



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

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS
ORGÁNICOS DEL BAGAJE DE LA CAÑA DE MAÍZ PARA MITIGAR
LA CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS CON METALES PESADOS A
NIVEL DE LABORATORIO”**

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

Autor:
Caspi Morales Jhonatan Segundo

Tutor:
Ágreda Oña José Luis

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Caspi Morales Jhonatan Segundo, con cédula de ciudadanía No. 0502869910, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “Producción de biochar a partir de residuos orgánicos del bagaje de la caña de maíz para mitigar la contaminación en las aguas con metales pesados a nivel de laboratorio” siendo el Ingeniero Mg. José Luis Ágredda 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, 18 de agosto del 2023



Jhonatan Segundo Caspi Morales
Estudiante
C.C. 0502869910



Ing. José Luis Ágredda Oña, Mg.
Docente Tutor
C.C. 0401332101

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CASPI MORALES JHONATAN SEGUNDO**, identificado con cédula de ciudadanía **0502869910** 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 “Producción de biochar a partir de residuos orgánicos del bagaje de la caña de maíz para mitigar la contaminación en las aguas con metales pesados a nivel de laboratorio”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2019 - Marzo 2020

Finalización de la carrera: Abril 2023 – Agosto 2023

Aprobación en Consejo Directivo: 25 de Mayo del 2023

Tutor: Ingeniero Mg. José Luis Agreda Oña.

Tema: “Producción de biochar a partir de residuos orgánicos del bagaje de la caña de maíz para mitigar la contaminación en las aguas con metales pesados a nivel de laboratorio”

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

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **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 18 días del mes de agosto del 2023.



Jhonatan Segundo Caspi Morales

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:

“PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL BAGAJE DE LA CAÑA DE MAÍZ PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO”, de Caspi Morales Jhonatan Segundo, 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, 18 de agosto del 2023



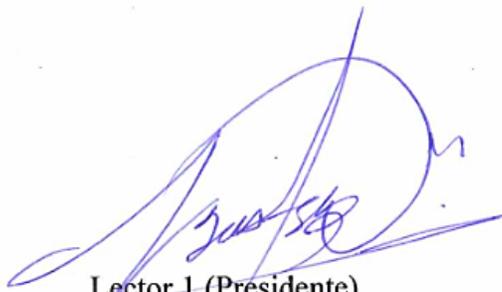
Ing. José Luis Agreda Oña, Mg.
DOCENTE TUTOR
CC: 0401332101

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: Caspi Morales Jhonatan Segundo, con el título del Proyecto de Investigación: “PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL BAGAJE DE LA CAÑA DE MAÍZ PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

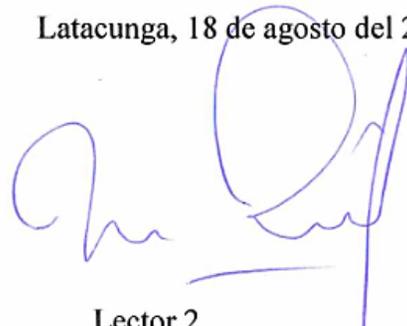
Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 18 de agosto del 2023



Lector-1 (Presidente)

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



Lector 2

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



Lector 3

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

AGRADECIMIENTO

Hoy, en un capítulo que marca el final de una larga travesía, me encuentro lleno de gratitud y emoción al expresar mi más sincero agradecimiento por el apoyo y el amor que han sido la base fundamental en la realización de esta tesis. Este camino no ha sido simplemente una búsqueda de conocimiento, sino también un viaje personal de autodescubrimiento y crecimiento. Cada paso que di fue guiado por el aliento constante de aquellos que creyeron en mí, y por eso quiero expresar mi más profundo agradecimiento. A mi familia, mi pilar inquebrantable, gracias por su apoyo incondicional, por brindarme la seguridad y el amor que necesitaba en los momentos de desafío. Sus palabras de aliento y su paciencia infinita han sido mi inspiración constante.

Caspi Morales Jhonatan Segundo

DEDICATORIA

En el sendero de este logro significativo, deseo extender mis más sinceras palabras de dedicación y gratitud a tres pilares fundamentales en mi vida. A mis padres, Morales Guamán Mónica del Carmen y Caspi Valencia Segundo Fulgencio, les agradezco de corazón por su incansable apoyo, sus sacrificios desinteresados y su constante aliento. Cada paso que he dado en esta travesía ha sido guiado por sus valores y amor incondicional. Mi éxito es también el reflejo de la educación que me brindaron y la dedicación con la que me han acompañado a lo largo de los años. A ti, mi amada Kamilly Galarza, quiero dedicarte un espacio especial en estas palabras. Tu amor, paciencia y comprensión han sido mi fuente de inspiración y motivación durante este arduo proceso. Gracias por estar a mi lado y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Tu amor constante han sido mi refugio, permitiéndome enfocarme en esta meta con determinación y pasión. Esta tesis no es solo el resultado de mis esfuerzos individuales, sino también de la red de apoyo que ha tenido el privilegio de tener. A mis padres y a ti, mi querida esposa, les dedico con profundo cariño este logro. Mi esperanza es que estas palabras puedan expresar parte de la gratitud y amor que siento por ustedes. Sigamos compartiendo juntos los éxitos que la vida nos tiene reservados. Les agradezco por ser mi mayor fuente de fortaleza y motivación.

Caspi Morales Jhonatan Segundo

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

TÍTULO: PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL BAGAJE DE LA CAÑA DE MAÍZ PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO

AUTOR: Caspi Morales Jhonatan Segundo

RESUMEN

En el contexto nacional, la problemática de la contaminación del agua con mercurio por la industria minera destaca como una preocupación primordial, la falta de tratamientos adecuados para las aguas residuales agrava la situación. Esta preocupación impulsó la creación de un proyecto de investigación centrado en producir biochar en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi, campus Salache. El propósito fundamental de esta iniciativa es desarrollar un método eficaz y apropiado para tratar el agua contaminada con mercurio mediante la implementación de biocarbón obtenido a partir de residuos orgánicos del bagaje del maíz. Los materiales orgánicos necesarios para este estudio se adquirieron mediante la compra en el mercado popular de la provincia de Cotopaxi, cantón de Salcedo, donde se lleva a cabo la conocida feria ganadera. La elección de este material se basó en sus propiedades físicas-químicas. El proceso de obtención del material orgánico necesario para la producción de biochar implicó la adquisición directa de los agricultores locales. Para lograr un material adecuado, se llevó a cabo un proceso completo de secado, por un periodo de un año, según lo efectuado por los agricultores donde dejan secar al aire libre, expuestos a la luz solar directa. Una vez completado el proceso de secado, el material se convirtió en biomasa para la recuperación de aguas contaminadas con mercurio. La resultante es sometió a un proceso de pirolisis a temperaturas de 400°C y 500°C, con tiempos de exposición de biomasa de 30 y 120 minutos y por un lapso de enfriamiento de 24H. Después de la pirolisis, se llevó a cabo una caracterización detallada del biochar resultante. Para evaluar la eficacia del biocarbón en la remediación de mercurio del agua, se recomienda un experimento que modificará los factores como el peso, la temperatura y el tipo de tratamiento de filtración. Este diseño experimental se basó en la formulación de hipótesis nula y alternativa, y se hizo 480 repeticiones en total. Utilizando tablas de frecuencia, se examinaron las interacciones de los componentes para determinar si el tratamiento era efectivo. Los resultados obtenidos indican que la elaboración de biochar a 400°C resultó en 51,02 g, mientras que a 500°C se obtuvo 53,53 g del total de 256,34 g de la biomasa inicial. Se manifestó una relación directamente proporcional entre la densidad aparente y real, la temperatura de pirolisis, la porosidad y el pH mostraron una correlación inversamente proporcional. En los diversos tratamientos aplicados, el biochar producido a 500°C siendo el más efectivo, con un 73% de valores positivos a un filtraje, lo que lo posiciona de manera significativa por encima del método de filtración a 400°C. El tratamiento de doble filtración usando biocarbón de caña de maíz producido a 500°C, durante 30 minutos mostró propiedades superiores en términos de pH y porosidad, lo que resultó en una mejor absorción de mercurio. Este tratamiento eliminará 80 ml de agua contaminada por cada gramo de biochar, cumpliendo con los parámetros permitidos para mercurio establecidos en el ACUERDO MINISTERIAL 097-A.

Palabras clave: Método de filtrado, biomasa, pirolisis, mercurio, bagaje.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

TITLE: PRODUCTION OF BIOCHAR FROM ORGANIC RESIDUES OF CORN CANE BAGGAGE TO MITIGATE WATER CONTAMINATION WITH HEAVY METALS AT LABORATORY LEVEL.

AUTHOR: Caspi Morales Jhonatan Segundo

ABSTRACT

In the national context, the problem of water contamination with mercury by the mining industry stands out as a primary concern; the lack of adequate wastewater treatment aggravates the situation. This concern prompted the creation of a research project focused on producing biochar in the laboratories of the Technical University of Cotopaxi, Salache campus. The main purpose of this initiative is to develop an effective and appropriate method to treat water contaminated with mercury through the implementation of biochar obtained from organic residues of corn stover. The organic materials needed for this study were acquired through purchases at the popular market in the province of Cotopaxi, Salcedo canton, where the well-known livestock fair is held. The choice of this material was based on its physical-chemical properties. The process of obtaining the organic material necessary for the production of biochar involved direct procurement from local farmers. To achieve a suitable material, a complete drying process was carried out, for a period of one year, as carried out by the farmers where they let it dry in the open air, exposed to direct sunlight. Once the drying process was completed, the material was converted into biomass for the recovery of mercury-contaminated water. The resulting biomass was subjected to a pyrolysis process at temperatures of 400°C and 500°C, with biomass exposure times of 30 and 120 minutes and a cooling period of 24 h. After pyrolysis, a detailed characterization of the resulting biochar was carried out. To evaluate the effectiveness of biochar in remediating mercury from water, an experiment that will modify factors such as weight, temperature and type of filtration treatment is recommended. This experimental design was based on null and alternative hypothesis formulation, and 480 replicates in total were done. Using frequency tables, the interactions of the components were examined to determine if the treatment was effective. The results obtained indicate that biochar processing at 400°C resulted in 51.02 g, while at 500°C, 53.53 g of the total 256.34 g of the initial biomass was obtained. There was a directly proportional relationship between apparent and real density, pyrolysis temperature, porosity and pH showed an inversely proportional correlation. In the various treatments applied, the biochar produced at 500°C was the most effective, with 73% of positive values at one filtration, which places it significantly above the 400°C filtration method. The double filtration treatment using corn cane biochar produced at 500°C for 30 minutes showed superior properties in terms of pH and porosity, resulting in better mercury absorption. This treatment will eliminate 80 ml of contaminated water per gram of biochar, complying with the allowable parameters for mercury established in MINISTERIAL AGREEMENT 097-A.

Key words: Filtration method, biomass, pyrolysis, mercury, bagging.

INDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iv
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	ix
INDICE DE CONTENIDOS	x
INDICE DE TABLAS.....	xv
INDICE DE ANEXOS.....	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	4
3.1. Beneficiarios directos.....	4
3.2. Beneficiarios indirectos.....	4
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
5. OBJETIVOS.....	6
5.1. Objetivo General.....	6
5.2. Objetivo Específico.....	6
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	8
7.1. Agua	8
7.2. Problemas de uso y gestión del agua.....	9
7.3. Contaminación de las fuentes de agua.....	10
7.3.1. Contaminación de los ríos.....	10
7.4. Aguas residuales	11

7.5.	Residuos.....	11
7.5.1.	Clasificación de los residuos.....	11
7.5.2.	Residuos agrícolas.....	12
7.5.3.	Residuos mineros.....	12
7.6.	Gestión de residuos y reciclaje.....	13
7.7.	Metales pesados.....	13
7.8.	Contaminación por mercurio.....	14
7.9.	Emisiones de fuentes naturales.....	14
7.10.	Emisiones antropogénicas.....	15
7.11.	Liberación de mercurio de productos.....	15
7.12.	Metilmercurio.....	15
7.13.	Toxico-cinética.....	15
7.14.	Efectos en la salud.....	16
7.15.	Material orgánico del bagaje de la caña de maíz.....	17
7.16.	Composición del maíz.....	19
7.16.1.	Propiedades físicas del tallo del maíz.....	19
7.16.1.1.	Forma.....	19
7.16.1.2.	Estructura.....	19
7.16.1.3.	Resistente.....	20
7.16.2.	Propiedades químicas del tallo del maíz.....	20
7.16.3.	Ciencia vegetal del tallo de maíz.....	22
7.16.3.1.	Inflorescencia.....	22
7.16.3.2.	Hojas.....	22
7.16.3.3.	Características.....	22
7.17.	Biochar.....	22
7.17.1.	Funciones del Biochar.....	23
7.17.1.1.	Mejora del suelo.....	23
7.17.1.2.	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.....	23
7.17.1.3.	Tratamiento de aguas residuales.....	24
7.17.2.	Características del biochar.....	24
7.17.2.1.	Estructura porosa.....	24
7.17.2.2.	Estabilidad química.....	24
7.17.2.3.	Mejora de la calidad del suelo.....	24

7.17.2.4.	Estabilidad térmica.....	25
7.17.2.5.	Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero	25
7.17.3.	Propiedades del biochar	25
7.17.4.	Funciones del biochar	26
7.17.4.1.	Mejora la retención de agua	26
7.17.4.2.	Aumenta la capacidad de intercambio de cationes	27
7.17.4.3.	Mejora la calidad del agua	27
7.17.4.4.	Estabiliza el pH del suelo.....	27
7.17.4.5.	Promueve la actividad microbiana.....	27
7.17.5.	Síntesis del biochar	28
7.17.6.	Factores que afectan a las propiedades físicas del biochar.....	28
7.17.6.1.	Condiciones del proceso de pirólisis	28
7.17.6.2.	Composición de la materia prima:.....	29
7.17.6.3.	Impacto ambiental del biocarbón.....	29
7.17.6.3.1.	Reducción de las emisiones de dióxido de carbono	29
7.17.6.3.2.	Depuración de aguas contaminadas por medio del biochar	30
7.17.7.	Generación de biochar en el Ecuador.....	30
7.17.8.	Interacción del biochar con metales pesados.....	31
7.18.	Pirólisis	33
7.18.1.	Pirólisis lento.....	33
7.18.2.	Pirólisis rápido.....	34
8.	MARCO LEGAL.....	35
8.1.	Constitución de la República del Ecuador.....	35
8.1.1.	Artículo 12.....	35
8.1.2.	Artículo 411.....	35
8.2.	Código Orgánico Ambiental	35
8.2.1.	Artículo 191.....	35
8.2.2.	Artículo 209.....	35
8.3.	Reglamento a la LORHUyA.....	36
8.3.1.	Art. 8.....	36
8.3.2.	Art. 34.....	36
8.4.	TULSMA.....	36
9.	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS.....	37

