de Latacunga se identificó residuos de plátano, papa, mandarina, mango y naranja ya que, estos residuos se encontraban en mayor cantidad dentro de los puntos de muestreo.

9.1.2 Recolección de Biomasa

Se obtuvo un total de 18.51 kilogramos de residuos orgánicos dentro del Mercado Mayorista de la ciudad de Latacunga como se observa en la figura (2).

Figura 2. Residuos orgánicos

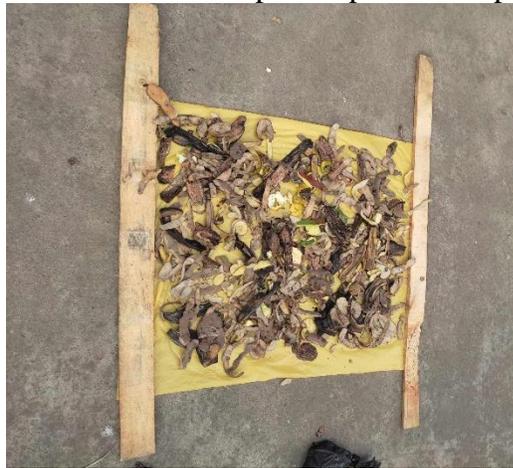


Fuente. *Javier Molina*

9.1.3 Caracterización y clasificación de biomasa

Al aplicar el método de cuarteo arrojó que el 22,40% de residuos pertenecía al platano, 19,23% al de la papa, 17,3% al mango el 13,63% de mandarina, 14,12% de naranja y 13,32% de otros. La biomasa obtenida dentro del Mercado Mayorista de la ciudad de Latacunga para la elaboración del biochar está conformada por 2000g de cascaras de plátano, 2000g de cascaras de papa, 2000g de cascaras de mango, 2000g de cascaras de naranja. Formando de un total de 8000g de biomasa inicial como se observa en la fig. (3).

Figura 3. Biomasa seleccionada para el proceso de pirolisis



Fuente. *Javier Molina*

9.1.4 Secado de biomasa

Al iniciar un secado de biomasa de forma natural se empezó con 8000g al pasar los 20 días el resultado final fue de 1983g perdiendo un porcentaje de masa de 75, 21 dentro de la cual pertenece a la humedad de la biomasa. Teniendo una humedad de 24,79% está siendo adecuada para el proceso de pirolisis. Una vez secado se preservó la muestra a temperatura ambiente y se lo llevó al proceso de elaboración de biochar.

9.1.5 Metodología establecida para la elaboración de biochar a base de residuos orgánicos.

En base a los resultados obtenidos la metodología eficaz para la elaboración de biochar consiste en.

9.1.5.1 Recolección y acondicionamiento de la biomasa

Este proceso tendrá tres etapas en donde consistirá en:

- Recolección de material orgánico
- Caracterización de la composición de la biomasa
- Secado natural y preservación

9.1.5.1.1 Recolección de material orgánico

Para la obtención de muestras se debe tomar en cuenta las medidas de seguridad ya que, se estará en contacto con residuos y desechos orgánicos en donde se debe portar el correcto equipo de seguridad que consiste en:

Tabla 18. Equipo de seguridad para la toma de muestra

EQUIPO DE PROTECCIÓN	CANTIDAD
Guantes protectores	1
Mascarilla	1
Zapatos de caña alta	1

- **Fuente:** (*Javier Molina*).

La recolección del material orgánico se realizará en los lugares que tengan presencia de verduras, vegetales frutas, tubérculos. Los residuos como son las cascara y sobras de materia orgánica, recolectar en una funda de basura con su adecuado etiquetado.

9.1.5.1.2 Caracterización de la composición de la biomasa

Se debe generar una distribución uniforme del material, analizar la composición presente de la biomasa, es decir si está compuesto de cascara de frutas verduras o tubérculos,

etc. Generar una composición con el mismo peso de cada uno de los componentes así obtener el mismo porcentaje de composición.

9.1.5.1.3 Secado natural

El secado natural se lo realiza al ambiente sobre una superficie plana y limpia y requiere de un tiempo de 20 días en donde se lo dejara al sol extendido en plásticos de 2m x 2m bien distribuidos en lugares sin humedad y evitar su putrefacción.

Pesar la biomasa constantemente pasando 3 días al tener el pesaje realizar un análisis estadístico promedio de cuanto peso al inicio y al final del pesaje de tal manera calcular porcentaje de humedad se perdió en su transcurso y el porcentaje de humedad con la siguiente formula.

$$HUMEDAD = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso original}} \times 100$$

9.1.5.1.3.1 Preservación de biomasa

Colocar la biomasa dentro de un recipiente plástico sellado a temperaturas normales (15°C a 20°C) y se debe dejar reposar la muestra de biomasa obtenida después del proceso de secado.

9.1.5.1.4 Producción de biochar

Al tener definida y caracterizada la biomasa se debe generar el proceso de pirolisis para sintetizar el biochar.

9.1.5.1.4 Pirolisis

Para la aplicación de la pirolisis es fundamental tomar en cuenta las correctas medidas de seguridad, los materiales para el proceso y el correcto procedimiento en donde:

8.1.4.1.1 Medidas de seguridad

Al trabajar con temperaturas elevadas se debe tomar en cuenta las medidas de seguridad para la protección de calor. En donde, se debe utilizar las pinzas para la manipulación de crisoles y el guante térmico para evitar quemaduras.

8.1.4.1.2 Materiales

Los materiales necesarios para la producción de biochar se muestran en la tabla (19).

Tabla 19. Materiales para elaborar el biochar

MATERIALES	CANTIDAD
Mufla	1
Crisoles de 100 g	3
Balanza electrónica	1
Rollo de papel aluminio	1
Paquete de bolsas ziploc	1
1000g de biomasa	1
Envase hermético	1

Fuente: (*Javier Molina*).

8.1.4.1.3 Procedimiento

Al tener la biomasa seca por los dos métodos anteriormente mencionados se procede

a:

- Moler la biomasa hasta tener un tamaño menor a 0.5cm
- Pesar los crisoles vacíos
- Llenar los crisoles con la biomasa y pesarlos llenos.
- Sellar los crisoles y envolver con papel aluminio, cubrirlo totalmente con dos capas de papel aluminio.

- Calentar y calibrar la mufla a 400°C
- Colocar con una pinza y un guante de cuero las muestras dentro de la mufla
- Una vez pasado media hora apagar la mufla y dejar reposar los crisoles por 24 horas
- Desenvolver el crisol del papel aluminio y pesar la muestra, y colocar en las bolsas ziploc y sellar con su adecuado etiquetado.
- Colocar en un embace hermético para su preservación
- Repetir el procedimiento con diferentes temperaturas (300°C y 350°C)

Para calcular el rendimiento de la carbonización se debe tomar en cuenta la siguiente formula:

$$\text{Rendimiento de la carbonización} = \frac{\text{masa de biocarbon obtenido}}{\text{masa inicial de la biomasa}} * 100$$

Una vez obtenido el biochar es fundamental colocarlo dentro de bolsas ziploc con su correcto etiquetado, envolverlo con papel aluminio y colocar en un envase hermético y reposar en un lugar con temperatura ambiente.

9.2 Elaboración de los biochar

Se obtiene tres tipos de biochar a diferente temperatura como se observa en la fig. (4).

Figura 4. Muestras de biochar a diferente temperatura



Fuente. Javier Molina

Al pesar 20 veces los crisoles con la muestra de biomasa, se toma en cuenta un promedio de llenado de 43.3 g de biomasa.