9.1.	Hipótesis nula.....	37
9.2.	Hipótesis Alternativa.....	37
10.	METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	37
10.1.	Enfoque	37
10.2.	Investigación bibliográfica	38
10.3.	Tipo de investigación	39
10.4.	Observación directa	39
10.5.	Método de recolección de biomasa.....	39
10.6.	Selección y tratamiento de la muestra de la biomasa	40
10.7.	Proceso de corte	42
10.7.1.	Proceso de trituración.....	42
10.8.	Almacenamiento de el biochar.	43
10.9.	Método de fractura.....	43
10.10.	Tratamiento de la materia orgánica	44
10.11.	Determinación del biochar.	44
10.12.	Empleo de gravimetría pesaje y secado	45
10.13.	Producción de biochar pirolisis lenta y pirolisis rápida.....	47
10.14.	Obtención de biocarbones.....	48
10.15.	Método para la producción del biochar.	49
10.16.	Materiales	49
10.16.1.	Mufla.....	49
10.16.2.	Crisoles	49
10.16.3.	Desecadores.....	50
10.16.3.1.	Características:.....	50
10.16.3.2.	Función:	50
10.16.4.	Conservación del biochar generado	51
10.17.	Metodología de Preparación de agua contaminada con mercurio	51
10.17.1.	Muestra de agua contaminada	52
10.17.2.	Disolución del mercurio y su concentración en el agua	52
10.17.3.	Marcha analítica de metales pesados del grupo 1	53
10.17.4.	Diseño del diagrama del plan experimental	54
10.17.5.	Caracterización del biochar.....	55
10.17.5.1.	pH del biochar.....	56

10.17.5.2.	pH Pirolisis lenta.....	57
10.17.5.3.	Alcalinidad.....	58
10.17.5.4.	Densidad aparente.....	59
10.17.5.5.	Densidad real	59
10.17.5.6.	Determinación de la Porosidad.....	60
10.18.	Metodología pirolisis de la biomasa	61
10.18.1.	Pirolisis rápida, Biochar a 500°C.....	62
10.18.2.	Pirolisis lenta, Biochar a 400°C.....	62
10.19.	Tablas de frecuencia	62
10.19.1.	Interpretación Tablas de Frecuencia.....	63
10.19.2.	Determinación del mejor tratamiento.....	63
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	65
11.1.	Análisis de la Caracterización PH del biochar	65
11.1.1.	Análisis de datos: pH biochar a 500°C.....	66
11.1.2.	Análisis de datos: pH biochar a 400°C.....	68
11.2.	Alcalinidad.....	71
11.2.1.	Porcentaje alcalinidad a 400°C.....	72
11.2.2.	Porcentaje alcalinidad a 500°C.....	73
11.3.	Densidad aparente.....	75
11.3.1.	Densidad aparente biochar a 500°C	76
11.3.2.	Densidad aparente biochar a 400°C	76
11.4.	Densidad real	77
11.4.1.	Densidad real biochar a 500°C.....	78
11.4.2.	Densidad real biochar a 400°C.....	78
11.5.	Determinación de la Porosidad.....	79
11.6.	Análisis de la pirolisis empleada en el biochar.....	81
11.6.1.	Pirolisis rápida biochar a 500°C.....	81
11.6.2.	Pirolisis lenta biochar a 400°C.....	83
11.7.	Descontaminación de Mercurio.....	86
11.8.	Análisis de tablas de frecuencia	86
11.8.1.	Tabla de frecuencia del biochar a 400°C.....	89
11.8.2.	Tabla de frecuencia del biochar a 500°C.....	90
11.9.	Comparación de las tablas de frecuencia porcentual.....	91

11.10.	Tabla de frecuencia con el mejor rendimiento obtenido.	94
11.11.	Análisis del mejor tratamiento.....	96
12.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	98
12.1.	Impacto Técnico.....	98
12.2.	Impacto Social.....	99
12.3.	Impacto Ambiental.....	99
12.4.	Impacto Económico.	99
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
15.	ANEXOS.....	110

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Actividades acordes a los objetivos</i>	6
Tabla 2.	<i>Efectos en la salud causados por el mercurio</i>	16
Tabla 3.	<i>Criterios de calidad, y limites permisibles con relación al mercurio</i>	36
Tabla 4.	<i>Etapas de producción</i>	40
Tabla 5.	<i>Registro post elaboración del biochar</i>	46
Tabla 6.	<i>Límites de los niveles de las variables independientes en el Diseño Experimental aplicado</i>	48
Tabla 7.	<i>Medición y análisis de datos del pH obtenido de 500°C</i>	57
Tabla 8.	<i>Medición y análisis de datos del pH obtenido de 400°C</i>	57
Tabla 9.	<i>Modelo a aplicar en los valores obtenidos en la prueba a distinto peso y filtraciones</i>	62
Tabla 10.	<i>Modelo del número de filtraciones de la pirolisis lenta</i>	62
Tabla 11.	<i>Matriz de tablas de frecuencia</i>	63
Tabla 12.	<i>Factores de tratamiento para la descontaminación del Mercurio</i>	64
Tabla 13.	<i>Asignación de valores a las categorías del resultado</i>	65
Tabla 14.	<i>Medición y análisis de datos del pH obtenido de 500°C</i>	65
Tabla 15.	<i>Medición y análisis de datos del pH obtenido de 400°C</i>	68

Tabla 16. <i>Verificación de datos para calcular la alcalinidad.</i>	72
Tabla 17. <i>Verificación de datos para obtener la alcalinidad.</i>	73
Tabla 18. <i>Modelos del número de valores obtenidos en la experimentación a distinto peso.</i>	81
Tabla 19. <i>Aplicación del modelo de la pirolisis lenta</i>	83
Tabla 20. <i>Factores de tratamiento para la descontaminación del Mercurio</i>	87
Tabla 21. <i>Resultados de la tabla de frecuencia general</i>	88
Tabla 22. <i>Resultados de la tabla de frecuencia a 400°C.</i>	89
Tabla 23. <i>Resultados de la tabla de frecuencia a 500°C.</i>	90
Tabla 24. <i>Comparativa de la frecuencia porcentual del biochar</i>	92
Tabla 25. <i>Resultados de la tabla de frecuencia con la mediana de las repeticiones a 400°C</i>	93
Tabla 26. <i>Resultados de la tabla de frecuencia con la mediana de las repeticiones a 500°C</i>	93
Tabla 27. <i>Comparativa de la media de la tabla de frecuencia de las repeticiones de 400°C y 500°C</i>	94
Tabla 28. <i>Resultado del mejor rendimiento a un filtrado a 500°C</i>	95
Tabla 29. <i>Resultado del mejor rendimiento a doble filtrado a 500°C</i>	96
Tabla 30. <i>Resultado del mejor rendimiento a distinta variable de filtrado.</i>	96

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Ciclo del carbono con y sin aplicación de biochar.</i>	30
Diagrama 1. <i>Elaboración en las distintas fases del proceso de variables empleadas.</i>	54
Ilustración 4. <i>Validación por medio de cintas medidoras de pH.</i>	68
Ilustración 5. <i>Valores del pH metro de la serie 150 Orbeco Hellige biochar a una T de 500°C.</i>	68
Ilustración 6. <i>Valores del pH metro de la serie 150 Orbeco Hellige biochar a una T° de 400°C</i>	70
Ilustración 1. <i>Validación de los resultados obtenidos en la tabla 18.</i>	83
Ilustración 2. <i>Verificación de los resultados expresados en la tabla 19.</i>	84
Ilustración 3. <i>Comparación madre y sus distintitos tratamientos a 400°C, 500°C y el mejor tratamiento obtenido.</i>	86

Grafica. 1 Frecuencia porcentual entre las temperaturas de 400°C y 500°C.	92
Grafica. 2. Comparativa de la media de la tabla de frecuencia de las repeticiones de 400°C y 500°C	94
Grafica 3. Comparativa del mejor rendimiento a distinta variable de filtrado.....	96
15. ANEXOS. Evidencias fotográficas	110
Fotografía 51. Validación con Infostat sobre los parámetros obtenidos y generados en Microsoft Excel	
125	
Anexo 2. Aval del centro de idiomas.....	126
Anexo 3. Certificado de anti plagio compilation.....	127

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Producción de biochar a partir de residuos orgánicos del bagaje de la caña de maíz para mitigar la contaminación en las aguas con metales pesados a nivel de laboratorio

Lugar de ejecución:

Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. Campus Salache

Institución, unidad académica y carrera que auspicia

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

Nombres de equipo de investigación:

Tutor: Ing. José Luis Ágreda Oña.

Estudiante: Sr. Caspi Morales Jhonatan Segundo.

LECTOR 1: Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante

LECTOR 2: Ing. Marco Antonio Rivera Moreno

LECTOR 3: Ing. Issac Eduardo Cajas Cayo

Área de Conocimiento:

Ciencia Naturales. Medio Ambiente, Ciencias Ambientales.

Línea de investigación:

Análisis, conservación y aprovechamiento de material orgánico

Sub-línea de Investigación de la Carrera:

Manejo de recursos hídricos

Línea de Vinculación:

Protección Ambiental

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El Biochar representa una forma de carbono orgánico que se obtiene a través del pirólisis de desechos orgánicos, a partir de material vegetal de bosques, hojas, ramas, así como lodos activados y residuos agrícolas. Este proceso exhibe propiedades de absorción similares a las de materiales de alta capacidad para captar metales pesados, los cuales son prácticamente insolubles en agua.

La utilización de biochar como método para abordar la contaminación de aguas por metales pesados ha demostrado tener un impacto significativo en la purificación del agua y la mejora del entorno en Ecuador. Tradicionalmente, se han empleado sistemas convencionales para tratar el agua contaminada. Estos sistemas solicitan infraestructuras costosas y presentan baja eficiencia en la eliminación y concentración de contaminantes. En contraste, la incorporación de biochar mejora ciertamente el proceso de descontaminación en comparación con los métodos convencionales, gracias a su capacidad de adsorción.

En este sentido, la implementación de biochar como alternativa para remediar la contaminación de aguas con metales pesados en Ecuador se muestra como una propuesta viable. Esta medida contribuiría a reducir el impacto perjudicial de los contaminantes en el medio ambiente, prevenir la contaminación de las fuentes de hídricas, mejorar su calidad y disminuir los costos asociados a los sistemas de tratamiento convencionales. La aplicación de biochar en cuerpos de agua contaminados conlleva una reducción significativa en los niveles de contaminación por metales pesados, lo que resulta en una disminución de la toxicidad y un incremento en la calidad del agua para diversos usos.

Las distintas estrategias de empleo de biochar a nivel local fructifican sus características químicas y físicas para extraer metales pesados del agua e impedir su absorción en los sedimentos, con el consiguiente mejoramiento sustancial en la calidad del agua y una reducción

del impacto en los ecosistemas. Esto plantea una alternativa económica, segura y eficaz para fomentar la sostenibilidad y reducir la contaminación ambiental, lo que a su vez se traduce en una mejora en la calidad de vida de la localidad.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Beneficiarios directos

Estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la Facultad de CAREN quienes deseen seguir con el proceso de investigación, así como diseñadores de plantas de tratamientos que utilicen el biochar como propuesta ecológica para capturar elementos contaminantes suspendidos en las aguas y suelo.

3.2. Beneficiarios indirectos

Agricultores enfocados a la producción de maíz quienes deseen generar un capital adicional a su producción y estudiantes universitarios, quienes deseen continuar con procesos similares de obtención de biochar, así como investigadores que se dedican a la utilización de productos orgánicos y sus respectivos derivados.

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La preocupación moderna a nivel global recae en la calidad del entorno ambiental, la cual incide de manera significativa en la salud y el bienestar de la humanidad, resultando en un impacto de proporciones sustanciales. Las actividades realizadas a nivel antropogénico han contribuido con dificultad a marcando el deterioro de la calidad ambiental en los últimos años, especialmente en las zonas urbanas. A raíz del creciente interés del medio ambiente, la problemática de la contaminación del agua ha emergido como un tema de debate sumamente relevante. Este tipo de contaminación se manifiesta cuando los efluentes industriales, los desechos y los productos químicos aplicados en la agricultura impregnan el agua con sustancias que pueden tener efectos tóxicos sobre la salud humana.

Uno de los factores preponderantes en la contaminación a nivel hídrico es la presencia de metales pesados como el mercurio, plomo, cadmio, arsénico, níquel y aluminio, los cuales ostentan un alto grado de toxicidad para la flora y la fauna, y pueden desglosar graves problemas de salud humana. Estos metales se acumulan en los suelos litosoles, los sedimentos y las áreas acuáticas debido a las actividades antropogénicas como la industria, la agricultura, el uso de pesticidas y los desechos domésticos.

La presencia de metales pesados en el ambiente acuático produce una serie de impactos diversos, que van desde el menoscabo de la salud de los organismos hasta la reducción de la biodiversidad, el cambio en los flujos de nutrientes, la disminución de la productividad y la merma de la fertilidad. Esto se debe a la sensibilidad particular de los seres acuáticos ante la exposición a metales tóxicos en el agua. Los efectos de la contaminación por metales pesados en el entorno hídrico generan un círculo vicioso, ya que estos elementos se acumulan en los organismos a lo largo de la cadena alimentaria.

En el contexto ecuatoriano, el problema de los metales pesados en el agua ha adquirido un carácter cada vez más alarmante debido a actividades humanas como la industria, la agricultura, la quema de combustibles fósiles y la liberación de residuos en los cuerpos de agua. En la industria, los metales pesados como el plomo, el arsénico y el mercurio se liberan a través de la descarga de desechos industriales en los cuerpos hídricos. Por su parte, la comunidad agrícola también contribuye a la presencia de metales pesados en el agua debido al uso de pesticidas y fertilizantes en sus cultivos. Esto se debe a que los pesticidas aplicados en los campos agrícolas con frecuencia se encuentran su camino hacia los cursos de agua, arrastrando consigo metales pesados.

En la actualidad, la contaminación del agua por mercurio sigue siendo un problema crítico en Ecuador. Se han detectado niveles preocupantes de mercurio en los ríos del país, especialmente en aquellos que están en las proximidades de zonas de explotación de recursos naturales y cercanos a industrias. Estos niveles elevados de mercurio pueden tener efectos negativos sobre la vida silvestre, la de especies, la salud humana y la estabilidad de los ecosistemas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2005).

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Producir biochar a partir de materia orgánica de bagaje del maíz para recuperación de agua contaminadas con metales pesados.

5.2. Objetivo Específico

Establecer la metodología adecuada para la síntesis de biochar.

Generar biochar a diferentes condiciones y determinar el proceso adecuado de tratamientos para su aplicación en la remediación del agua.

Validar la eficacia de remoción de contaminantes del biochar producido, a través de métodos estadísticos para la determinación del mejor tratamiento.

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

Tabla 1. *Actividades acordes a los objetivos*

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultado
Producir biochar a partir de materia orgánica de bagaje de maíz para recuperación de agua	Generar biochar a partir del bagaje del maíz.	Empleo de pirolisis para obtener el biochar.	Obtención del biochar a distinta variable

contaminada con metales pesados.

Generar biochar con diferentes condiciones de temperatura y biomasa para su aplicación en la remediación del agua contaminada con metales pesados.

1. Caracterizar la biomasa.
2. Encapsular sin oxígeno la materia orgánica.
3. Realizar proceso de pirolisis.
4. Enfriamiento de biochar

Validar la eficacia de remoción de contaminantes del biochar producido, a través de métodos estadísticos para la determinación del mejor tratamiento.

Realizar pruebas de laboratorio para medición de parámetros físico – químicos para el tratamiento

Realizar pruebas a nivel de laboratorio para medición de parámetros físico – químicos después del tratamiento

Empleo de Gravimetría. de Obtención de biochar.

Desarrollo de la dilución del mercurio

Filtración Tratamiento más efectivo

Tablas de frecuencia

Análisis Comparativo

Validación de datos a través de Métodos de filtración,

Tablas de frecuencia y

Análisis Comparativo.

Nota. En la tabla presente se detallan las actividades a cumplir en la investigación.

Elaborado por: Jhonatan Caspi, 2023.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

El agua es un elemento importante para la vida, y sabemos que es necesario para el consumo de todos los seres vivos, tal como es necesario para los procesos de desarrollo de productos agrícolas, industriales entre otros. De tal manera que es importante para garantizar la integridad y estabilidad del ecosistema Hídrico.

7.1. Agua

Es una sustancia líquida inodora, insípida e incolora que se presenta de forma más o menos pura en la naturaleza, cubre una gran parte (71 %) de la superficie terrestre y está relativamente extendida en el sistema solar y en el espacio, aunque sea en forma de vapor gaseoso o de hielo sólido. En mención al autor (Álvarez, 2021), el agua en nuestro planeta se encuentra "principalmente en los océanos (96,5%), glaciares y casquetes polares (1,74%), acuíferos y permafrost (1,72%), mientras que el resto del agua en la Tierra (0,04%) se encuentra en lagos, humedad del suelo, vapor atmosférico, embalses, ríos y organismos vivos.

De este modo el agua es esencial para la vida tal y como la conocemos, y las primeras formas de vida en la Tierra se encontraron en el agua. Por esta razón el agua también ocupa un lugar importante en la civilización humana, donde suele atribuirse a una deidad o a una inundación mítica utilizada por los dioses para destruir las culturas apóstatas (Álvarez, 2021).

Por lo tanto, el agua en la Tierra está sujeta a un ciclo natural denominado ciclo hidrológico, en el que el agua líquida se evapora bajo la influencia del sol, asciende a la

atmósfera en forma gaseosa, se condensa en las nubes y vuelve a caer a la Tierra en forma de lluvia. Este ciclo es crucial para el clima y la estabilidad biológica de la Tierra (Álvarez, 2021).

7.2. Problemas de uso y gestión del agua

La escasez de agua del país no es única. De este modo, para las cuencas hidrográficas que han sido identificadas con una escasez de agua como ejemplo como la cuenca de Guayana, la escorrentía puede desviarse a zonas de escasez de agua, como la península de Santa Elena. La cuenca del Esmeralda puede transferir el excedente de agua al río Guayana. La cuenca del río Pasta puede desviar una parte importante de la escorrentía hacia los ríos Chimpo y Changchang.

En las cuencas hidrográficas que presentan unas escasas con excedentes mínimos, la solución es desviar agua de otras cuencas sin descuidar otras soluciones, como la conservación del agua, un correcto manejo y tratamiento de las aguas utilizadas en la industria. De este modo uno de los principales impactos medioambientales causados por el agua es el exceso de agua usado en la industria está generando escasez de captaciones en las ribereñas y la mala gestión de descargas directas de estas generan gradualmente la escases y contaminación a los cuerpos hídricos. Y poco a poco esto provoca una pérdida importante de recurso hidrológico, una reducción de su capacidad, un aumento de la escorrentía superficial, una reducción de la capacidad de los embalses y un cambio en el ciclo del agua del río (Hidrored, 2021).

El uso del agua en diversas actividades ha provocado la contaminación de las fuentes de agua y la producción de productos de la misma calidad. Las enfermedades de origen hídrico a causa de la contaminación antropogénica y los casos irreversibles para el medio ambiente van en aumento, al igual que las fases de deterioro genético de los animales y la fauna. Por último, el problema del agua no es sólo el recurso en sí, sino también la negligencia en la gestión del agua al más alto nivel, lo que también se debe a la escasa cualificación de las instituciones responsables de su gestión de descargas y gobernanza. La falta de coordinación entre las

instituciones encargadas de establecer, gestionar y gobernar los recursos hídricos, las limitaciones financieras derivadas de la crisis económica nacional, el escaso desmantelamiento institucional de la gestión, gobernanza y administración del agua, especialmente en el sector del regadío, los inadecuados sistemas de recopilación de datos procesados, la falta de personal altamente cualificado y la mínima explotación y mantenimiento de los sistemas de recursos hídricos (Hidrored, 2021).

7.3. Contaminación de las fuentes de agua

Hoy en día, la importancia de la naturaleza, y en particular de los recursos hídricos, ya no está sujeta a la legislación sobre su mantenimiento y conservación. El agua es un factor esencial para el desarrollo del planeta. De hecho, la escasez y el exceso de agua provocan desequilibrios en el medio natural, modificando las condiciones de navegación y el modo de utilización de los recursos naturales, lo que afecta directamente a la calidad de vida (Rubio, 2015). Además de ser un factor esencial para la vida y la supervivencia, es importante tener en cuenta que el agua es imprescindible para actividades como la agricultura, la industria y el uso doméstico.

7.3.1. Contaminación de los ríos

La contaminación del agua en los ríos por metales pesados es un problema ambiental grave en Ecuador (Tania Orbe, 2020). Según un estudio publicado en la revista *Science of The Total Environment*, se encontraron altas concentraciones de elementos pesados como mercurio, cadmio y cobre en 14 ríos del país, incluyendo los ríos amazónicos. La minería ilegal de oro, la piscicultura y los agroquímicos son algunas de las causas probables de la contaminación. Los sitios ubicados cerca de la minería de oro a pequeña escala y los rellenos sanitarios aparecieron las mayores concentraciones de metales pesados. La acción humana está introduciendo metales en el ecosistema acuático, aunque se necesita monitorear las aguas pues de esta cantidad de agua dulce en la Tierra es constante pero limitada, y su calidad se evalúa constantemente. Sin

embargo, elementos nocivos, sustancias químicas, tóxicas o radiactivas pueden afectar a la calidad del agua. Todos estos elementos son causados por actividades humanas (Bravo, 2016).

7.4. Aguas residuales

Las aguas residuales son el resultado del uso del agua para diversos fines. Como consecuencia de este uso, en el agua se acumulan sustancias disueltas y en suspensión que modifican sus propiedades. Dependiendo de su uso, las aguas residuales tienen propiedades muy diferentes. En particular, existe una diferencia significativa entre las aguas residuales municipales o domésticas procedentes del uso privado del agua y las aguas residuales industriales procedentes de plantas de producción. En el caso de estas últimas, la diversidad es muy clara, ya que las propiedades del agua alteradas por el uso industrial pueden ir desde una contaminación puramente física (MOPT, 2019).

7.5. Residuos

Los residuos son materiales que carecen de valor económico para el productor, pero que tienen valor comercial y pueden reciclarse o reutilizarse. Según la legislación ambiental, residuo es todo material o componente sólido, semisólido, líquido o gaseoso procedente de la producción, extracción, transformación, tratamiento, utilización o consumo que pueda ser reciclado o reutilizado, siempre que su eliminación o uso final cumpla la legislación ambiental nacional o internacional (Código Orgánico del Medio Ambiente, 2017, p. 92).

7.5.1. Clasificación de los residuos

Los residuos sólidos se clasifican en función de su origen en mención del autor (León & Plaza, 2017). La producción de biochar a partir del bagazo de caña de maíz podría ser una forma de aprovechar y valorizar este tipo de residuo orgánico, reducir así su impacto ambiental. Además, el uso de biochar como medio filtrado para la remoción de metales pesados en el agua podría contribuir a la protección de los ecosistemas acuáticos y la salud humana.

7.5.2. Residuos agrícolas

Este tipo de residuos se generan en la agricultura y la ganadería; se utilizan como abono para los cultivos, los residuos agrícolas se utilizan para la producción de combustibles y los residuos animales se utilizan para tratamientos bioquímicos o térmicos (Medio Ambiente, 2006). La presencia de residuos agrícolas puede contribuir a la contaminación por metales pesados en el agua debido a la aplicación de fertilizantes que los contienen (Ecodes, 2023). Consecuentemente, la escorrentía de aguas agrícolas puede arrastrar los residuos y contaminantes a las vías fluviales, lo que puede degradar la calidad del agua y hacerla tóxica para los seres humanos y el medio ambiente estos metales pesados se libera en el suelo puede ser convertido por microorganismos como el metilmercurio, siendo esta una sustancia que puede ser impregnada ágilmente por la mayoría de los organismos y es popular por dañar el sistema nervioso. Los animales acuáticos son organismos que absorben gran cantidad de metilmercurio del agua superficial cada día, lo que puede afectar a la salud humana si se consume. Por lo tanto, es importante tomar medidas para reducir la contaminación por mercurio en el agua, como la gestión adecuada de los residuos agrícolas y la reducción del uso de fertilizantes que contienen mercurio y otros metales pesados.

7.5.3. Residuos mineros

Son los residuos generados por las actividades mineras, principalmente durante la extracción, recuperación, eliminación y almacenamiento de este tipo de residuos (Residuos, 2014). Los residuos mineros pueden ser una fuente importante de contaminación por metales pesados en el agua dado que dichas actividades son responsables de la liberación de plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo al medio ambiente, que son perjudiciales tanto para la salud humana como para otros seres vivos, una gran parte del plomo se libera durante el reciclaje de baterías y remanentes industriales. tales como soldaduras, metales, revestimientos de cables y otros. Haciendo referencia a (Ariadna García-Astillero, 2018), el plomo contamina el agua con

sales hidrosolubles generadas en las industrias de pinturas y pirotecnia, en la fabricación de cerámica vidriada, en las técnicas de foto termografía y tinción. La fabricación de productos químicos como el tetraetilo de plomo (agente antidetonante en la gasolina) y en la industria minera, puede ser particularmente alto en agua blanda que fluye a través de áreas de minerales sulfurados o relaves mineros, ya que son materiales potentes que pueden tener efectos significativos. un impacto en los seres vivos y en el ambiente consecuentemente la exposición a metales pesados puede causar problemas de salud como daño renal, hepático y neurológico, así como cáncer y otros problemas de salud graves.

7.6. Gestión de residuos y reciclaje.

La gestión de residuos incluye todas las actividades encaminadas al reciclaje de materiales, en algunos casos a través de tecnologías y programas que permitan el aprovechamiento de todos los recursos disponibles y su gestión de manera ambientalmente racional (Velásquez, 2008).

La gestión inadecuada de los residuos tiene graves consecuencias para la salud humana, principalmente en forma de enfermedades intestinales, así como para el medio ambiente, como el impacto de los lixiviados en la calidad del agua, así como en las emisiones atmosféricas derivadas de la descomposición de los residuos. Por ello, es muy importante llevar a cabo una gestión eficaz de los residuos, priorizando las actividades, siendo la primera opción la prevención de los residuos, seguida de la minimización de los mismos, y si las dos primeras opciones no son viables, los residuos generados deben ser eliminados (Toro, Szantó, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

7.7. Metales pesados

De todos los elementos conocidos por el hombre, muchos metales han sido valorados durante mucho tiempo y han desempeñado un papel importante en el desarrollo de la

civilización. A medida que estos metales empezaron a utilizarse en la industria, surgieron problemas y su uso continuado en la vida cotidiana también tuvo efectos sobre la salud. Aunque el término "metal pesado" está muy extendido, no existe una definición química precisa. Algunos elementos clasificados como metales pesados tienen una densidad superior a 5, y algunos autores se refieren a elementos con un peso atómico entre 63,55 (Cu) y 200,59 (Hg) como "metales pesados". Se supone que su densidad es al menos cinco veces la del agua. Algunos autores prefieren llamarlos "elementos tóxicos u oligoelementos", quizá porque la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) los incluye en su lista de principales contaminantes. Cabe señalar que casi todos los elementos metálicos de importancia económica entran en esta categoría y, por tanto, son relevantes para la extracción en este proyecto (González. Y, 1998).

7.8. Contaminación por mercurio

La contaminación por mercurio en las aguas es un problema grave que puede tener efectos ambientales negativos en la salud humana y el medio ambiente el mercurio se libera en el suelo y el agua a través de diversas actividades humanas, como la minería, la agricultura y la industria La contaminación por este metal puede tener diversas fuentes algunas de las principales son:

7.9. Emisiones de fuentes naturales

En mención al MSc. Ariel Alfaro Vargas, regente químico de la UCR, explica que es un metal natural y que forma parte de la naturaleza de tal manera que existen varios tipos de compuesto de este metal, dos de los más conocidos son las sales de mercurio uno y mercurio dos. El mercurio se encuentra de forma natural en la corteza terrestre y puede ser liberado al medio ambiente por procesos geológicos, como las erupciones volcánicas, y principalmente en forma de

minerales como el cinabrio. Sin embargo, la actividad humana ha contribuido significativamente a la liberación de mercurio en el agua. Algunas de las formas en las que el mercurio contamina.