Al colocar la biomasa a 400°C por un periodo de tiempo de 30 minutos conteniendo 43.3 gramos por crisol y obteniendo 37.62, al calcular el rendimiento de carbonización de la biomasa da como resultado.

$$\text{Rendimiento de la carbonización a } 400^{\circ}\text{C} = \frac{37.62}{43.3} * 100 = 86.88$$

Al colocar la biomasa a 350°C por un periodo de tiempo de 30 minutos conteniendo 43.3 gramos por crisol y obteniendo 38.712, al calcular el rendimiento de carbonización de la biomasa da como resultado.

$$\text{Rendimiento de la carbonización a } 350^{\circ}\text{C} = \frac{38.712}{43.3} * 100 = 89.4$$

Al colocar la biomasa a 300°C por un periodo de tiempo de 30 minutos conteniendo 43.3 gramos por crisol y obteniendo 41.031, al calcular el rendimiento de carbonización de la biomasa da como resultado.

$$\text{Rendimiento de la carbonización a } 300^{\circ}\text{C} = \frac{41.031}{43.3} * 100 = 94.75$$

9.2.1 Análisis y comparación del rendimiento de carbonización a diferente temperatura

Tabla 20. Rendimiento de carbonización a diferentes temperaturas

TEMPERATURA (°C)	RENDIMIENTO
400	86.88
350	89.4
300	94.75

Fuente: (*Javier Molina*).

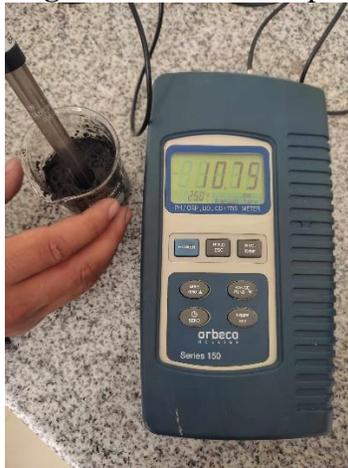
A una temperatura de 400°C el rendimiento de carbonización es menor que a las temperaturas de 300°C Y 350°C esto es debido a que los productos volátiles producidos durante la pirolisis suben de presión y evaporan a temperaturas más altas. Esta evaporación significa que la materia orgánica así obtenida se descompone en productos volátiles mucho más rápido que cuando se produce a temperaturas más bajas. Esto conduce a una disminución en la cantidad de materia orgánica que finalmente se convierte en biochar, reduciendo el rendimiento de carbonización.

9.2.2 Características del biochar

9.2.2.1 pH

La determinación del biochar al realizarse con el multiparámetro como se observa en la fig. (6).

Figura 5. Medicion de pH



Fuente. *Javier Molina*

En la primera muestra de biochar a 400°C se obtuvo un promedio en el pH de 11.92.

En la segunda muestra de biochar a 350°C se obtuvo un promedio en el pH de 10.383.

Al En la tercera muestra de biochar a 350°C se obtuvo un promedio en el pH de 9.11

9.2.2.2 Alcalinidad

Al generar la comprobación y el análisis de la alcalinidad del biochar con las diferentes muestras mediante el método de titulación como se muestra en la fig. (7).

Figura 6. Determinación de alcalinidad



Fuente. *Javier Molina*

En la muestra de alcalinidad de la primera muestra de 300°C da como resultado un porcentaje promedio de alcalinidad de 30.14

En la muestra de alcalinidad de la primera muestra de 350°C da como resultado un porcentaje promedio de alcalinidad de 48,32

En la muestra de alcalinidad de la primera muestra de 400°C da como resultado un porcentaje promedio de alcalinidad de 70.28.

9.2.2.3 Densidad Aparente

La densidad real de las muestras de biochar a diferente temperatura da como resultado:

- **Densidad aparente A 400°C = 235.29 kg/m³**
- **Densidad aparente A 350°C = 266.66 kg/m³**
- **Densidad aparente A 300°C = 285.33 kg/m³**

Debido a que La densidad aparente del biochar disminuye con la temperatura, ya que el calor causa que el biochar se expanda y se vuelva menos denso. Esto generalmente se produce cuando se aplica calor o combustibles a las partículas de material orgánico cocido, ya que el calor da origen a la expansión de los gases producidos durante la combustión.

9.2.2.4 Densidad real

Con el método del picnómetro como se muestra en la figura. (8), se logra determinar los cálculos:

Figura 7. Método del picnómetro



Fuente. Javier Molina

Dentro de los cálculos en cada muestra de biochar con diferente temperatura da como resultado:

- **Densidad real A 400°C = 70.42 kg/m³**
- **Densidad real A 350°C = 67.567 kg/m³**
- **Densidad real A 300°C = 66.114 kg/m³**

La densidad del biochar aumenta con el aumento de la temperatura debido a la contracción de los poros del biochar, lo que resulta en un menor volumen de espacios porosos y una mayor densidad. Además, el aumento de temperatura también puede provocar enlaces covalentes entre los átomos de carbono y nitrógeno en el biochar, lo que aumenta la densidad.

9.2.2.5 Porosidad

La determinación de la porosidad con los datos anteriormente calculados nos da un resultado con el biochar a diferente temperatura de:

- **%de Porosidad A 400°C = 70.074**
- **%de Porosidad A 350°C = 74.66**
- **%de Porosidad A 300°C = 76.82**

La porosidad es menor a 400°C ya que, a medida que la temperatura aumenta, el biochar se vuelve más denso y los poros se contraen o se eliminan por completo. Esto también causa la disminución de la capacidad de absorción de agua, que suele ser uno de los hallazgos más importantes en el uso de los biochar.

9.2.3 Análisis y comparación de características del biochar a diferentes temperaturas

Tabla 21. Características del biochar a diferente temperatura

Temperatura (°C)	CARACTERISTICAS			
	pH	Densidad aparente (kg/m^3)	Densidad real kg/m^3	Porosidad %
400	11.92	235.29	70.42	70.074
350	10.383	266.66	67.567	74.66
300	9.11	285.33	66.114	76.82

Fuente: (*Javier Molina*).

El biochar elaborado a una pirolisis con 400°de temperatura adopta mejores características presentes generando una comparación entre el biochar contenido a 300°C, 350°C y 400°C se puede constatar que las características de densidad aparente, densidad real son directamente proporcional es decir si aumenta la temperatura su valor aumentara, al contrario de la porosidad y pH, que es inversamente proporcional.

9.3 Descontaminación de Mercurio

Al determinar la descontaminación del mercurio mediante el tratamiento se comparó la muestra madre con las muestras obtenidas después de la aplicación del tratamiento como se muestra en la figura 9.

Figura 8. Comparación de muestras descontaminada con muestra madre



Fuente. *Javier Molina*

9.3.1 Análisis de resultados

Tabla 22. Ejemplo de tabla de interacciones de factores

TEMPERATURA	PESO	TIPO DE FILTRACIÓN	REPETICIONES	RESULTADO
300	0,5	Fi.1 x 1	1	1
300	1	Fi.1 x 2	1	1
300	2	Fi.1 x 3	1	1
300	4	Fi.1 x 4	1	1
300	8	Fi.1 x 5	1	1
350	0,5	Fi.1 x 1	1	1
350	1	Fi.1 x 2	1	1
350	2	Fi.1 x 3	1	1
350	4	Fi.1 x 4	1	1
350	8	Fi.1 x 5	1	1
400	0,5	Fi.1 x 1	1	1

400	1	Fi.1 x 2	1	1
400	2	Fi.1 x 3	1	1
400	4	Fi.1 x 4	1	2
400	8	Fi.1 x 5	1	2
400	0,5	Fi.2x 1	1	1

Fuente. *Javier Molina*

El analizar los 750 valores de los resultados en el análisis de todos los factores y el número de repeticiones tenemos una tabla de frecuencia como se observa en la tabla 23.

Tabla 23. Resultados de la tabla de frecuencia general

Valores que toma la variable	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual acumulada
1	458	458	0,6107	0,611	61%	61%
2	292	750	0,3893	1	39%	100%
Total	750		1		100%	

Fuente: *(Javier Molina).*

Al tener valores cualitativos como resultado en un rango de 1 y 2 siendo uno que no funciona el tratamiento y dos siendo la eliminación total de mercurio en el agua, se obtiene una frecuencia porcentual del 39% es decir que de 750 de valores obtenidos 292 son resultados positivos en la eliminación del mercurio, teniendo influencia directa el peso, la temperatura, y el tipo de filtración en el resultado final.

Al realizar la tabla de frecuencia para la determinación de los tratamientos analizando con el biochar con diferente temperatura se obtiene con 300°C un resultado como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Resultados de la tabla de frecuencia a 300°C

Valores que toma la variable	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual acumulada
1	226	226	0,904	0,904	90%	90%
2	24	250	0,096	1	10%	100%
TOTAL	250		1		100%	

Fuente: *(Javier Molina).*

Al aplicar la tabla de frecuencia entre las interacciones de los factores de peso utilizado para el proceso, el tipo de filtración aplicado y el número de repeticiones con el biochar obtenido a 300°C se obtuvo un total de 250 datos en donde se obtiene una frecuencia porcentual del 10% en un resultado positivo en la eliminación del mercurio en el agua, es decir de 250 datos aplicados solo se registró 24 resultados positivos de la eliminación del mercurio.

Al realizar la tabla de frecuencia para la determinación de los tratamientos analizando con el biochar con diferente temperatura se obtiene con 350°C un resultado como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25. Resultados de la tabla de frecuencia a 350°C

Valores que toma la variable	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual acumulada
1	180	180	0,72	0,72	72%	72%
2	70	250	0,28	1	28%	1%
Total	250		1		100%	

Fuente: (Javier Molina).

Al aplicar la tabla de frecuencia entre las interacciones de los factores de peso utilizado para el proceso, el tipo de filtración aplicado y el número de repeticiones con el biochar obtenido a 350°C, se obtuvo un total de 250 datos en donde se obtiene una frecuencia porcentual del 28% en un resultado positivo en la eliminación del mercurio en el agua, es decir de 250 datos aplicados solo se registró 70 resultados positivos de la eliminación del mercurio.

Al realizar la tabla de frecuencia para la determinación de los tratamientos analizando con el biochar con diferente temperatura se obtiene con 300°C un resultado como se muestra en la tabla 26.

Tabla 26. Resultados de la tabla de frecuencia a 400°C

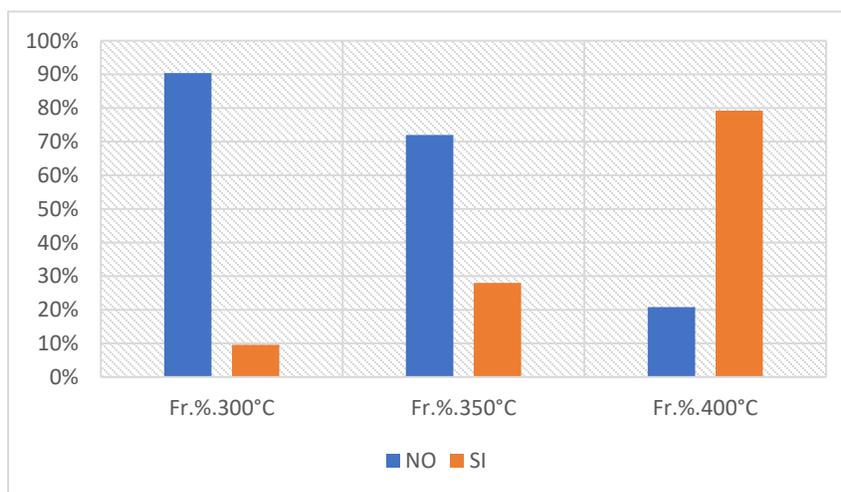
Valores que toma la variable	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual acumulada
------------------------------	---------------------	-------------------------------	---------------------	-------------------------------	-----------------------	---------------------------------

1	52	52	0,208	0,208	21%	20%
2	198	250	0,792	1	79%	100%
Total	250		1		100%	

Fuente: (Javier Molina).

Al aplicar la tabla de frecuencia entre las interacciones de los factores de peso utilizado para el proceso, el tipo de filtración aplicado y el número de repeticiones con el biochar obtenido a 400°C, se obtuvo un total de 250 datos en donde se obtiene una frecuencia porcentual del 79% en un resultado positivo en la eliminación del mercurio en el agua, es decir de 250 datos aplicados solo se registró 198 resultados positivos de la eliminación del mercurio.

Figura 9. Frecuencia porcentual entre las temperaturas 300°C, 350°y 400°C.



Fuente: (Javier Molina).

Al Comparas los resultados de las Frecuencias porcentuales entre los factores de la temperatura de 300°C, 350°C y 400°C. El factor que mayor influencia tiene en los resultados positivos dentro de la aplicación de los diferentes tratamientos, es el biochar elaborado a 400°C ya que, su frecuencia porcentual en los valores positivos es de 72% siendo significativamente superior a los obtenidos a 300°C y 350°C.

Las interacciones de los factores de peso utilizado para el proceso, el tipo de filtración aplicado y el promedio de las 5 repeticiones con el biochar obtenido a 300°C, 350°C y 400°C se obtiene resultados como se muestran en las tablas 26, 27 y 28.

Tabla 27. Resultados de la tabla de frecuencia con la mediana de las repeticiones a 300°C

Valores que toma la variable	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual acumulada
1	45	45	0,9	0,9	90%	90%
2	5	50	0,1	1	10%	100%
Total	50		1		100%	

Fuente: (Javier Molina).

Tabla 28. Resultados de la tabla de frecuencia con la mediana de las repeticiones a 350°C

Valores que toma la variable	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual acumulada
1	33	33	0,66	0,66	66%	66%
2	17	50	0,34	1	34%	100%
Total	50		1		100%	

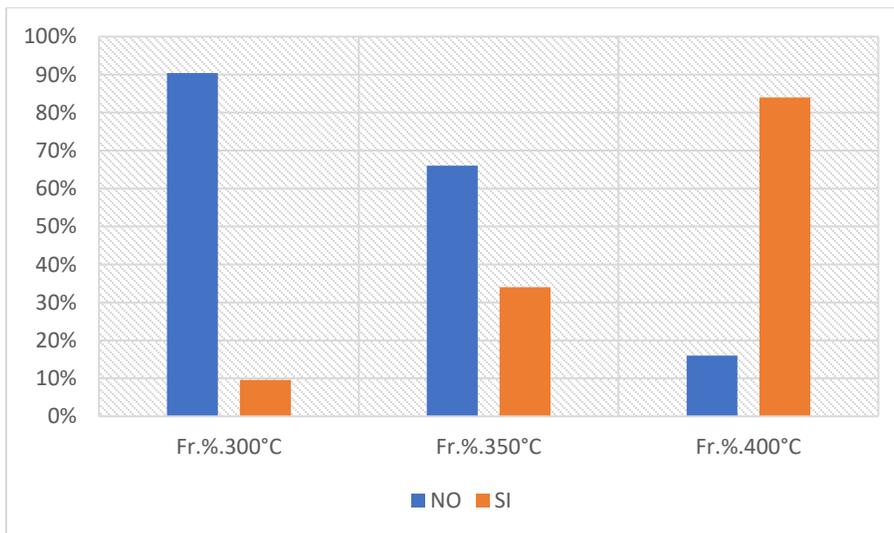
Fuente: (Javier Molina).

Tabla 29. Resultados de la tabla de frecuencia con la mediana de las repeticiones a 400°C

Valores que toma la variable	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual acumulada
1	8	8	0,16	0,16	16%	16%
2	42	50	0,84	1	84%	100%
Total	50		1		100%	

Fuente: (Javier Molina).

Figura 10. Frecuencia porcentual entre las temperaturas con la mediana de las repeticiones.



Fuente: (Javier Molina).

Al realizar una comparación entre las frecuencias porcentuales con la mediana de las repeticiones, los tratamientos aplicados tuvieron mejor reacción con el biochar elaborado con 400°C ya que se obtuvo un valor de 84% en los valores positivos en la eliminación del mercurio en el agua, es decir de 50 valores 42 valores resultaron positivos, al contrario se rechaza los biochar elaborados a 300°C y 350°C ya que los valores de frecuencia porcentual en valores negativos es mayor a la frecuencia porcentual de valores positivos.

Al realizar la filtración con un solo filtro como se muestra en la figura 11. Se obtiene resultados en la tabla de frecuencia en la tabla 29.

Figura 11. Proceso de filtración con un filtro.



Fuente: (Javier Molina).

Tabla 30. Resultados de la tabla de frecuencia con 400° y una filtración.

Valores que toma la variable	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual acumulada
1	10	10	0,4	0,4	40%	40%
2	15	25	0,6	1	60%	100%
Total	25		1		100%	

Fuente: (Javier Molina).