7.10. Emisiones antropogénicas

La actividad humana es responsable de la mayor parte de la emisión de mercurio al medio ambiente. Las principales fuentes antropogénicas de emisiones de mercurio incluyen la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), la minería de oro y otros metales, la producción de cloro y soda cáustica, la fabricación de instrumentos de medición y dispositivos electrónicos, y la eliminación inadecuada de residuos.

7.11. Liberación de mercurio de productos

Algunos productos, como termómetros, interruptores y lámparas fluorescentes, contienen mercurio y pueden liberarlo al medio ambiente si no se eliminan correctamente.

Una vez que el mercurio es liberado al medio ambiente, puede transformarse en metilmercurio, una forma altamente tóxica que se acumula en la cadena alimentaria y puede afectar la salud de los seres humanos y la vida silvestre.

7.12. Metilmercurio

El metilmercurio (MeHg) es uno de los compuestos de mercurio más tóxicos del medio ambiente: desde la década de 1970, se sabe que el 99% del MeHg presente en el plasma se une a los grupos tiol de las proteínas y es transportado desde la sangre a diversos órganos. Por lo tanto, uno de los objetivos de este estudio era evaluar la toxicidad del MeHg utilizando enfoques de biología molecular y estrategias proteómicas cuantitativas (Cuello Núñez, S. 2016).

7.13. Toxico-cinética.

La absorción del mercurio se da por inhalación de vapores y a través de la piel, cuando se encuentra en forma líquida, la exposición a los vapores provoca una absorción del 80% en los pulmones, mientras que se produce distribución a través de la sangre, lo que provoca

acumulación en los órganos del cuerpo, los órganos que representan la mayor acumulación son el cerebro, los riñones y los testículos, la excreción del mercurio se produce principalmente en las heces y en menor medida a través del sudor, el cabello y las lágrimas, la mayor parte del mercurio absorbido se puede eliminar en 60 días, pero lo que se acumula en el cerebro puede tardar hasta 1 año (Salazar, 1997).

7.14. Efectos en la salud.

Los impactos sobre la salud están influenciados por la duración de la exposición, de este modo a medida que los periodos de exposición y concentración se extienden, existe la posibilidad de que los efectos se vuelvan persistentes y de larga duración (Poulin & Gibb, 2008). La Tabla 2 ofrece una visión detallada de las enfermedades principales que pueden surgir como consecuencia de la exposición del cuerpo al mercurio.

La evaluación del nivel de exposición de un individuo se lleva a cabo mediante análisis específicos, empleando tres biomarcadores diferentes: la presencia de mercurio en la sangre, en el cabello y en las uñas, lo que permite determinar con precisión el grado de exposición que ha experimentado (Raimann, Lorena Rodríguez, Chávez, & Torrejón, 2014).

Tabla 2. Efectos en la salud causados por el mercurio.

Efectos sistema	Trastornos neurológicos y de conducta
Nervioso	Déficit de las funciones cognitivas y motoras
Efectos renales	Proteinuria transitoria macroscópica
	Alteraciones de la excreción urinaria
	Hematuria

	Insuficiencia renal
Efectos	Elevación de la presión renal
Cardiovasculares	Aumento de la frecuencia cardiaca
	Toxicidad cardiovascular
Efectos cutáneos	Dermatitis
	Acrodinia
Efectos respiratorios	Disnea
	Opresión en el pecho
	Neumonitis
	Disminución en la función respiratoria
	Obstrucción vías respiratorias
	Hiperinsuflación
	Edema pulmonar
	Fibrosis por neumonía lobular

Nota. Se muestran los efectos que causan los distintos metales según el autor Poulin. **Fuente:** (Poulin & Gibb, 2008).

7.15. Material orgánico del bagaje de la caña de maíz

El material orgánico del bagazo de la caña de maíz es un residuo de la producción de caña de maíz que puede ser utilizado para producir biochar y reducir la contaminación de metales pesados en el agua. El bagazo de la caña de maíz es un residuo orgánico que se genera en la producción de caña de maíz. Este residuo puede ser utilizado para producir biochar mediante el proceso de pirólisis. Según un artículo publicado en el Repositorio de la Universidad César Vallejo (Alfaro, 2017) el residuo orgánico como es el bagazo de caña de maíz muchas veces termina en la basura causando contaminación por descomposición de la materia orgánica al ambiente.

Un estudio realizado en Ecuador (Unisalle, 2017) evaluó la eficiencia del biochar producido a partir de pirólisis lenta del bagazo de caña como medio filtrante para la adsorción del cromo presente en aguas residuales dicho biocarbón obtenido del material orgánico del bagazo de la caña de maíz bajo el enfoque de diversos estudios han evaluado la eficiencia del biochar producido a partir del bagazo de caña de maíz para la adsorción de metales pesados en aguas residuales.

Pues el maíz es una monocotiledónea de 60-80 cm de altura, con una raíz fibrosa y pocos brotes, los lóbulos laterales en forma de flecha de las hojas forman un tallo en la parte superior de la planta, que está cubierto de hojas y actúa como pedúnculo las hojas que salen de los nudos son alternativamente lanceoladas y puntiagudas, con hojas pequeñas y pálidas que se alternan entre los nudos. La parte superior de la planta consta de un tallo central y varios tallos laterales con granos de polen (tallos masculinos en un haz dominante). Las inflorescencias son poligonales a lo largo del eje central y están protegidas por dos tallos (superior e inferior). El tallo estéril es ovalado, membranoso y sin nervaduras, mientras que el tallo fértil es redondeado y sin nervaduras. Ambas inflorescencias tienen cimas pareadas (Paliwal, 2001).

7.16. Composición del maíz

Las distintas partes de la planta de maíz, ya que cada una de ellas tiene una composición diferente. El endospermo se compone principalmente de almidón, con diversas proteínas y una pequeña cantidad de aceite. La mayor parte del contenido de aceite se encuentra en el grano rico en proteínas. El azúcar, por su parte, se almacena principalmente en el grano (Paliwal, 2001). El almidón (amilosa (25-30%) y amilopectina (70-75%)) representa el 72-73% en peso del grano de maíz. Otros hidratos de carbono son los monosacáridos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, que representan el 1-3% del grano (FAO, 2002).

7.16.1. Propiedades físicas del tallo del maíz

El tallo del maíz está formado por varios tejidos que le dan fuerza y flexibilidad. La capa externa del tallo, conocida como epidermis, está formada por células delgadas y transparentes que protegen al tallo de la pérdida excesiva de agua. Debajo de la epidermis hay una corteza compuesta principalmente de células parenquimatosas que almacenan nutrientes. En el centro del tallo hay un cilindro vascular, que contiene tejidos conductores responsables del transporte de agua y nutrientes. El tallo de maíz tiene las siguientes propiedades físicas:

7.16.1.1. Forma

El tallo de maíz es cilíndrico y hueco es simple, y erguida, puede alcanzar una altura de hasta 4 metros y no tiene ramas el tallo del maíz tiene una capa transparente llamada epidermis que protege a la planta contra posibles amenazas de insectos u otras enfermedades. La pared del tallo es la capa dura por donde transitan las sustancias que lo alimentan y la médula del tallo es un tejido esponjoso y blanco en donde se almacenan los azúcares (Dr. Maria Rodríguez, 2023).

7.16.1.2. Estructura

El tallo de maíz se compone de tres capas.

Epidermis: Esta es una capa transparente que protege a la planta de posibles amenazas de insectos y enfermedades.

Pared: Es una capa dura por donde circulan sustancias que nutren el tallo.

Duramen: Este es el tejido fofo y esponjoso que se encuentra dentro del tallo y donde se almacenan los azúcares.

7.16.1.3. Resistente

El tallo de maíz es resistente a vientos fuertes, sequías y suelos deficientes en nutrientes. En cuanto a la resistencia mecánica, el tallo de maíz es capaz de soportar el peso de la planta y resistir fuerzas externas como el viento, ya que esto se debe a la disposición de las fibras de celulosa en forma de haces, fuertes y resistentes a la compresión. Además, la presencia de lignina en las paredes celulares aumenta la resistencia a la tracción del tallo.

Otra propiedad física importante del tallo de maíz es su capacidad de transporte. A través del cilindro vascular, el tallo transporta agua y nutrientes desde las raíces hasta las hojas y otras partes de la planta. A mención de la Dr. María Rodríguez alude que el agua se transporta a través de los vasos de la xilema, que son tubos largos y delgados que van desde las raíces hasta las hojas. Por otro lado, el transporte de nutrientes ocurre a través de los vasos del floema, que son tubos más pequeños y participan en el transporte bidireccional.

7.16.2. Propiedades químicas del tallo del maíz

El tallo de maíz es una parte importante de la planta, con varias propiedades químicas que son relevantes para su uso y aplicación. Estas propiedades influyen en su composición química, contenido de nutrientes, contenido de fibra y degradabilidad (Dr. María Rodríguez, 2023). De este modo la composición química del tallo del maíz varía dependiendo de varios factores, como la variedad del maíz, el grado de madurez y las condiciones de crecimiento, por lo que se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina.

Celulosa: Este es un polisacárido compuesto por unidades de glucosa, que es la principal fuente de fibra en el tallo. La hemicelulosa también es un polisacárido, pero se compone de varios azúcares como la xilosa, la arabinosa y la manosa.

Lignina: Este es un polímero complejo que proporciona rigidez y estabilidad al tallo. Además de estos componentes principales, el tallo del maíz también contiene otros compuestos químicos como proteínas, lípidos, minerales y vitaminas.

Proteínas: Son importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas y pueden constituir hasta el 10% del peso seco del tallo.

Lípidos: están presentes en menor cantidad y realizan funciones estructurales y energéticas. Los minerales presentes en el tallo incluyen calcio, magnesio, potasio y fósforo, entre otros. Las vitaminas presentes en el tallo son principalmente del grupo B, como la tiamina (vitamina B1) y el ácido fólico.

En términos de contenido de nutrientes, el tallo de maíz es relativamente bajo en proteínas y lípidos en comparación con otros componentes de la planta, como las semillas. Sin embargo, es una buena fuente de fibra dietética, especialmente celulosa y hemicelulosa. La fibra dietética es importante para la salud digestiva y puede ayudar a prevenir enfermedades como la obesidad, la diabetes tipo 2 y las enfermedades cardíacas. En mención a la Dr. María Rodríguez señala que la propiedad química importante del tallo de maíz es su capacidad de debilitamiento.

Debido a la rica composición de celulosa y hemicelulosa, los tallos de maíz son fácilmente biodegradables. Esto significa que puede descomponerse naturalmente en el suelo con la ayuda de microorganismos como bacterias y hongos. Esta capacidad de producción convierte a los tallos de maíz en una fuente renovable y sostenible de materia orgánica para la agricultura y

otros fines como la generación de biocarbón o biochar para remediar las aguas y suelos contaminados por las actividades antropogénicas.

7.16.3. Ciencia vegetal del tallo de maíz.

La planta del maíz tiene una carrera sólida que se desarrolla con facilidad y produce todos los años. El tallo es simple, recto, largo, puede alcanzar una altura de 4 metros y es permanente sin consecuencias. Recordemos por su aspecto que no se forma tallo cuando se corta con semillas esponjosas.

7.16.3.1. Inflorescencia

La inflorescencia del maíz es unisexual, con inflorescencias masculinas y femeninas separadas en la misma planta. La inflorescencia masculina tiene espiguillas de color amarillo (normalmente llamadas flores de araña o anulares) con un recuento de polen muy elevado (20-25 millones). Cada inflorescencia tiene tres estambres que liberan polen. Las inflorescencias femeninas son las más pequeñas, con unos 800-1000 granos de polen, y están formadas por estructuras vegetativas llamadas estípulas.

7.16.3.2. Hojas.

Las hojas son largas, grandes, lanceoladas, alternas y paralelas. Están enrolladas alrededor del tallo y presentan penachos en el anillo radial. Las puntas de las hojas son muy afiladas y puntiagudas.

7.16.3.3. Características.

Las raíces son numerosas y su función es anclar firmemente la planta. En algunos casos, se aprecian raíces individuales en la superficie, que suelen pertenecer a raíces secundarias o laterales. Las semillas se siembran antes de la primera luz, por lo que el tiempo reflejado de crecimiento rápido de las plántulas es de 8-10 días.

7.17. Biochar

También denominado como biocarbón este es el producto obtenido de la descomposición térmica de residuos orgánicos, en un ambiente con baja disponibilidad de oxígeno y temperaturas que pueden variar de 250 a 700 °C, a través del proceso denominado pirólisis (Lehmann & Joseph, 2015). Los biochares, en comparación con la biomasa in natura, tienen la ventaja de proporcionar nutrientes y carbono al suelo y al agua, lo que puede cambiar los atributos químicos, debido a la transformación del carbono de cadena abierta en carbono de estructura aromática estable, a través de interacciones dinámicas y reversibles con nutrientes y Partículas minerales en el suelo. De esa forma, coadyuvando en la retención, disponibilidad y aumento de nutrientes, promoviendo un mejor desempeño nutricional de las plantas cultivadas en vivero o en campo.

7.17.1. Funciones del Biochar

El biochar es un material poroso y carbonoso producido a partir del pirólisis de materia orgánica, como madera, residuos agrícolas o estiércol. Tiene varias funciones importantes en diversas aplicaciones, incluyendo:

7.17.1.1. Mejora del suelo

El biochar puede mejorar la estructura y la capacidad de retención de agua del suelo, lo que puede aumentar el rendimiento de los cultivos. Además, el biochar puede servir como un medio para la colonización de microorganismos beneficiosos del suelo, lo que puede mejorar la salud del suelo y aumentar la fertilidad.

7.17.1.2. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

La producción de biochar puede ser una forma de secuestrar carbono de la atmósfera y almacenarlo en el suelo durante períodos prolongados de tiempo. Además, la utilización de biochar como combustible puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la quema de combustibles fósiles.

7.17.1.3. Tratamiento de aguas residuales

El biochar puede ser utilizado como un medio eficaz para la eliminación de contaminantes de las aguas residuales, como metales pesados y productos químicos orgánicos.