Al realizar la filtración con un sistema de dos filtros como se muestra en la figura 11. Se obtiene resultados en la tabla de frecuencia en la tabla 30.

Figura 12. Proceso de filtración con un sistema de dos filtros.

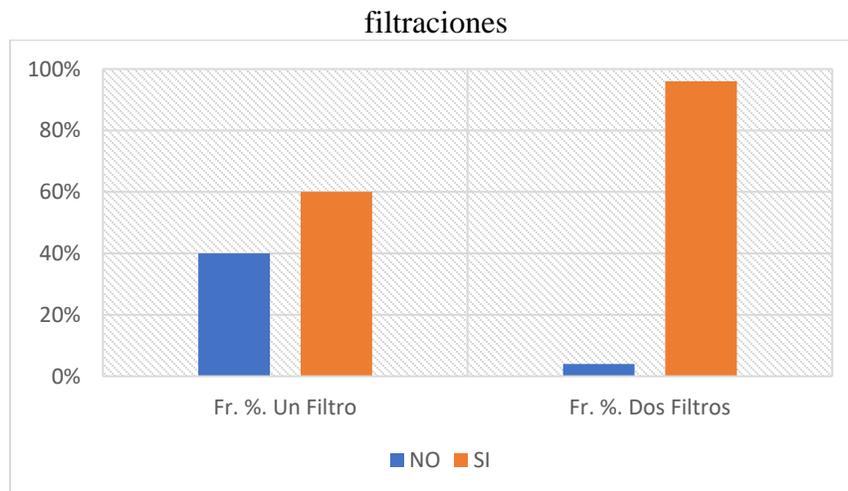
Fuente: (Javier Molina).

Tabla 31. Resultados de la tabla de frecuencia con 400° y sistema de filtración

Valores que toma la variable	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual acumulada
1	1	1	0,04	0,04	4%	4%
2	24	25	0,96	1	96%	100%
Total	25		1		100%	

Fuente: (Javier Molina).

Figura 13. Frecuencia porcentual entre la temperatura de 400° y los dos tipos de



Fuente: (Javier Molina).

Al realizar la comparación de la frecuencia porcentual entre los dos tratamientos de filtración con un filtro y filtración con doble filtro, se logra determinar que la influencia en la eliminación del mercurio es de suma eficiencia, el filtrado con el sistema de filtración conformado con dos filtros, obteniendo un porcentaje del 96% ya que del análisis de los 25 datos expuestos 24 son positivos en la eliminación del contaminante, dando así el único valor negativo en la doble filtración con 0,5g de biochar.

9.3.1.1 Mejor Tratamiento

El biochar conformado con cascaras de plátano, papa, naranja y mango (residuos sólidos orgánicos del mercado mayorista) elaborado con una temperatura de 400°C y un periodo de tiempo de 30 minutos, presenta mejores características de pH y porosidad teniendo una mejor absorción de Mercurio. Al Aplicar un método de filtración con un sistema de filtrado conformado con dos filtros, Por cada 1 gramo de biochar elimina 80ml de agua contaminada. Este tratamiento es efectivo ya que elimina la presencia del mercurio en el agua cumpliendo los parámetros permisibles del mercurio de la tabla 1, 2 y 3 del ACUERDO MINISTERIAL 097-A, ANEXOS DE NORMATIVA, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE.

9.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Es evidente que la temperatura de carbonización tiene un impacto significativo en las propiedades físicas y químicas del biochar. Se observa una tendencia hacia un mayor

rendimiento de carbonización a temperaturas más bajas (350°C y 300°C) en comparación con la producción a 400°C. Esto sugiere que, a temperaturas más altas, podría haber una mayor pérdida de materia orgánica en forma de CO₂ y otros compuestos volátiles, lo que podría resultar en una menor cantidad de biochar final. Sin embargo, también se observa una tendencia a una mayor densidad aparente a temperaturas más bajas, lo que podría estar relacionado con una mayor conservación de la estructura porosa y la retención de carbono.

La diferencia en las propiedades del biochar producido a diferentes temperaturas es interesante. Se observa que el biochar producido a 400°C tiene un pH más alcalino, lo que podría influir en su capacidad para adsorber contaminantes, como el mercurio. Además, la porosidad también varía, con el biochar producido a 300°C presentando la mayor porosidad, lo que podría mejorar su capacidad de adsorción.

La comparación de la eficiencia de eliminación de mercurio entre el filtrado con un solo filtro y el filtrado con doble filtro es un aspecto crítico del estudio. La obtención de un 96% de eliminación de mercurio con el sistema de doble filtración es impresionante y respalda la efectividad del método propuesto. La consistencia en los resultados positivos en la eliminación del contaminante con la doble filtración demuestra la confiabilidad del proceso. La aplicación del biochar producido a 400°C en un sistema de filtración demuestra su utilidad práctica en la eliminación de mercurio en agua contaminada. La relación entre la cantidad de biochar y la cantidad de agua contaminada que puede tratar es un dato valioso para la implementación a escala. Además, el cumplimiento con las normativas ambientales, en este caso, el ACUERDO MINISTERIAL 097-A, muestra la viabilidad y relevancia de este método para abordar problemas de contaminación.

Sería interesante explorar aún más las propiedades del biochar producido a diferentes temperaturas y sus aplicaciones en la eliminación de otros contaminantes. Además, se podría considerar la optimización del proceso de producción y filtración para mejorar aún más la eficiencia y reducir los posibles impactos negativos.

10 IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

10.1 Impacto técnico

La creación de biochar para la remediación de agua contaminada con mercurio ha creado un impacto tecnológico considerable. Esta práctica de remediación de agua da como resultado un producto sostenible capaz de absorber completamente el compuesto problemático sin liberar residuos nocivos en el proceso. Esta técnica es más efectiva para reducir y eliminar los altos niveles de mercurio contenidos en el agua que muchas otras prácticas de remediación y puede ser una solución segura, eficiente y rentable para la limpieza de aguas mercuriales contaminadas. Esta tecnología ha ayudado a reducir la carga de mercurio en los cursos de agua, lo que garantiza un medio ambiente más saludable para la fauna silvestre, los humanos y la ecología local. Esta práctica también ha permitido aumentar la calidad de los recursos hídricos, lo que contribuye directamente a la sostenibilidad ambiental.

10.2 Impactos sociales

La elaboración de biochar a partir de residuos orgánicos para la remediación de agua contaminada por mercurio genera impactos sociales positivos dentro de las cuales destacan.

1. Al disminuir la contaminación de mercurio se mejora la calidad de vida de las personas, disminuyendo el riesgo de enfermedades relacionadas con la exposición al mercurio
2. Aporte de conocimiento sobre las causas, consecuencias y efectos de la contaminación de mercurio producida en el agua,
3. Aumentar la Concientización y conocimiento ambiental de las personas sobre la correcta utilización de material orgánico.

10.3 Impacto ambiental

La elaboración de biochar a partir de material orgánico sólido del mercado tiene el potencial de convertirse en una solución sostenible para la recuperación de aguas contaminadas con mercurio. Esta forma de tratamiento biológico puede reducir los niveles

de mercurio en el agua de forma eficaz y conservar la calidad de las aguas contaminadas y disminuir el impacto de la contaminación por mercurio en los ecosistemas. Esto contribuye al cuidado del medioambiente y a la reducción de la deposición de desechos.

El impacto ambiental además de mejorar la calidad de agua genera una disminución de los requisitos de energía. a para el tratamiento, lo que contribuye a la reducción de emisiones de CO₂.

10.4 Impacto económico

Los impactos económicos de la elaboración de biochar son significativos ya que:

La reducción de costos de tratamiento de aguas residuales y de recuperación de aguas contaminadas con mercurio. Esto se debe a que el biochar es una alternativa menos costosa a los procesos químicos convencionales de tratamiento, permitiendo ahorrar mucho dinero a los usuarios de los servicios de agua y aguas residuales. Esto a su vez tiene el potencial de desencadenar una mayor demanda de producción de biochar, aumentando la producción y suministro a un precio asequible.

El biochar también puede generar ingresos al ser vendido como combustible para los procesos industriales. Esto aumentaría la demanda y separará el precio a lo largo de la cadena de suministro, beneficiando a los productores de biochar.