7.17.2. Características del biochar

El biocarbón o biochar es también conocido como carbón vegetal, este es un material orgánico producido por el pirólisis de biomasa, como desechos agrícolas, madera o estiércol (María Luz Cayuela, 2013). De este modo el biochar tiene una estructura porosa que se lo utiliza en una variedad de aplicaciones, como la agricultura, la mejora del ambiente y la reducción de energía pues algunas de las características del biochar son:

7.17.2.1. Estructura porosa

El biocarbón tiene una estructura muy porosa debido al proceso de pirólisis al que se somete la biomasa. Esta estructura porosa permite una alta capacidad de retención de agua y nutrientes, lo que lo convierte en un excelente mejorador de suelos en la agricultura.

7.17.2.2. Estabilidad química

Biochar es químicamente estable y no se descompone fácilmente en el suelo. Esto significa que persiste en el suelo durante mucho tiempo, lo que requiere beneficios a largo plazo para la fertilidad del suelo y la retención de nutrientes.

Capacidad de adsorción: Biochar tiene una alta capacidad de adsorción, lo que significa que puede retener y almacenar compuestos orgánicos e inorgánicos en su estructura porosa. Esto incluye nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, así como contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el suelo.

7.17.2.3. Mejora de la calidad del suelo

El biocarbón mejora la calidad del suelo al aumentar la capacidad de retención de agua y nutrientes, mejorar la estructura del suelo y aumentar la actividad microbiana beneficiosa.

También ayuda a reducir la erosión del suelo y la lixiviación de nutrientes, contribuyendo a la conservación del suelo y la protección del medio ambiente.

7.17.2.4. Estabilidad térmica

El biocarbón es resistente a altas temperaturas debido al proceso de pirólisis al que se somete durante su producción. Proporciona una alta estabilidad térmica, lo que significa que puede conservar sus propiedades físicas y químicas incluso en condiciones extremas.

7.17.2.5. Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero

El uso de biocarbón en la agricultura puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂) y el óxido nitroso (N₂O). Esto se debe a que el biocarbón actúa como sumidero de carbono, almacenando carbono en el suelo durante largos períodos de tiempo.

7.17.3. Propiedades del biochar

Citando a la autora (Maria Luz Cayuela, 2013), una de las principales propiedades del biocarbón es su capacidad de retener agua en el suelo. Pues bien, debido a su estructura porosa, el biocarbón o biochar puede retener una gran cantidad de agua, lo que ayuda a mantener la humedad del suelo durante los periodos de sequía. Esto es especialmente útil en regiones secas o estaciones secas. Por lo tanto, el biocarbón, al tiempo que retiene agua, también tiene la capacidad de suspender los nutrientes en el suelo. Por esta razón, debido a su gran área de superficie específica y carga eléctrica negativa, el biocarbón puede adsorber nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, evitando así que se filtren y se pierdan en el suelo. Esto asegura una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas y reduce la necesidad de fertilizantes químicos.

De este modo, otra propiedad importante del biocarbón es su capacidad para mejorar la estructura del suelo. Cuando se mezcla con el suelo, el biocarbón ayuda a crear agregados

estables que mejoran la aireación y la porosidad del suelo. Promueve el crecimiento de las raíces de las plantas, promueve la actividad microbiana beneficiosa y mejora la infiltración de agua en el suelo.

Además de sus propiedades físicas, el biocarbón también tiene propiedades químicas beneficiosas. El proceso de carbonización en la producción de biocarbón convierte los compuestos orgánicos en formas que son más estables y menos propensas a la combustión. Esto significa que el biocarbón puede permanecer en el suelo durante mucho tiempo, necesita beneficios a largo plazo.

Biochar también puede ayudar a reducir la contaminación del suelo y el agua. Debido a su alta capacidad de adsorción, el biocarbón puede atrapar y retener contaminantes orgánicos e inorgánicos, como metales pesados y compuestos orgánicos persistentes. Esto ayuda a evitar que los contaminantes se filtren a las aguas subterráneas y reduce su disponibilidad para las plantas.

El biocarbón también tiene un impacto positivo en el medio ambiente y el cambio climático. Mediante la captura constante de carbono, el biocarbón ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, al mejorar la calidad del suelo y aumentar la eficiencia en el uso de nutrientes, el biocarbón puede contribuir a una agricultura más resiliente y resiliente al clima.

7.17.4. Funciones del biochar

Las funciones que posee el biochar ya que, al ser un material carbonoso resultante del pirólisis de biomasa, y al tener una estructura porosa, le confiere propiedades únicas y beneficiosas para el agua y el suelo de tal manera que algunas de las funciones del biocarbón en el agua y el suelo son:

7.17.4.1. Mejora la retención de agua

Biochar tiene una alta capacidad de retención de agua debido a su estructura porosa. Cuando se aplica al suelo, actúa como una esponja, absorbiendo y reteniendo el agua disponible para las plantas. Esto es especialmente útil en suelos arenosos o suelos con baja capacidad de retención de agua, ya que ayuda a evitar sequías y mejora la disponibilidad de agua para las plantas.

7.17.4.2. Aumenta la capacidad de intercambio de cationes

Tiene una alta capacidad de intercambio de cationes (CEC), lo que significa que puede retener y liberar nutrientes en el suelo. Cuando se aplica al suelo, el biocarbón puede absorber nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, evitando que se eliminen y se pierdan. Además, el biocarbón puede liberar gradualmente estos nutrientes a medida que las plantas los necesitan, mejorando así la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

7.17.4.3. Mejora la calidad del agua

Biochar también puede desempeñar un papel importante en la mejora de la calidad del agua. Cuando se usa en sistemas de filtración, el biocarbón puede absorber contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua, como metales pesados, pesticidas y compuestos orgánicos volátiles. Esto ayuda a reducir la contaminación del agua y mejorar la calidad del agua.

7.17.4.4. Estabiliza el pH del suelo

Biochar tiene la capacidad de estabilizar el pH del suelo al evitar cambios repentinos en la acidez o alcalinidad del suelo. Esto es especialmente útil en suelos ácidos, ya que puede elevar el pH y mejorar las condiciones para el crecimiento de las plantas.

7.17.4.5. Promueve la actividad microbiana

Biochar proporciona un hábitat favorable para los microorganismos benéficos del suelo, como bacterias y hongos. Estos microorganismos juegan un papel fundamental en la

descomposición de la materia orgánica, el ciclo de nutrientes y la mejora de la estructura del suelo. Al promover la actividad microbiana, el biocarbón contribuye al mantenimiento de un suelo saludable y fértil.

7.17.5. Síntesis del biochar

El biocarbón está formado por carbono, cenizas y compuestos orgánicos volátiles. Para tener una alta capacidad de secuestro de carbono, el biocarbón debe contener menos del 80% de compuestos orgánicos volátiles, una relación O/C inferior a 0,2 y una relación H/C inferior a 0,4 (española, 2014).

La materia prima es un factor que influye en la composición del biocarbón, así como la temperatura de producción, ya que la cantidad de carbono contenida en el biocarbón es inversamente proporcional al rendimiento del biocarbón. Concretamente, a 300-800 °C puede contener 56-93% de carbono, pero el rendimiento disminuye a 67-26% y el contenido en cenizas es de 0,67-1,26% con el aumento de la temperatura (española, 2014).

7.17.6. Factores que afectan a las propiedades físicas del biochar

Las propiedades físicas del biochar, un material carbonoso producido por el pirólisis de biomasa, son afectadas principalmente por la materia prima utilizada, la temperatura y el tiempo de pirólisis durante su producción (Lehmann & Joseph, 2015)., lo que influye en su porosidad y superficie específica. El tamaño de partícula, la composición mineral de la biomasa y los tratamientos posteriores, como la activación, también desempeñan un papel en la modificación de sus propiedades físicas. Las condiciones de almacenamiento a lo largo del tiempo también pueden impactar su estabilidad y estructura. Estas propiedades físicas tienen un impacto directo en su capacidad para retener agua, nutrientes y su aplicabilidad en áreas agrícolas y medioambientales.

7.17.6.1. Condiciones del proceso de pirólisis

La temperatura es importante en la producción de biocarbón, con temperaturas más altas que aumentan el contenido de gases volátiles y reducen el área superficial, pero a 400-600 °C, el pirólisis del biocarbón puede tener rendimientos uniformes, alta área superficial y alta capacidad de adsorción (Ahmad et al. 2014). Indudablemente, el impacto del tiempo de residencia y la tasa de calentamiento emergen como un aspecto crucial en la relación con el contenido de compuestos volátiles presentes en el biocarbón, como lo sugiere las conclusiones de (Pandey, 2020). Estos dos factores interactúan de manera intrincada para influir en la composición química y física del biocarbón resultante.

7.17.6.2. Composición de la materia prima:

Este factor influye directamente en la producción de biocarbón, ya que afecta a la capacidad de adsorción de carbono, la composición del carbono, el rendimiento y el contenido de cenizas (Pandey et al. 2020).

7.17.6.3. Impacto ambiental del biocarbón

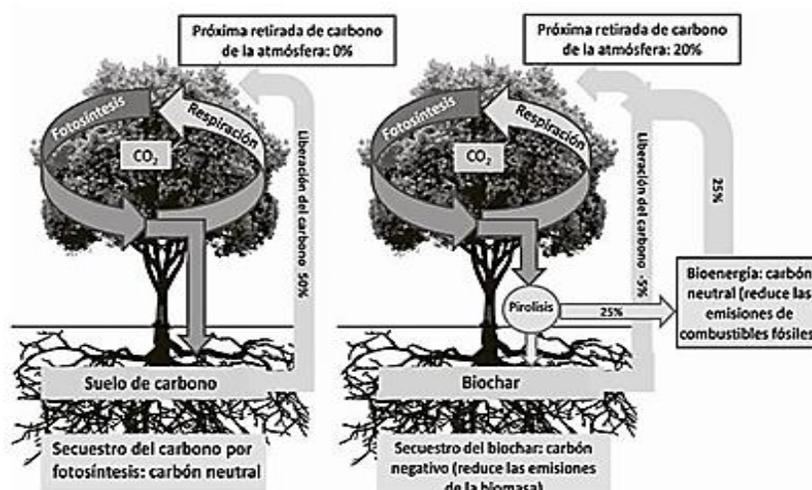
El biocarbón tiene propiedades de adsorción que le permiten capturar y retener metales pesados presentes en el agua, reducir así la concentración de contaminantes y mejorar la calidad del agua, el impacto ambiental del biocarbón según estudios estos son:

7.17.6.3.1. Reducción de las emisiones de dióxido de carbono

El biocarbón contiene entre un 50 y un 85% de carbono y los estudios han demostrado que, cuando se añade al suelo, secuestra carbono y reduce las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, como se muestra en la Figura 1 (Cueto, 2016). De este modo gracias a sus propiedades no pegajosas, el biocarbón o biochar puede actuar como filtro de carbono, ralentizando el proceso de descomposición en el suelo y el agua consecuentemente así retrasando la liberación de carbono a la atmósfera. (Olmo, 2016) Postula

que la utilización del biochar o biocarbón en su aplicación tanto como el suelo y agua han demostrado que reduce las emisiones de dióxido de carbono en un 68%.

Anexo 1. Ciclo del carbono con y sin aplicación de biochar.



Fuente: cueto, 2016.

Nota. El presente anexo muestra los efectos de implementar el biochar a nivel del suelo.

7.17.6.3.2. Depuración de aguas contaminadas por medio del biochar

El biocarbón cargado negativamente puede absorber metales pesados del agua contaminada por diversos procesos antropogénicos; los metales son absorbidos y retenidos en los poros del biocarbón. Para conseguir la máxima eliminación de metales pesados, es necesario aplicar la cantidad óptima de biocarbón en el momento óptimo, lo que se ha determinado en análisis anteriores (Lima, Boateng y Klasson, 2010).

Según los estudios realizados, el biocarbón adsorbe bien los iones de metales pesados presentes en el agua. El biocarbón tiene una mayor capacidad de adsorción que el carbón activado y también se logró la eliminación de fosfato con una tasa de eliminación del 73% (Ramos, 2012).

7.17.7. Generación de biochar en el Ecuador

El biochar es un producto generado a partir del pirólisis de materiales orgánicos como residuos agrícolas, residuos forestales, residuos de poda, entre otros. Este producto tiene la capacidad de retener nutrientes, mejorar la calidad del suelo y reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Además, también puede ser utilizado para la remediación de suelos y aguas contaminadas gracias a su capacidad de absorción.

En Ecuador, la generación de biochar se está convirtiendo en una práctica cada vez más común, especialmente en el sector agrícola. Sin embargo, aún no se ha explorado completamente su uso para la remediación de aguas contaminadas.

Una de las posibles aplicaciones del biochar en la remediación de aguas contaminadas en Ecuador es el uso como material filtrante en sistemas de tratamiento de aguas residuales. El biochar podría ser utilizado como un medio de filtración en filtros de arena o en sistemas de tratamiento de humedales construidos. Estos sistemas podrían ser implementados en áreas rurales donde no hay acceso a sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales.

Otra aplicación potencial del biochar en la remediación de aguas contaminadas en Ecuador podría ser su uso como un adsorbente para remover contaminantes del agua. Por ejemplo, el biochar podría ser utilizado para remover metales pesados y otros contaminantes de las aguas residuales generadas por la minería y otras actividades industriales. Consecuentemente la generación de biochar en Ecuador ofrece una oportunidad para la remediación de aguas contaminadas, y su uso en sistemas de tratamiento de aguas residuales y como adsorbente para remover contaminantes del agua podría ser una estrategia efectiva y sostenible para mejorar la calidad del agua en el país.

7.17.8. Interacción del biochar con metales pesados

Los mecanismos de adsorción y sorción de metales pesados por el biocarbón son procesos fisicoquímicos que ocurren durante la interacción del biocarbón con los metales

pesados. Estos mecanismos son responsables de la capacidad del biocarbón para adsorber y retener metales pesados. Algunos de los mecanismos implicados:

Atracción electrostática: el biocarbón tiene una carga superficial que puede atraer metales pesados cargados positivamente. Esta atracción se debe a las interacciones electrostáticas entre los grupos funcionales del biocarbón y los metales pesados.

Intercambio de iones: Biochar puede intercambiar iones con metales pesados presentes en el medio ambiente acuático. Esto se debe a la presencia en la superficie del biocarbón de grupos funcionales capaces de intercambiar iones con metales pesados.

Complejización: el biocarbón puede formar complejos químicos con metales pesados, lo que incluye la formación de enlaces químicos entre el biocarbón y los metales pesados. Esta complejidad puede aumentar la capacidad de adsorción del biocarbón.