La mayor demanda de producción de biochar podría permitir el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos de producción asequibles con el potencial de ganar aún más dinero al producir biochar a un precio inferior al mercado.

Finalmente, el uso de biochar para la recuperación de aguas contaminadas también tiene el potencial de generar nuevos empleos directos e indirectos como resultado de la mayor demanda de producción, comercialización y entrega de biochar. Los empleos podrían incluir la producción de materias primas, la fabricación de equipos de procesamiento y los servicios de suministro de biochar. Esto aumentaría el ingreso en áreas donde el biochar se produce, mejorando la economía local.

11 PRESUPUESTO

Tabla 32. Presupuesto para la elaboración del proyecto.

RECURSOS	DESCRPCIÓN	UNIDADES	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
HUMANO	Investigador		0	0
	Tutor		0	0
TECNOLÓGICO	Programa Excel	1	15	15
	Internet	4	19,50	78,00
CAMPO	Fundas de basura	3	0,25	0,75
	Rotulador	2	1,25	2,50
	Guantes	1	3,50	3,50
	Mascarilla	7	0,25	1,75
	Chaleco reflectante	1	5	5
LABORATORIO	tubo de ensayo	50	0,25	12,5
	Papel filtro	30	1,5	45
	Rollo de papel aluminio	5	2,5	12,5
	Mandil	1	10	10
	Paquete de bolsas ziploc	2	5	10
	Marcadores	3	0,9	2,7
	Recipiente hermético	1	5	5

	Litro de Agua destilada	30	2,10	68
	Mercurio ml	5	1,70	8,50
	HCl a 0.1 N	1	26,60	26,60
	Fenolftaleína	1	8	8
	Crisoles de 100g	6	7	42
	Papel de cocina	2	5,10	10,20
	Cloro	4	0,60	2,4
	Guantes quirúrgicos	3	3,10	9,30
	Mascarilla	10	0,25	2,5
OTROS	Impresiones	320	0.15	48
	Anillados	5	5	25
	Empastado	1	15	15
	Transporte	0.60	8	4,8
SUBTOTAL		\$	474,5	
10 % DE IMPREVISTOS		\$	47,45	
TOTAL		\$	521,95	

Elaborado por: (Javier Molina).

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Conclusiones

- La metodología adecuada para la producción de biochar empieza desde el enfoque para el cual se realizará el biochar es decir determinar la determinación del uso que tendrá el biochar producido, la recolección de biomasa en donde se debe generar previamente un caracterizado de sus componentes físicas, químicas y sus propiedades positivas que aporten a la función destinada del biochar.

Consiguiente su debido tratamiento de secado adecuado de forma natural, o secado forzado mediante la ayuda de una estufa con métodos de gravimetría. Generando cálculos de la humedad de la materia obtenida a través del proceso de secado, almacenarla en un lugar seco y con buena ventilación, ya que los cambios en la humedad y temperatura pueden afectar la calidad y efectividad del biochar que se produzca. Al tener la muestra preservada se debe generar el proceso de pirolisis, tener en cuenta el recipiente en donde se realizará el biochar debe ser de porcelana (crisol) para aguantar la temperatura sometida sin afectar al proceso.

La pirolisis se debe generar a una temperatura en un rango de 300°C a 400°C a un tiempo de 30 minutos ya que, la biomasa con la que se trabajara proviene de residuos frutales y Residuos de tubérculos. Colocar dentro de la mufla a dicha temperatura y tiempo las muestras de biomasa, previamente pesadas en los recipientes y sellarlos herméticamente con la ayuda de papel aluminio mínimo con dos capas de tal manera condicionar el oxígeno presente en el proceso. Una vez transcurrido los 30 min dejar reposar el biochar dentro de la mufla sin abrirla por 24 horas, posteriormente retirar el biochar y almacenarlas en bolsas ziploc cubiertas con papel aluminio y dentro de un recipiente hermético, de tal manera que se evite la humedad y afecte a la calidad del biochar.

- Se Produjo biochar a temperaturas de 300°C, 350°C y 400°C en un periodo de tiempo de 30 minutos con una biomasa inicial de 18000g recolectada del Mercado Mayorista de la ciudad de Latacunga. La biomasa del biochar está conformada de 25% de cascaras de plátano, 25% de cascaras de papa, 25% de cascaras de mango, 25% de

cascaras de naranja. Formando de un total de 8000g de biomasa inicial, después del proceso secado se obtiene 1953g de biomasa seca. El total del biochar producido a 400°C es de 651,02g con un rendimiento de carbonización de 86.8% ya se partió con una biomasa de 651g, posee un pH de 11.92, una densidad aparente de 235.29 kg/m³, densidad real de 70.42 kg/m³ y un porcentaje de porosidad de 70.074. El total del biochar producido a 350°C es de 579.08g con un rendimiento de carbonización de 94.75% ya se partió con una biomasa de 651g, posee un pH de 9.11, una densidad aparente de 266.66 kg/m³, densidad real de 67.567 kg/m³ y un porcentaje de porosidad de 74.66. El total del biochar producido a 300°C es de 613.324g con un rendimiento de carbonización de 89.4% ya se partió con una biomasa de 651g, posee un pH es de 10.383, una densidad aparente de 285.33 kg/m³, densidad real de 67.567 kg/m³ y un porcentaje de porosidad de 76.82. Teniendo un total de 1753.604.

- Al realizar la comparación de la frecuencia porcentual entre los dos tratamientos de filtración con un filtro y filtración con doble filtro, se logra determinar que la influencia en la eliminación del mercurio es de suma eficiencia, el filtrado con el sistema de filtración conformado con dos filtros, obteniendo un porcentaje del 96% ya que del análisis de los 25 datos expuestos 24 son positivos en la eliminación del contaminante, dando así el único valor negativo en la doble filtración con 0,5g de biochar. El biochar conformado con cascaras de plátano, papa, naranja y mango (residuos sólidos orgánicos del mercado mayorista) elaborado con una temperatura de 400°C y un periodo de tiempo de 30 minutos, presenta mejores características de pH y porosidad teniendo una mejor absorción de Mercurio. Al Aplicar un método de filtración con un sistema de filtrado conformado con dos filtros, Por cada 1 gramo de biochar elimina 80ml de agua contaminada. Este tratamiento es efectivo ya que elimina la presencia del mercurio en el agua cumpliendo los parámetros permisibles del mercurio de la tabla 1, 2 y 3 del ACUERDO MINISTERIAL 097-A, ANEXOS DE NORMATIVA, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE.

12.2 Recomendaciones

- Tener las medidas de protección dentro del proceso de laboratorio para evitar accidentes de quemaduras por los ácidos presentes en el proceso
- Estudiar los diversos materiales orgánicos sólidos disponibles en el mercado, considerando su composición química, para determinar aquel que sea adecuado para la producción de Biochar.
- Optimice cada paso del proceso de producción, contando con la correcta superestructura para la realización de los experimentos, así como con los mecanismos de biociencia.
- Asegurar que los productos finales cumplan con los estándares ambientales vigentes, contando con los requerimientos necesarios para su liberación segura al ambiente.

13 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Agallcio, R., Thomas, Y., Spicer, P., Tosquellas, J., Dorigo, U., & Bonnefoy, F. (2016). Selective imaging and storage formation in the Ceira system (Portugal). Akasis International Corporation.
- Ai, X., Wu, X., Guo, J., Huang, X., Peng, Y., Shen, D., & Ying, G. (2019). Removal of heavy metals in contaminated water by biochar produced from oil palm mesocarp fiber: Mechanisms and influencing factors. *Chemosphere*, 217, 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.102>
- Alibabaei, P., Movahed, M., & Soleimani, S. (2018). Water footprint assessment of sugar beet production in Iran. *Journal of Water and Land Development*, 30(31–38), 14. <https://doi.org/10.1515/jwld-2018-0003>
- Aminiyan, T., Almasi-Hashiani, A., Anari, F., Khaksar, S., Kachoui, A., Khabbaz, N., . . . Hajibeigy, A. (2013). Diabetes mellitus y caries dental: relación con el mercurio en escolares. *Journal of Evidence Based Medicine and Healthcare*, 1, 109-117. [doi:10.18410/jebmh/2013/93](https://doi.org/10.18410/jebmh/2013/93)

- Antonopoulou, G., Cerdán, M. E., Flessa, K., Ostrogonac, K., Kafetzopoulos, D., & Montesidou, C. (2016). Production of biochar from different agricultural pomace using a pyrolysis-gasification process and its evaluation as an adsorbent. *Agriculture*, 6(1), 1–13. doi: 10.3390/agriculture6010001
- Arora, M., Misra, V., Gadekar, S., Khanduja, S., Kaur, S., & Saini, S. K. (2020). Biochar: A boon for water treatment. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(6), 4366-4374.
- Atarod, S., Safavi, A. R., Palchareon, W., Cardenas, J. M., Eivazi, M., & Tavakkoli, E. (2020). Physical and chemical characteristics of biochar by various pyrolysis feedstocks. *Journal of Hazardous Materials*, 398, 123422. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123422>
- Avi, B., Khan, M. S., & Alam, M. S. (2018). Physicochemical properties of biochar from different biomass using different pyrolysis temperature. *Journal of Environmental Science and Technology*, 11(5), 287-296.
- Ayoko, G. A. (2013). Modeling and optimization of pyrolysis fast process using response surface methodology. *Energy*, 51, 218–228. doi: 10.1016/j.energy.2012.09.001
- Berry, L. (2013). Metales pesados y salud humana: Una mirada a la toxicología moderna. *Revista de toxicología*, XVII(4), 441-452.
- Bhadoote, G., Salmarom, V., Tredoux, G., Hertzog, R., & Kansal, A. (2019). Biochar and its potential form remediation of contaminated water. *SciPowo*, 9 (3). <https://doi.org/10.1007/s13228-019-00521-4>
- Calvo, P., Vicius, P., Abraham, A., Chumbes, E., Rodas, M., Saap, A. & Flores, C (2021). Análisis de la Contaminación de Agua y su Reverso en Salud Humana en el Cantón de Pueblo Viejo, Provincia de Manabí, Ecuador. *Revista de Investigación*. https://revinvestigacion.utepsa.edu.ec/article/view/228/pdf_125
- Canullán, R., Erazo, F., Palacios, C., Yépez, R., & Glatz, P. (2019). Estudio de descargas de aguas servidas en la cuenca del río Aguarico (Ecuador). *Revista Ambiente y Desarrollo*, 35(2), 27-34.

- Carroll, J. (2002). *La ciencia de la vida*. Londres: Oxford University Press.
- Chernoff, M. (2003). *Negocios sostenibles: Ética, Economía y Ecología del Desarrollo Sostenible*. Dominio de la energía y la industrialización. Springer-Verlag.
- Cherubini, F., Corti, G., Jensen, E. U., & Christensen, T. H. (2011). Biochar effects on nutrient leaching from soil: A review. *Environmental Pollution*, 159(8), 2088–2095. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.04.024>
- Chintala, P., Gopal, A., Singh, K., Yadav, P.K., Patel, M.K., Singh, A.K., & Chauhan, N.P. (2013). Estudio de diagnóstico del abastecimiento de agua con hierro en la zona de drainage de Ujjain, condado de Madhya Pradesh, India. *Estudio de geoquímica*, 46(4), 406-412.
- Cho, H. W., & Massoth, L. (2014). Biochar Production: Thermal Decomposition of Biomass. *Chemical Reviews*, 114(5), 2955–2975. <https://doi.org/10.1021/cr4005108>
- Colakoglu, G., Mishra, A. K., Mishra, G. C., & Singh, B. (2017). The effect of feedstock and production temperature on biochar properties. *Bioresource Technology*, 244, 975–985. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.093>
- Corral-Molina, D., Ríos, A., Díaz, S., & Espinosa, M. (2019). Propuesta para la caracterización de aguas residuales en la comunidad de Ventanas, provincia Los Ríos, Ecuador. *Revista Foqus ciencia*, 5(1), 109-122.
- CRC (2020). *Biochar for water treatment. Handbook of Carbon Adsorption and Removal Technologies for the Treatment of Non-Potable and Polluted Waters*.
- Dash, S. & Jayas, D. S. (2013). Biochar production and characterization: A review. *Trends in Biotechnology*, 31(12), 592-600.
- De Paz, M. F., López-Vilches, C., García-Alonso, J., Herrera, M. L., & Baenas, N. (2017). Valoración nutricional de las cáscaras de mango (*Mangifera indica*) con fines de alimentación. *Alimentación y nutrición*, 86(2), 153-162.
- Deshazer, J.J. & Johanson, J. (2002). *Diseño y fabricación de productos de inyección de plástico: Tecnología y aplicaciones*. New York: Technomic.

- Díaz, C., y Baquero, F. (2017). Contaminación del agua. *Quo*, 139: 51-60. doi: 10.1016/S0212-3636(17)35076-X.
- Ding, Y., Zeng, Y., Cai, M., Yao, B., Zhou, X., & Chen, H. (2019). Evaluating the efficiency of biochar in the removal of chemical oxygen demand from wastewater in a packed-bed column system. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(21), 21684-21695.
- Dispater, J., Díaz, C., Cucalón, M., Aspiazu, S., & Bowles, E. (2018). Manejo de los recursos hídricos en la Amazonía ecuatoriana: ¿Un nuevo enfoque? *Ambiente y Desarrollo*, 34(1), 39-47.
- Elbana, M., Wakh, L., Kritsy, A., Al Sharify, J., & Ali, M. (2018). A review on properties of biochar produced from crop residues and its use in soil. *Bioresource Technology*, 254, 337-353. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.072>.
- EPA. (2019). Programa de control tecnológico para aguas residuales industriales. Obtenido de <https://www.epa.gov/toxics/program-control-technological-industrial-wastewater>.
- Etchegoyen, L., García, J., & Michelena, R. (2019). Contaminación por metales pesados en aguas continentales. *Química Analítica*, 27(1), 88-93.
- Federación Ecuatoriana de Municipios. (2020). La política. Recuperado de: <http://www.federacionmunicipal.org/la-politica/>
- Feng, Z. (2016). *Biochar production: technologies and applications*. Springer.
- García Caballero, M. (2017). Pirolisis de biomasa: Estudio de la producción de biochar. *Revista EIA*, 6(15), 179-192.
- Giampieri, M., Karp, A., & Norris, S. (2019). Biomass-to-energy conversion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 95, 442-451. doi: 10.1016/j.rser.2018.09.019
- Goudriaan, et al. (2017). Overview of biomass resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 916-929. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.039

- Granados, A., & Martinez, G. (2019). Estudio de la calidad de las aguas residuales en la región sierra del Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sustentable*, 4(2), 90-94.
- Güner, G., Basara, S., & Güner, O. (2016). The current water quality issues and challenges in the world: A review. *Environmental Earth Sciences*, 75(17), 1019.
- Hansen, L. J., Wilkerson, V. A., Strickland, T. C., Evers, B. E., & Keller, M. (2020). Biochar can improve soil and water quality in agricultural systems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(2), 18. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0613-8>
- Hidalgo, D. & Cárdenas, P. (2017). Gestión de aguas residuales en la provincia del Guayas. *Revista Ingeniería*, 28(1), 13-25.
- Huang, X., Tian, X., Su, M., Zhao, F., Li, H., An, Y., ... & Zhao, S. (2019). Advances in Genetics, Breeding and Cultivation of Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). *Molecules*, 24(14), 2451.
- Hudson, N., Bol, R., & van Beusichem, M. (2008). Biochar and soil biota. In *Advances in Agronomy* (Vol. 97, pp. 193-229). Academic Press.
- Huo, Y., Liang, S., Guo, Y., Wen, C., Shi, X., Wang, C., & Qin, T. (2019). An efficient two-stage biochar filter for wastewater treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(24), 25076-25086.
- Instituto Geográfico Militar del Ecuador. (2010). Cuencas Hidrográficas del Ecuador. Recuperado de <https://www.igm.gob.ec/cuencas-hidrogr%C3%A1ficas-del-ecuador/>.
- José, G. S., Oliveira, A. A. C., Freitas, B. S., Martins, M. H., Silvestre, J. D., & Carneiro, F.G. (2014). Carbohydrates, organic acids and volatiles in the peel of oranges of different cultivars. *Ciencia Rural*, 44(4), 608-615.
- Kamthan, P., Kalita, M., & Prakash, O. (2011). International journal of chemical and environmental engineering. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, 2(2), 126–135.