A demás en mención de (Eduardo, 2021) la capacidad de adsorción del biocarbón para metales pesados se ve afectada por varias propiedades del biocarbón como el área superficial específica del biocarbón es importante para su capacidad de adsorción. Cuanto mayor sea el área superficial, mayor será la capacidad de adsorción del biocarbón, la formación de macro y microporos pues la presencia de poros en el biocarbón, tanto a nivel macro como micro, aumenta su capacidad de adsorción, proporcionando más lugares para la adsorción de metales pesados y los grupos funcionales presentes en la superficie del biocarbón pueden interactuar con los metales pesados y aumentar su capacidad de adsorción. Algunos ejemplos de grupos funcionales son los grupos hidroxilo, carboxilo y amino.

Hay varios estudios previos sobre el uso de biocarbón para eliminar metales pesados de los sistemas de agua (Andrea Ximena, 2019) menciona que estos son algunos de usos que se aplican:

El biocarbón empelado para restaurar el suelo a través de las técnicas de sorción que suceden en la interacción del metal y el biocarbón, lo que implica varios componentes físico-químicos además de un reconocimiento metodológico biológicas in situ para la remediación de suelos y aguas contaminados con metales pesados: Biochar y Fitorremediación.

El empleo del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas ha demostrado la eficacia del biocarbón en la eliminación de metales pesados de los sistemas acuosos e investigaron los mecanismos de adsorción y sorción involucrados en esta interacción.

7.18. Pirólisis

Método de descomposición térmica de materia orgánica en ausencia de oxígeno para obtener productos como bioazúcar, petróleo y gas. Este proceso produce productos útiles para una amplia gama de aplicaciones (Mateos, 2018).

El proceso se lleva a cabo bajo ciertas condiciones, como la velocidad de calentamiento, el tamaño de partícula y la temperatura, y los productos obtenidos del pirólisis pueden utilizarse como combustible (Castro, 2018).

Los principales tipos de pirólisis son los siguientes

7.18.1. Pirólisis lento.

El pirólisis lento es un método de producción de biocombustibles con una temperatura inferior a 600 °C y un tiempo de calentamiento de aproximadamente 0,1 - 2 °C por segundo. El pirólisis produce bioazúcar de alta calidad y el proceso puede producir un 35% de bioazúcar, un 30% de aceite y un 35% de gas (Zaman et al., 2017).

Para que la adsorción sea efectiva, el biocarbón debe producirse en las condiciones adecuadas, por lo que suele obtenerse mediante pirólisis lenta para obtener un biocarbón alcalino con alta capacidad de intercambio catiónico (Martínez & Bohórquez, 2017).

La ventaja del pirólisis lento es que se retiene hasta el 50% del contenido de carbono del biocarbón, lo que se traduce en una baja producción de biocarbón (Baguer, 2015).

7.18.2. Pirólisis rápido

El pirólisis rápido se consigue mediante un calentamiento rápido a alta temperatura utilizando materias primas con un contenido de humedad del 10%. Este tipo de pirólisis se utiliza para la producción de biocombustibles líquidos, ya que tiene una eficiencia del 60-75% (Urien, 2013). De este modo la pirolisis es un proceso termoquímico utilizado para convertir la biomasa en biocarbón que es producido a través de la descomposición térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno. Este proceso se lleva a cabo a altas temperaturas, generalmente entre 400 y 700 grados centígrados, y en un período de tiempo muy corto.

De tal manera se la considera una forma eficiente de producir biocarbón debido a su alta velocidad de reacción y su capacidad para retener una mayor proporción de carbono en comparación con otros métodos de pirólisis. Por lo tanto, este proceso también puede generar otros productos valiosos, como gases inflamables y líquidos pirolíticos, que pueden utilizarse como fuentes de energía renovable.

El biocarbón producido por pirólisis rápida tiene varias aplicaciones potenciales ejemplo de esto es uno de los principales en su uso como enmienda al suelo agrícola. El biocarbón puede mejorar la calidad del suelo aumentando la capacidad de retención de agua y nutrientes, fomentando el crecimiento de microorganismos beneficiosos y reduciendo la filtración de nutrientes a las aguas subterráneas. Además, el biocarbón también puede ayudar a mitigar el cambio climático al absorber carbono en el suelo durante un largo período de tiempo.

La biomasa utilizada como materia prima para el pirólisis rápido puede provenir de diversas fuentes, como residuos agrícolas, residuos forestales, cultivos energéticos y residuos

orgánicos municipales. La selección de la biomasa adecuada depende de varios factores, como la disponibilidad local, el costo y las características finales deseadas del biocarbón.

8. MARCO LEGAL

8.1. Constitución de la República del Ecuador

De conformidad con la Constitución de la República del Ecuador, Registro Oficial 449, promulgada el lunes 20 de octubre de 2008. Haciendo referencia a los Derechos, Capítulo II Derecho a una Vida Digna y Ambiente Sano, en mención a los Artículos 12 y 411.

8.1.1. Artículo 12.

El Estado declara que el acceso de los seres humanos al agua es un derecho fundamental e inalienable. El agua es un bien nacional estratégico, inviolable e insustituible, utilizado para el bien común y el mantenimiento de la vida.

8.1.2. Artículo 411.

En este artículo, el Estado garantiza la protección, conservación, restauración y gestión integrada de todos los recursos hídricos. Además, el Estado regula todas las actividades que puedan afectar la calidad y cantidad del agua y su equilibrio ecológico, especialmente en los recursos hídricos y las cuencas hidrográficas. La sostenibilidad de todos los ecosistemas y del consumo humano es una prioridad en el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos.

8.2. Código Orgánico Ambiental

El Código Orgánico del Ambiente, (2017) menciona en los siguientes artículos:

8.2.1. Artículo 191.

Las autoridades competentes promoverán la información e investigación sobre la contaminación del aire, agua y suelo para determinar sus causas, consecuencias y alternativas para reducirla.

8.2.2. Artículo 209.

La Agencia Estatal de Protección Ambiental publicará normas técnicas, procedimientos de muestreo y métodos analíticos para la caracterización de emisiones y vertimientos de conformidad con lo dispuesto en este artículo

8.3.Reglamento a la LORHUyA

Según el Reglamento Ley Recurso Hidricos Usos y Aprovechamientos del Agua, (2015) menciona los siguientes artículos:

8.3.1. Art. 8.

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

8.3.2. Art. 34.

Principios Generales. - La planificación hídrica se orientará a la satisfacción de las demandas de agua y a la protección del recurso y de los ecosistemas en los que ésta se encuentra.

8.4. TULSMA.

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

Tabla 3. 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		Unidad	Criterios de calidad
Mercurio	Hg	Mg/litro	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 estuario

Mercurio	Hg	Mg/litro	0,0002	0,0001
Tabla 3: Criterios De Calidad De Aguas Para Riego Agrícola				
Mercurio	Hg	Mg/litro	Valor máximo	
			0.01	

Fuente: (MAE).

Nota: La presente tabla demuestran los valores permisibles establecidos dentro de la normativa de calidad por el ministerio del ambiente agua y transición ecológica.

9. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS.

9.1.Hipótesis nula

La producción de biochar a partir de residuos orgánicos del bagazo de la caña de maíz no tiene un efecto significativo en la reducción de la contaminación de aguas con (Mercurio) a nivel de laboratorio.

9.2.Hipótesis Alternativa

La producción de biochar a partir de residuos orgánicos del bagazo de la caña de maíz tiene un efecto significativo en la reducción de la contaminación de aguas con (Mercurio) a nivel de laboratorio.

10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1. Enfoque

El enfoque del actual proyecto de investigación es mixto debido que se emplea un enfoque cualitativo y el uso de bibliografías entre otros recursos debido que la producción de biocarbón a partir de residuos orgánicos del bagazo de la caña de maíz puede ser una solución para reducir la contaminación en las aguas con metales pesados. En mención a (Robelleo, 2016) hace referencia que el proceso de producción de biochar implica la selección del bagazo de la caña de maíz, su preparación y la pirolisis para obtener el biochar. Es importante caracterizar el biocarbón producido y evaluar su capacidad de adsorción de metales pesados en el agua

contaminada. La bibliografía consultada destaca que el biochar producido a partir de residuos orgánicos puede ser una solución efectiva para la mitigación de la contaminación con metales pesados en las aguas.

10.2. Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica juega un papel crucial en el estudio y desarrollo de la producción de biocarbón a partir de residuos orgánicos. Esta metodología implica la revisión minuciosa de artículos científicos relevantes que aborden los diferentes aspectos de este proceso. Al adentrarse en la literatura científica, se pueden identificar patrones, tendencias y enfoques innovadores que enriquecen nuestra comprensión sobre la generación de biocarbón y sus aplicaciones.

Uno de los principales beneficios de realizar una investigación bibliográfica en este contexto es la posibilidad de acceder a una amplia gama de información consolidada y actualizada. Los artículos científicos seleccionados brindan una visión detallada de los procesos y metodologías empleadas para la creación de biochar a partir de diversos residuos agrícolas. Estos recursos también ofrecen información relevante sobre la valorización y caracterización de residuos como el bagazo de caña, presentando cómo estos materiales pueden ser transformados en compuestos útiles mediante la generación de biocarbones.

Los artículos científicos localizados mediante la investigación bibliográfica proporcionada un análisis exhaustivo de los métodos experimentales utilizados en la producción de biocarbón. Detallan los pasos, las variables clave y las técnicas aplicadas para lograr la conversión eficiente de residuos orgánicos en biochar de alta calidad. Además, estos recursos también aportan una perspectiva valiosa sobre los resultados obtenidos en los procesos de producción, incluyendo los rendimientos, propiedades físicas y químicas del biocarbón resultante.

La información recopilada a través de la investigación bibliográfica no solo ayuda a comprender los aspectos técnicos y científicos de la producción de biocarbón, sino que también facilita la identificación de posibles áreas de mejora y optimización. Los estudios previos pueden revelar desafíos superados, lecciones aprendidas y enfoques novedosos que podrían ser aplicados en investigaciones futuras. Además, esta metodología permite detectar brechas en el conocimiento y áreas donde la investigación sería beneficiosa adicional para avanzar en el campo del biocarbón y su contribución a la sostenibilidad y la gestión de residuos orgánicos.

10.3. Tipo de investigación

Según (Grajales, 2000) el tipo de investigación fue experimental debido a que se analizó el efecto que produce el biochar a partir del bagaje de la caña de maíz al aplicarlo en diferentes variables sobre el agua contaminada por metales pesados. Del mismo modo la investigación descriptiva nos permitió describir cómo actúa el biochar al ser aplicada en diferentes dosis y variables, ayudada de la investigación a nivel de laboratorio donde se mide las variables y características que posee el biochar en estudio, obteniendo los resultados estadísticos.

10.4. Observación directa

La observación directa permitió la recolección de datos mediante la observación de los procesos de producción de biochar y su aplicación en la remediación de la contaminación de aguas con metales pesados en un ambiente de laboratorio. Esta observación puede llegar a incluir la medición de variables como la cantidad de residuos orgánicos utilizados, la temperatura y el tiempo de pirólisis, la cantidad de biochar producido, la eficacia del biochar en la adsorción de metales pesados. La observación directa puede ser complementada con otras técnicas de recolección de datos, como la medición de pH, porosidad, densidad real y densidad aparente que se pueden llegar a obtener a nivel de laboratorio.

10.5. Método de recolección de biomasa

El material orgánico recolectado se adquirió mediante la compra dentro de los mercados populares presentes en la provincia, específicamente en el cantón de Salcedo, en su conocida feria popular de ganado. Esta elección se basó en la utilidad constante que dicho material posee como alimento para el ganado vacuno. La obtención del material destinado a la producción del biochar se llevó a cabo mediante la adquisición directa a los productores agrícolas de la zona.

Debido al necesario proceso de secado completo, se obtuvo el material necesario para nuestro propósito mediante la colaboración de una persona residente en la zona rural. La decisión de obtenerlo de esta fuente se fundamentó en su valioso aporte como alimento para el ganado vacuno. Esta persona no solo proporcionó el material requerido, sino que también brindó información sumamente valiosa que resultó fundamental en nuestro proceso de generación de biochar.

Esta colaboración local desempeñó un papel crucial en el éxito de nuestro proyecto, ya que la participación de la comunidad rural no solo facilitó la obtención del material orgánico necesario, sino que también enriqueció nuestra comprensión de las prácticas tradicionales relacionadas con la alimentación del ganado. La información compartida por esta fuente local se convirtió en un componente esencial para nuestro proceso de generación de biocarbón, permitiéndonos optimizar y adaptar nuestros métodos a la realidad y las necesidades del entorno rural.

10.6. Selección y tratamiento de la muestra de la biomasa

Para la ejecución de este proyecto de investigación se hizo la propuesta por fases: tratamiento de la materia prima, producción del biochar y caracterización del biochar, así como el análisis físico químico, evaluación de adsorción del mercurio, análisis estadístico de los resultados como se detalla en el siguiente organizador:

Tabla 4. *Etapas de producción.*

Etapa	Procedimiento	Método
Fase 1	Elección de la materia prima a utilizar previa a la obtención del biochar	<p>Secado</p> <p>Tiempo: 60 Días</p> <p>Temperatura: Ambiente</p>
Fase 2	Tratamiento mecánico	<p>Corte</p> <p>Tamaño: 1cm²</p> <p>Colocación de cada material a usar dentro del crisol (Anexo fase 2) para la quema y obtención del biochar</p>
Fase 3	Pirolisis asistida	<p>Pirolisis rápida:</p> <p>Tiempo: 30 minutos</p> <p>Temperatura: 500°C</p> <p>Pirolisis lenta</p> <p>Tiempo 120 minutos</p> <p>Temperatura: 400°C</p>
Fase 4	Producción de biochar	<p>Trituración del material obtenido</p> <p>Tamización del material triturado</p>

un colador con un diámetro de 1 milímetro que posee la malla.

Nota. El contenido presente muestra las fases por las cuales va a realizarse la producción del biochar.