- Karun, S., Schwirzer, M., Pfaffl, G., & Hofmann, T. (2017). Effect of temperature and UV radiation on secondary metabolism of tangerines (*Citrus reticulata*). *International Journal of Food science and Technology*, 52(7), 1515-1522.
- Kormos, C. (2018). *Agua y vida: Explorando los cambios climáticos en la Tierra*. Londres: Springer.
- Krauskopf, K. (2019). *Química general*. Cengage.
- Kumari, N., & Sharda, R. (2018). Biochar and Its Thermochemical Conversion Technology: Status. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 17(1), 5–21. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9448-z>
- Lago, T. (2019). Los ríos del Ecuador – Los ríos principales. Obtenido de <https://www.ecuadortravel.net/los-rios-del-ecuador/>
- Laurent, P., Heck, J., Delattre, C., Garnier, C., Achim, C., Gennaro, A., & Robert, D. (2013). Influence of composition on levels of wood pyrolysis products. *Fuel*, 104, 453-461.
- Ley Orgánica de Aguas. (2010). Recuperado de: <http://www.asambleanacional.gob.ec/sisjur/normas/Normal.jsp?i=15814>
- Li, X., Wu, X., Li, W., & Li, C. (2018). Effects of feed pollutant concentration and biochar addition on wastewater slow filter performance. *Bioresource Technology*, 255, 218-224.
- Liang, B., Cao, X., Gao, B., Ma, L., and Raabe, A. (2019). Biochar for environmental management: an updated critical review. *Science of the Total Environment*, 653, 1162-1174. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.237>
- Lin, S., Shen, R., He, S., Li, L., Wang, H., Luo, X., & Chang, G. (2017). Influence of pyrolysis temperature on properties of biochars derived from corn stalk. *Bioresource Technology*, 224, 263-269.
- Llana, P., & Vega, M. (2018). *Propiedades Química y Físicas del Mercurio*. SciELO. Recuperado de: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/revfacquim/article/view/2079>

- López-Gómez, A. S., Cardona-Arias, J. A., García-Montoya, D., Osorio-Gómez, N., Liévano, E., & Gálvez, C. (2018). Adsorción de mercurio del agua mediante nanofibras aisladas a partir de cáscaras de plátano. *Revista Colombiana de Química*, 47(1), 184-196.
- Lynn, J. (2018). Low temperature pyrolysis-biomass generation and use. *Fuelling the future with energy from waste and biomass*, 101-112.
- Maharjan, B. B., Ogram, A., Floerke, M., Ebert, C., and Raabe, A. (2018). The contributions of physicochemical properties of biochar to stability and mineral sequestration—A review. *Science of the Total Environment*, 646, 1098-1105. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.344>
- Mehul, A., Pandey, M., & Sharma, S. (2018). Estudio comparativo de la composición química de cáscara de plátano con fruta verde y madura bajo diferentes condiciones de procesamiento. *Int. J. Scien. Investig. Tec.*, 6(1), 25-28.
- Mercola, M. (1983). Toxicity and Kinetics of Mercury in Humans. *The Encyclopedia of Clinical Toxicology*, 1, 162-183.
- Ministerio del Ambiente. (2016). Estado ambiental de las aguas. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/Estado-Ambiental-Aguas.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018). Recuperado de <http://www.fao.org/ecosan/ecoagua/es/ecuador/index.htm>
- Molder, J. (2018). Estudio biológico de la cáscara de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agrisciencia*, 52(1), 99-102.
- Nawrath, F. (2013). Fundamentos de la Pirólisis para la producción de biochar. *Biomass and Bioenergy*, 60, 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.09.012>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2005). Plan Nacional de Acción de la Agenda 21 para la gestión ambientalmente racional de los productos químicos. Roma: Naciones Unidas.

- Osterberg, M., Rapiranti, P., Kalliokoski, T., & Kankaanpää, M. (2019). Sources, Relevance and Measurement of Water Footprint. *Water*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/w11091507>
- Oyeleye, S. O. (2015). Estudios bioquímicos e inmunológicos de la cáscara de plátano. *Open Science Repository Agriculture*, 2(8). doi:10.7392/openaccess
- Peleg, A., Deran, S., Tzulker, R. y Elizur, A. (2014). Utilización de la cáscara de plátano como recurso alimenticio. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 22(4), 155-161.
- Pérez, D., Jiménez, C., Urdiales, J. L., Suárez, M., & Martínez, P. (2016). Phytochemical composition and antioxidant activity of the oranges peel of four Citrus species. *Food Science and Technology*, 36(2), 309-315.
- Peugré, M. B., Tardelli Segnini, I., Dennis Swerpell, R., Guerrero Lee, R., Cornelissen, M., Fernandez, E. G., Sider Jungheim, M., & Dyck, M. (2017). Contamination of Cêira River, estuary and hypnic patch (NE coastal sea of Ceará State, Brazil) by recurrent pollutants. *Marine Pollution Bulletin*, 105(2), 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.002>
- Plaza, C., Reche, I., Soler, A., & Hodar, J. A. (2013). Changes in soil characteristics due to the addition of activated carbon as a sorbent material. *European Journal of Soil Science*, 64(6), 685–693. <https://doi.org/10.1111/ejss.12060>
- Poulin, J., & Gibb, H. (2008). Mercurio: Evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local. *Organización Mundial de La Salud*, 75. <https://doi.org/ISBN9789243596570>
- Prem, V., Pandey, P., Rai, U.K., & Upadhyay, P.M. (2019). Effects of Climate Change on Water Resources: A Review. *Water*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/w11071353>
- Rad, O., Agarwal, S., Jones, C. L., & Schardl, C. L. (2019). Composición química de la cáscara de papa *solanum tuberosum* L. y potencial biotecnológico. *Nature Scientific Reports*, 9(1), 16719.

- Raiga, S. (2007). Pyrolysis. In *Sustainability assessment of biomass-based fuels for small-scale combined heat and power generation systems* (pp. 21–38). Nova Science Publishers.
- Robinson, B. H., Lehmann, J., Ye, Z., Masera, O., Ramakrishnan, B., & Lehmann, E. (2013). From black carbon to green energy and beyond: A comprehensive review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 116, 158-232.
- Safari, O., Pazouki, M. A., Jafari, A., & Zhaleh, M. (2019). Review on Toxicity and Health Effects of Mercury and Its Compounds. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 9(3), 397–408.
- Secure Technologies LLC. (2020). Recursos Naturales: ¿Qué es el biochar? Recuperado el 22 de noviembre de 2020, de <https://ssec.si.edu/natural-resources-what-biochar>
- Sedlacek, M. (2019). Procesos tóxico-cinéticos del mercurio. Recuperado de https://web.mst.edu/~sedlacek/mercury_toxico-cinetico.html.
- Shamsi, I., Jaafar, J., & Yusof, S. (2014). Fabricación de biocharcitos a partir de residuos agrícolas. *Procedia Chemistry*, 12, 76-83. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.09.090>
- Sharma, A., & Saxena, R. (2017). Application of Mango Peel in Wastewater Treatment. Presented in International Conference on Green Technology and Environmental Science (GTEA 2017), India.
- Solberg H.D. (2019). Biomass energy, production, utilization, and lessons learned. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 548-581.
- Stinson, L. (2019). ¿Qué es el biochar? Recuperado el 22 de noviembre de 2020, de <https://www.ucsusa.org/resources/what-biochar>
- Taggart, M. L., Lawrence, J. S., Bringezu, S., & Abiven, S. (2018). Is biochar water retentive? A review of the effects of biochar on soil moisture regimes. *Global Change Biology Bioenergy*, 10(6), 757–774. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12545>

14 ANEXOS.

Anexo 1. Identificación de residuos orgánicos en el mercado Mayorista



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 2. Residuos orgánicos de plátano



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 3. Residuos orgánicos de naranja y papa



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 4. Recolección de Biomasa



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 5. Total, de biomasa obtenida, etiquetada y pesada



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 6. Caracterización de biomasa



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 7. Secado de biomasa



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 8. Reducción de tamaño de la biomasa



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 9. Pesaje de la biomasa



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 10. Muestras preparadas para el proceso de pirolisis

Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 11. Colocación de crisoles preparados dentro de la mufla

Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo12. Calibración de la mufla

Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 13. Pesaje de las muestras después del proceso



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 14. Pesaje y almacenamiento del biochar en bolsas ziploc.