10.7. Proceso de corte

En línea con nuestro procedimiento en la Fase N°2, procedimos a realizar el corte utilizando un estilete como herramienta guía. Posteriormente, con el objetivo de mantener la conformidad con el diámetro especificado, dispusimos de manera ordenada el material cortado en el interior de una funda plástica de tonalidad negra. Dicha funda no solo se originó para facilitar el transporte del material, sino que también cumplió un papel esencial al resguardar la integridad de los fragmentos. Una vez recopilados los segmentos vegetales, nos dispusimos a trasladarlos al punto de pesaje designado. Allí, mediante el proceso de pesaje, pudimos determinar con precisión el peso de los tallos de maíz que habían sido meticulosamente seleccionados y empleados en la subsiguiente etapa de generación del biochar.

10.7.1. Proceso de trituración

Al llevar a cabo la trituración de nuestro material cortado de manera metódica y eficiente, valiéndonos de un molino manual diseñado específicamente para este propósito. La finalidad detrás de este paso crucial radicaba en descomponer la estructura preestablecida de cada fragmento, que medía 1 cm², a fin de incrementar su superficie de exposición. La elección de esta estrategia se debió a la capacidad limitada del crisol, que solo permitió alojar una cantidad reducida de material en cada carga. Es importante destacar que la optimización del espacio y la gestión eficiente del tiempo constituyen prioridades fundamentales en nuestro proceso. Por consiguiente, tomamos la decisión de implementar la trituración como una etapa esencial para maximizar el rendimiento de la producción de nuestro biochar. Al ejecutar este

paso, logramos obtener una mayor cantidad de material triturado en comparación con si hubiéramos mantenido la estructura original de los fragmentos.

Este enfoque calculado no solo nos permitió abordar las limitaciones de espacio y tiempo de manera efectiva, sino que también contribuyó significativamente a la mejora de la calidad y homogeneidad del producto final. Así, al optimizar cada etapa del proceso, desde el corte inicial hasta la trituración subsiguiente, envió las bases para una generación de biochar más robusta y cuantiosa, en consonancia con nuestros objetivos de producción y estándares de excelencia.

10.8. Almacenamiento de el biochar.

Una vez que hemos satisfecho con precisión los parámetros específicos establecidos para nuestras variables predefinidas, así como el período previamente calculado para el proceso de enfriamiento, procederemos a cuidadosamente resguardar el producto resultante, conocido como "Biochar". Este material, con sus propiedades mejoradas y adaptadas a nuestras expectativas, será almacenado en contenedores designados especialmente para esta función. Cada uno de estos contenedores será minuciosamente etiquetado de manera correspondiente, asegurando así la trazabilidad y reconocimiento preciso de su contenido.

Estas medidas de etiquetado no solo tienen la finalidad de mantener un registro claro y sistemático del material, sino que también desempeñan un papel esencial en su futura aplicación. Los contenedores etiquetados facilitarán el proceso de selección y extracción del Biochar adecuado cuando sea necesario para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados. Este método planificado y preciso de almacenamiento no solo garantiza la conservación óptima del Biochar, sino que también establece las bases para un enfoque eficaz y coordinado en el manejo de soluciones sostenibles para la descontaminación del agua en el futuro.

10.9. Método de fractura

El método de fractura es un método simple de producción de biocarbón que consiste en quemar tallos de maíz previamente cortados al diámetro establecido y triturado para generar una mayor cantidad y eficacia al generar nuestra biocarbón. El proceso consiste en cortar los tallos de maíz en trozos pequeños y luego quemarlos en dentro de los crisoles en ausencia de aire. El proceso de ignición se inicia dentro de la mufla a una temperatura constante y el tiempo establecido. Para generar biocarbón usando el método cuarteo, siguieron estos pasos:

Cortar los tallos de maíz en trozos pequeños.

Generar el procedo de ignición dentro de la mufla

Una vez que la ignición haya cumplido con los parámetros establecidos, se deja que el biocarbón se enfríe.

Triturar el biocarbón en pedazos pequeños y tamizarlos para obtener un biochar uniforme.

10.10. Tratamiento de la materia orgánica

Para el tratamiento de la materia orgánica se seleccionó el bagazo de maíz previamente secado por el lapso de tiempo establecido para posterior mente llevarlo a un proceso de triturado para ser utilizado entro del parámetro establecido y la utilización de la mufla para obtener nuestro biochar.

El material tratado por ese lapso de tiempo es muy corto debió a la condición de humedad que presenta la planta de maíz, de este modo el secado es mucho mayor a una temperatura ambiental variable pues este periodo puede prolongarse a un año o un año y medio para su secado en su totalidad.

10.11. Determinación del biochar.

Para un mejor aprovechamiento del bagazo producto orgánico del maíz se consideró la utilización de la variable a utilizar tallo del maíz para obtener nuestro biochar siendo esta nuestra variable enfocada en los parámetros de tiempo y temperatura distinta

Variable: Tallo del maíz

Condiciones:

Pirolisis rápida.

Temperatura: 500°C

Tiempo: 30min

Pirolisis lenta.

Temperatura:400°C

Tiempo: 120 minutos

10.12. Empleo de gravimetría pesaje y secado

El proceso de obtención de biocarbón a partir de tallos de maíz se sustenta en una técnica meticulosa conocida como gravimetría, la cual engloba operaciones de pesaje y secado. Este procedimiento se desglosa en una serie de etapas cruciales que aseguran la calidad y coherencia del resultado final:

En primera instancia, se lleva a cabo la selección cuidadosa de los tallos de maíz. Tras la cosecha, se realiza una recolección de los tallos, poniendo énfasis en seleccionar aquellos que se encuentran exentos de cualquier tipo de enfermedad o contaminante. Esta fase preliminar es crucial, ya que la calidad del producto final depende en gran medida de la materia prima empleada.

Luego, se procede con la eficiencia de los tallos. En esta etapa, los tallos de maíz son desgarrados o cortados en fragmentos más pequeños. Este proceso no solo facilita su

procesamiento posterior, sino que también incrementa la superficie de exposición, lo que resulta esencial para una conversión eficiente durante las siguientes etapas del proceso.

La medición precisa de la muestra se convierte en un paso cardinal. Se selecciona una muestra representativa de los tallos de maíz y se lleva a cabo su pesaje en una balanza analítica de alta precisión. Esta medida exacta no solo proporciona información cuantitativa sobre la cantidad de materia prima que se asegura en el proceso, sino que también constituye la base para los cálculos posteriores.

La etapa de eliminación de humedad en los tallos es un punto crucial para asegurar la calidad del biochar resultante. La muestra pesada se introduce en una estufa o secadora con control de temperatura. Aquí, se elimina meticulosamente la humedad presente en los tallos. La operación de secado se prolonga hasta que se logra un peso constante, lo que indica que se ha obtenido una eliminación exhaustiva de la humedad.

Finalmente, se lleva a cabo el registro preciso del peso seco. Una vez que los tallos de maíz han atravesado el proceso de secado, se registra meticulosamente el peso seco de la muestra. Esta cifra reviste gran importancia, ya que permite calcular la cantidad de biocarbón que se ha generado y proporciona un medio para evaluar la eficacia de todo el proceso.

Estas etapas detalladas y cuidadosamente diseñadas constituyen un pilar fundamental en la obtención de biocarbón de alta calidad a partir de tallos de maíz. La presencia de humedad en la materia prima podría tener un impacto significativo en las características físicas y químicas del producto final, y por eso el seguimiento y registro meticuloso de los pesos antes y después del secado son fundamentales para comprender la cantidad de humedad eliminada y para calcular el rendimiento general del proceso.

Tabla 5. Registro post elaboración del biochar.

Registro del pesaje

Materia	Planta de maíz		
	Verde	Semi seca	Seca
Unidad	10	10	10
Pesaje	367,3 g	290,22 g	273,39 g
Merma	30,02 g	25,21 g	17,05 g
Tallo	337,28 g	265,01 g	256,34 g

Fuente: Caspi (2023).

Se hace referencia al proceso de desecación en sus diversas etapas, el cual es fundamental para la producción de nuestro biocarbón. Durante este procedimiento, se lleva a cabo la eliminación controlada de la humedad presente en el material, en sus diferentes fases, con el objetivo de obtener un biochar de alta calidad y rendimiento. Este proceso de desecación juega un papel crítico en la transformación de la materia prima en un producto final que posee propiedades físicas y químicas óptimas para su uso previsto. La cuidadosa gestión de cada fase de desecación contribuye directamente a la eficacia y eficiencia del proceso de producción de biocarbón, asegurando que se maximicen los beneficios ambientales y agrícolas de este producto altamente valorado.

10.13. Producción de biochar pirolisis lenta y pirolisis rápida

Existen dos métodos principales de producción de biochar: el pirólisis rápido y el pirólisis lento.

En el pirólisis rápido, el material orgánico se calienta rápidamente a temperaturas superiores a 500°C y se mantiene a esas temperaturas durante un corto período de tiempo (unos

pocos minutos), lo que produce un biochar de alta calidad con una gran superficie específica y una alta capacidad de retención de agua y nutrientes.

Por otro lado, en el pirólisis lento, el material orgánico se calienta a temperaturas más bajas (entre 350 y 500°C) y se mantiene a esas temperaturas durante varias horas, lo que produce un biochar de menor calidad, pero con una mayor estabilidad y una mayor capacidad para fijar nutrientes en el suelo.

En el caso específico de la planta de maíz, se puede utilizar tanto el pirólisis rápido como el pirólisis lento para producir biochar. La elección del método dependerá en gran medida del uso que se le quiera dar al biochar y de las condiciones específicas de producción. En general, el pirólisis rápido es más adecuada para la producción de biochar de alta calidad para su uso en la agricultura, mientras que el pirólisis lento es más adecuado para la producción de biochar que se utilizará como combustible o para la eliminación de residuos.

10.14. Obtención de biocarbones

Para estudiar el proceso de descomposición pirolítica del bagaje de la caña de maíz, se aplicó un diseño de experimento factorial fraccionado donde de las 10 plantas seleccionadas y previamente eliminada la merma de estas se subdividieron para generar nuestras variables menciona de tiempo y temperatura distinta empleadas en la pirolisis lenta y rápida.

Las variables independientes son el tiempo y la temperatura, antes menciona consecuentemente la variable respuesta está expuesta en cada experimento de pirólisis. En la tabla 6 se asignan los límites de las variables empleadas.

Tabla 6. Límites de los niveles de las variables independientes en el Diseño Experimental aplicado.

Factores	Pirolisis lenta	Pirolisis rápida	Unidades	Continuo
-----------------	------------------------	-------------------------	-----------------	-----------------

Temperatura	400	500	Grados Centígrados	SI
Tiempo	120	30	Minutos	SI

Fuente: Caspi (2023).

Nota. Expresión de las variables utilizadas en la generación del biochar temperatura y tiempo.

10.15. Método para la producción del biochar.

Para la producción del biochar las partículas que anteriormente mencionadas fueron trituradas, se sometieron al proceso de pirólisis en la mufla, el cual consistió en colocar dentro de esta las variables obtenidas del bagazo de maíz por separado en el cilindro interior del reactor, cumpliendo con los parámetros establecidos de temperatura y tiempo establecido según lo planificado. Una vez que se cumpla el tiempo se dejará sacar u enfriar la muestra y se la colocará y se procederá al pesado del biochar obtenido.

10.16. Materiales

10.16.1. Mufla

Un horno de mufla es una cámara cerrada de material refractario. Consta de una puerta que conduce a una cámara de combustión con una pequeña abertura de observación. La parte superior del horno tiene una abertura por la que los gases salen de la cámara. Las paredes del horno de mufla son de paneles aislantes.

Este tipo de horno se utiliza cuando se requieren temperaturas superiores a 200 °C. Cabe señalar que en un horno de mufla sólo pueden utilizarse materiales refractarios de laboratorio (por ejemplo, crisoles de porcelana), ya que puede alcanzar temperaturas muy elevadas (1200 °C). (Mufla – TP – Laboratorio Químico, 2015)

10.16.2. Crisoles

Los crisoles son recipientes que se utilizan en los laboratorios para contener sustancias que se someten a altas temperaturas, como la fusión de metales o la calcinación de productos químicos (Trujillo Roldán, 2005).

10.16.3. Desecadores

Un desecador es una pieza de equipo de laboratorio que se utiliza para mantener una sustancia limpia y deshidratada utilizando un vacío (Reyna, 2019). De tal manera el desecador trabaja con un sello de vacío, que se refiere a la falta de material en un espacio que no expone la muestra al ambiente que puede impartirle humedad. El proceso del desecador se realiza en este estado para que la muestra no quede expuesta al medio ambiente que pueda impartirle humedad. Según el tipo, el desecador consta de cuatro a cinco partes: carcasa, tapa, bandeja desecante, base y desecante. Las propiedades y funciones del desecador son las siguientes:

10.16.3.1. Características:

Recipiente hermético, generalmente cilíndrico o redondo

Por lo general, hecho de vidrio o porcelana.

Consta de dos cavidades o cámaras; en la cámara principal se puede secar la sustancia por dentro, en la segunda cámara que es más baja se coloca la sustancia desecante. La tapa se ajusta perfectamente para mantener la humedad fuera. Puede tener una llave de paso para liberar el aire. Puede tener una plataforma removible de acero, plástico o porcelana con orificios para colocar las. Muestras Puede tener un termo-higrómetro para ayudar a controlar los niveles de humedad.

10.16.3.2. Función:

Mantener una sustancia limpia y deshidratada usando una aspiradora

Proteja las muestras de la humedad y otros contaminantes.

Permitir un almacenamiento más prolongado de las muestras.

Deshidratar la muestra y mantenerla en condiciones óptimas para su estudio.

Extraiga el agua de la muestra misma, eliminando la humedad de la misma.

10.16.4. Conservación del biochar generado

Existen varias medidas que se pueden tomar para conservar el biochar producido por el maíz. Algunas de ellas incluyen:

Almacenamiento en un lugar seco: El biochar debe almacenarse en un lugar seco para evitar la humedad, que puede aumentar el riesgo de crecimiento de hongos y bacterias. Además, el almacenamiento en un lugar seco ayuda a evitar la degradación del biochar y a mantener su calidad.

Almacenamiento en un lugar fresco: El biochar debe almacenarse en un lugar fresco para evitar la exposición a altas temperaturas, que pueden aumentar el riesgo de descomposición y pérdida de calidad.

Protección contra la luz solar directa: El biochar debe protegerse de la luz solar directa, ya que la exposición a la luz puede causar la degradación del material.

Almacenamiento en bolsas herméticas: El almacenamiento en bolsas herméticas puede ayudar a evitar la exposición a la humedad, la luz y el aire, lo que puede reducir el riesgo de degradación y pérdida de calidad.