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 15. Etiquetado de las muestras



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 16. Pesaje de biochar



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 17. Disolución del mercurio



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 18. Preservación del agua contaminada con mercurio



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 19. Pesaje del biochar para la caracterización



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 20. Medición de pH



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 21. Variaciones de pH



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 22. Preparación de soluciones para alcalinidad



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 23. Proceso de titulación para alcalinidad



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 24. Proceso de determinación de densidad aparente



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 25. Proceso de determinación de densidad real



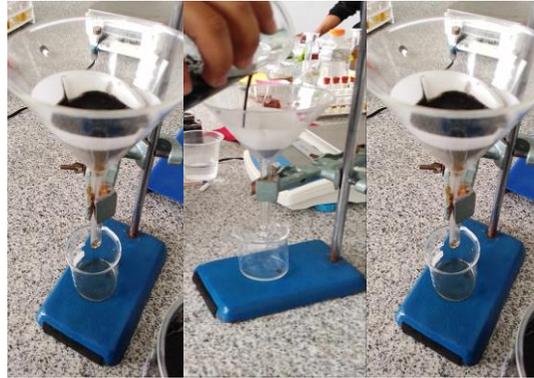
Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 26. Preparación para el proceso de filtración



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 27. Materiales para el registro de biomasa



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 28. Sistema de doble filtrado



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 29. Agua después del filtro



Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 32. Resultados para tablas de frecuencia

A	B	C	Repeticiones	Resultado	A	B	C	Repeticiones	Resultado	A	B	C	Repeticiones	Resultado
300	0,5	Fi.1 x 1	1	1	350	0,5	Fi.1 x 1	1	1	400	0,5	Fi.1 x 1	1	1
300	1	Fi.1 x 2	1	1	350	1	Fi.1 x 2	1	1	400	1	Fi.1 x 2	1	1
300	2	Fi.1 x 3	1	1	350	2	Fi.1 x 3	1	1	400	2	Fi.1 x 3	1	1
300	4	Fi.1 x 4	1	1	350	4	Fi.1 x 4	1	1	400	4	Fi.1 x 4	1	2
300	8	Fi.1 x 5	1	1	350	8	Fi.1 x 5	1	1	400	8	Fi.1 x 5	1	2
300	0,5	Fi.2x 1	1	1	350	0,5	Fi.2x 1	1	1	400	0,5	Fi.2x 1	1	1
300	1	Fi.2x 2	1	1	350	1	Fi.2x 2	1	1	400	1	Fi.2x 2	1	1
300	2	Fi.2x 3	1	1	350	2	Fi.2x 3	1	1	400	2	Fi.2x 3	1	2
300	4	Fi.2x 4	1	1	350	4	Fi.2x 4	1	2	400	4	Fi.2x 4	1	2
300	8	Fi.2x 5	1	1	350	8	Fi.2x 5	1	2	400	8	Fi.2x 5	1	2
300	0,5	Fi.1x 1	1	1	350	0,5	Fi.1x 1	1	1	400	0,5	Fi.1x 1	1	1
300	1	Fi.1x 2	1	1	350	1	Fi.1x 2	1	1	400	1	Fi.1x 2	1	1
300	2	Fi.1x 3	1	1	350	2	Fi.1x 3	1	1	400	2	Fi.1x 3	1	2
300	4	Fi.1x 4	1	1	350	4	Fi.1x 4	1	1	400	4	Fi.1x 4	1	2
300	8	Fi.1x 5	1	2	350	8	Fi.1x 5	1	2	400	8	Fi.1x 5	1	2
300	0,5	Fi.2x 1	1	1	350	0,5	Fi.2x 1	1	1	400	0,5	Fi.2x 1	1	1
300	1	Fi.2x 2	1	1	350	1	Fi.2x 2	1	1	400	1	Fi.2x 2	1	2
300	2	Fi.2x 3	1	1	350	2	Fi.2x 3	1	1	400	2	Fi.2x 3	1	2
300	4	Fi.2x 4	1	1	350	4	Fi.2x 4	1	1	400	4	Fi.2x 4	1	2
300	8	Fi.2x 5	1	1	350	8	Fi.2x 5	1	2	400	8	Fi.2x 5	1	2
300	0,5	Fi.1x 1	1	1	350	0,5	Fi.1x 1	1	1	400	0,5	Fi.1x 1	1	1
300	1	Fi.1x 2	1	1	350	1	Fi.1x 2	1	1	400	1	Fi.1x 2	1	1
300	2	Fi.1x 3	1	1	350	2	Fi.1x 3	1	1	400	2	Fi.1x 3	1	1
300	4	Fi.1x 4	1	1	350	4	Fi.1x 4	1	1	400	4	Fi.1x 4	1	2
300	8	Fi.1x 5	1	2	350	8	Fi.1x 5	1	2	400	8	Fi.1x 5	1	2
300	0,5	Fi.2x 1	1	1	350	0,5	Fi.2x 1	1	1	400	0,5	Fi.2x 1	1	1
300	1	Fi.2x 2	1	1	350	1	Fi.2x 2	1	1	400	1	Fi.2x 2	1	2
300	2	Fi.2x 3	1	1	350	2	Fi.2x 3	1	1	400	2	Fi.2x 3	1	2
300	4	Fi.2x 4	1	1	350	4	Fi.2x 4	1	1	400	4	Fi.2x 4	1	2
300	8	Fi.2x 5	1	1	350	8	Fi.2x 5	1	2	400	8	Fi.2x 5	1	2
300	0,5	Fi.1x 1	1	1	350	0,5	Fi.1x 1	1	1	400	0,5	Fi.1x 1	1	1
300	1	Fi.1x 2	1	1	350	1	Fi.1x 2	1	1	400	1	Fi.1x 2	1	1
300	2	Fi.1x 3	1	1	350	2	Fi.1x 3	1	1	400	2	Fi.1x 3	1	2
300	4	Fi.1x 4	1	1	350	4	Fi.1x 4	1	2	400	4	Fi.1x 4	1	2
300	8	Fi.1x 5	1	2	350	8	Fi.1x 5	1	2	400	8	Fi.1x 5	1	2

Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 33. Aplicación de infostat para 400°

The screenshot shows the InfoStat/L software interface. The main window displays a data table with columns: Caso, Temperatura, Peso, Tratamiento, and Resultado. The data rows are numbered 1 to 14. The 'Resultado' column contains values 1, 1, 1, 2, 2, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 1, 1, 2. The bottom status bar indicates 'Categoría', 'Registros: 51*5', and 'n = 51'. A 'Resultados' window is open on the right, showing the file path 'C:\Users\HP\Documents\frecuenci_Hoja9 : 15/8/' and the title 'Tablas de frecuencias'. It contains a table with columns: Variable, Clase, Categorías, FA, and FR. The data rows are: Resultado 1 (FA: 1, FR: 0,02), Resultado 2 (FA: 8, FR: 0,16), and Resultado 3 (FA: 42, FR: 0,82).

Fuente: Javier Molina, 2023

Anexo 34. Aval de traducción.



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: **“ELABORACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO DEL MERCADO MAYORISTA DE LA CIUDAD DE LATACUNGA PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO A NIVEL DE LABORATORIO”**

presentado por: **Molina Claudio Edison Javier**, egresado 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 al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 27 de agosto del 2021

Atentamente,

TANIA
ELIZABETH
ALVEAR
JIMENEZ

Firmado digitalmente
por TANIA ELIZABETH
ALVEAR JIMENEZ
Fecha: 2023.08.29
12:12:49 -05'00'

Mg. Tania Alvear Jiménez

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CI: 0503231763



CENTRO
DE IDIOMAS