Almacenamiento en un lugar alejado de productos químicos: El biochar debe almacenarse lejos de productos químicos, ya que estos pueden contaminar el material y reducir su calidad. La conservación del biochar producido por el maíz es importante para garantizar su calidad y su capacidad de ser utilizado de manera efectiva. El almacenamiento en un lugar seco, fresco, protegido de la luz solar directa, en bolsas herméticas y lejos de productos químicos son medidas de suma importancia que se toman para conservar el biochar producido por el tallo de maíz.

10.17. Metodología de Preparación de agua contaminada con mercurio

10.17.1. Muestra de agua contaminada

Para conseguir la muestra de agua contaminada con el metal pesado como es el mercurio (Hg) se siguió el siguiente procedimiento bajo las medidas y parámetros de seguridad establecidas dentro del laboratorio como el uso correcto del mandil, uso de guantes y cofia:

Colocar la concentración de mercurio existente dentro de un termómetro (0,5g a 2g) en un vaso de precipitación de 800 ml

Introducir el vaso de precipitación con el mercurio dentro de disipador de vapores

Colocar de 20 mililitros a 40 mililitros de ácido nítrico en el recipiente con mercurio

Agitar el recipiente y homogenizar con la varilla de agitación teniendo cuidado hasta que el vapor que se genera se disipe

Colocar 500 mililitros de agua destilada en la solución

Para que dicha solución supere los límites permisibles máximos permisibles establecidos en mención a la revisión del anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua de la tabla 1: criterios de calidad de aguas que para consumo humano y doméstico que requieren tratamiento convencional de la norma de calidad ambiental y de descargas de efluentes que tienen un valor de Hg= 0,002 ml/l (TULSMA, 2003).

10.17.2. Disolución del mercurio y su concentración en el agua

Cabe señalar que la manipulación del mercurio debe hacerse con cuidado y siguiendo las normas de seguridad que se han establecido. Se debe utilizar el equipo de protección personal adecuado y se deben seguir las normas locales y nacionales relativas al manejo de productos químicos peligrosos.

Para diluir el mercurio a nivel de laboratorio y poder utilizar el agua resultante para procesar el biocarbón obtenido, se aprovecharon los métodos de dilución estándar utilizados en

el laboratorio para diluir productos químicos. Siendo este la implementación de concentración muy alta del ácido nítrico una solución salina junto con el mercurio pues este no se lo considera una disolución debida que el mercurio permanece como un sólido disuelto dentro de la mezcla consecuente a esto la implementación de ácido sulfúrico concentrado fue de mucha utilidad para poder disolver el estado de solido disuelto de nuestra agua contaminada a nivel de laboratorio.

Una solución madre de mercurio: Fue disuelta una cantidad conocida de mercurio que se obtuvo a través del termómetro, en un solvente adecuado, conjunto al agua destilada o una solución acuosa. La concentración de las aguas madres se derivó de los requerimientos específicos del experimento.

Solución diluida: La cantidad calculada de solución madre fue colocada dentro de un matraz volumétrico y agregada solvente (agua destilada) al volumen deseado. Se mezcló bien para asegurar una distribución uniforme del mercurio suspendido en la solución diluida.

Disolución con un ácido concentrado: La utilización de ácidos concentrados es de mucha importancia debido a que permite romper la estructura del mercurio suspendido para obtener una solución apta y contaminada a nivel de laboratorio para poder utilizar y medir los parámetros y eficacia de nuestro biochar.

10.17.3. Marcha analítica de metales pesados del grupo 1

Se realizó la marcha analítica para la identificación cuantitativa de los cationes del Grupo 1: Ag, Pb⁺² y Hg precipitados con HCl para identificar mercurio en una muestra problema utilizando los siguientes materiales

Materiales:

1 vaso de precipitación

2 pipetas graduadas 10 ml

1 gradilla

8 tubos de ensayos

1 embudo

1 trípode

Centrifugadora

Tubos para centrifugada

Balanza

10.17.4. Diseño del diagrama del plan experimental

El diagrama muestra una propuesta de diseño experimental, expresada en forma de diagrama de flujo, para muestras de biomasa obtenidas por pirólisis que combina dos factores: tipo de biomasa en dos etapas y temperatura de pirólisis en dos etapas, basándose en estudios bibliográficos anteriores.

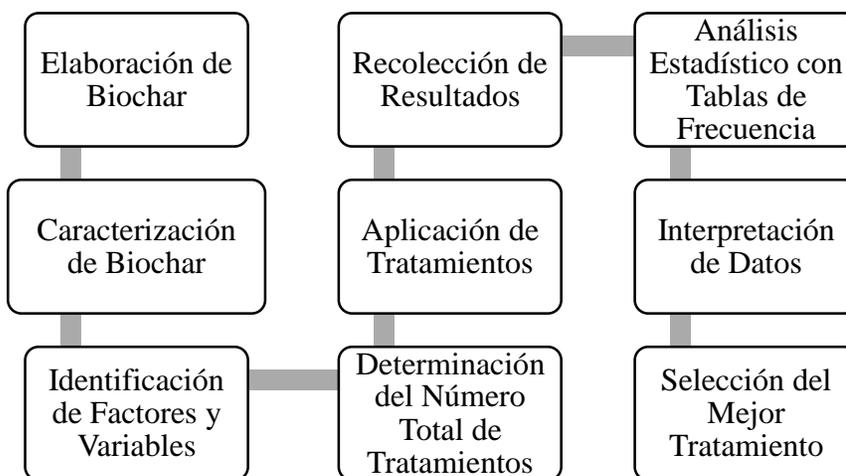


Diagrama 1. Elaboración en las distintas fases del proceso de variables empleadas.

Elaboración de Biochar: Utilización de temperaturas de 400°C y 500°C para la producción de biocarbón a partir de residuos orgánicos del bagazo de caña de maíz.

Caracterización de Biochar: Evaluación de las características de cada biocarbón producido mediante análisis químicos y físicos.

Identificación de Factores y Variables: Identificación y selección de los factores y variables relevantes para el proceso experimental.

Determinación del Número Total de Tratamientos: Cálculo del número total de tratamientos experimentales en función de la combinación de factores y variables.

Aplicación de Tratamientos: Implementación de los tratamientos experimentales diseñados utilizando diferentes proporciones de biochar y solución contaminada con metales pesados.

Recolección de Resultados: Recopilación de los datos y observaciones obtenidas después de aplicar los tratamientos experimentales.

Análisis Estadístico con Tablas de Frecuencia: Utilización de tablas de frecuencia para llevar a cabo un análisis estadístico de los datos recopilados.

Interpretación de Datos: Interpretación y comprensión de los resultados estadísticos y observacionales para extraer conclusiones relevantes.

Selección del Mejor Tratamiento: Evaluación de los resultados para determinar cuál tratamiento experimental muestra la mayor eficacia en la adsorción de metales pesados en el agua contaminada.

10.17.5. Caracterización del biochar

Las características del biochar de tallos de maíz y su capacidad de adsorción de metales pesados presentes en el agua pueden variar dependiendo de varios factores, como el método de producción del biocarbón y las condiciones específicas del agua contaminada. Sin embargo, se presentan algunas propiedades generales del biocarbón y su capacidad de adsorción de metales pesados (Luisa M, 2019).

Propiedades físicas: el biocarbón puede tener varias propiedades físicas, como porosidad, densidad, tamaño de partícula y área de superficie específica. Estas propiedades pueden afectar la capacidad del biocarbón para absorber metales pesados en el agua.

Propiedades químicas: el biocarbón puede tener diferentes propiedades químicas, como pH, contenido de cenizas y grupos funcionales. Estas propiedades pueden afectar la capacidad del biocarbón para absorber metales pesados en el agua.

Capacidad de adsorción: El biocarbón puede tener una alta capacidad de adsorción de metales pesados presentes en el agua, debido a su alta área de superficie específica y capacidad para formar complejos con metales pesados. La capacidad de adsorción del biocarbón puede variar según el tipo de metal pesado y las condiciones específicas del agua contaminada.

El biochar generado de tallos de maíz puede ser una alternativa eficaz para la remediación de aguas contaminadas con metales pesados pues su porosidad es de 5,33 kg/m³ lo cual es una gran capacidad que puede absorber dichos metales pesado de tal manera, que es importante realizar pruebas específicas para evaluar su eficacia en determinadas condiciones.

10.17.5.1. pH del biochar

El pH del biocarbón elaborado a partir de materia orgánica puede variar en función de varios factores, como el tipo de biomasa utilizada y las condiciones de producción. Sin embargo, los resultados de la búsqueda brindan información sobre el pH de ciertos biochars:

Según un artículo de (Composting Science, 2015), el biocarbón es un producto orgánico muy complejo químicamente, pero no hay información específica sobre su pH.

En consecuencia, es importante tener en cuenta que el pH del biocarbón puede afectar positiva o negativamente su capacidad para adsorber metales pesados y sus interacciones con el medio ambiente. Para determinar el pH del biocarbón se preparó una solución de 10 g de biocarbón en 90 ml de agua destilada con agitación constante en el agitador electrónico y la

solución resultante se midió con un pH metro de la serie 150 Orbeco Hellige, conjunto con cintas medidoras de pH, donde se realizaron tres muestras para validar los datos de forma más eficaz y evitar errores.

Tabla 7. Medición y análisis de datos del pH obtenido de 500°C.

pH - Pirolisis rápida					
		T (°C)	pH	Media	11,265
Muestra	1	500	11,15	Error típico	0,005
Muestra	2	500	11,27	Mediana	11,265
Muestra	3	500	11,26	Desviación estándar	0,00707107
				Varianza de la muestra	5E-05

Nota. La tabla a continuación presenta los resultados del análisis de datos derivados de nuestros medidos del pH en el biochar. Estos datos se han generado a partir de los resultados obtenidos durante nuestra detección del nivel de acidez en el biochar.

10.17.5.2. pH Pirolisis lenta

Tabla 8. Medición y análisis de datos del pH obtenido de 400°C.

<i>pH - Pirolisis lenta</i>					
		T (°C)	pH	Media	11,395

Muestra	1	400	11	Error típico	0,025
Muestra	2	400	11,37	Mediana	11,395
Muestra	3	400	11,42	Desviación estándar	0,03535534
				Varianza de la muestra	0,00125

Nota. Una vez obtenidos los valores de manera experimental, se procedió a realizar un análisis exhaustivo de los datos con el fin de extraer significado y comprender las implicaciones inherentes. Este proceso de análisis de datos involucró la aplicación de métodos y técnicas pertinentes, permitiendo discernir patrones, tendencias y relaciones que pudieran estar presentes en los resultados. Además, se llevaron a cabo comparaciones con datos previos o estándares de referencia para contextualizar los valores obtenidos en el estudio.

10.17.5.3. Alcalinidad

Para obtener la alcalinidad se ejecutó por medio de titulación, de tal como que esta consistió en pesar 18 g de la muestra tanto de 500°C- 400°C y disolverlos en 200 mililitros de agua destilada y se agitó por 30 minutos en el agitador electrónico. Consecuentemente se tomó 50 milímetros de la solución filtrada y se colocó 5 gotas de fenolftaleína y se procedió a titular con HCL al 0.1 N.

Se determinó la alcalinidad mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Porcentaje de alcalinidad

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

Donde

- Consumo NaOH: cantidad de milímetros de NaOH ocupamos en la titulación
- N: Regularidad del NaOH
- F: Constituyente de la solución NaOH
- Meq del ácido: Es la Constante de miliequivalentes del NaOH

10.17.5.4. Densidad aparente.

La densidad aparente se prolonga utilizando el método de la probeta. Este método consistió en introducir 2 g de la muestra en una probeta pesada previamente y compactarla hasta que estuviera homogéneamente distribuida. Luego, se midió el volumen ocupado por la muestra y se pesó la probeta con la muestra. Para asegurar la validez de los datos y evitar errores, se realizó la prueba con tres muestras. La densidad se prolonga utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 2. Densidad aparente

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

Donde:

- W_{pm} = Corresponde al peso de la probeta con la muestra
- W_p = Pertenece al peso de la probeta vacía
- V = es el volumen colocado en la muestra en la probeta

10.17.5.5. Densidad real

La densidad real se prolonga utilizando el método del picnómetro. En primer lugar, se pesó el picnómetro utilizado y se agregaron 0,5 g de la muestra, se pesó nuevamente. Luego, se

llenó el picnómetro con agua destilada y se pesó, asegurándose de secar bien el picnómetro para evitar errores de medición. Finalmente, se pesó el picnómetro solo con agua destilada. La prueba se realizó con tres muestras para evitar errores y se aplicó la siguiente ecuación para obtener la densidad real

Ecuación 3. Densidad real

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

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/m^3)

10.17.5.6. Determinación de la Porosidad

En la investigación, es importante determinar la porosidad ya que este parámetro proporciona una estimación de la estructura de la superficie del sólido. Debido a que los iones de metal se retienen en los poros, se prolonga la porosidad utilizando la densidad real y aparente. La densidad real se prolongará utilizando el método del picnómetro, donde se pesó el picnómetro utilizado y se agregaron 0,5 g de la muestra, se pesó nuevamente. Luego, se llenó el picnómetro

con agua destilada y se pesó, asegurándose de secar bien el picnómetro para evitar errores de medición. Finalmente, se pesó el picnómetro solo con agua destilada. La prueba se realizó con tres muestras para evitar errores y se aplicó la siguiente ecuación para obtener la densidad real. La densidad aparente se prolonga utilizando el método de la probeta, donde se introdujeron 2 g de la muestra en una probeta previamente pesada y compactada hasta que estuviera homogéneamente distribuida. Luego, se midió el volumen ocupado por la muestra y se pesó la probeta con la muestra. La prueba se realizó con tres muestras para validar los datos y evitar errores

Ecuación 4. Porosidad

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

Donde

δR = Representa de densidad real

δA = Representa la densidad aparente

10.18. Metodología pirolisis de la biomasa

Una vez obtenido el biocarbón mediante la manipulación de nuestras variables de temperatura y tiempo, centrados en los procesos de pirolisis rápida y lenta, procedimos a analizar su rendimiento en términos de absorción de mercurio, un metal pesado de interés, en el ámbito de laboratorio. Para evaluar su eficacia eficiente, implementamos un enfoque basado en la relación entre el número de filtraciones realizadas y los resultados obtenidos. Esta metodología permitió discernir el rendimiento óptimo del biocarbón en la absorción de mercurio. La experimentación se llevó a cabo mediante dos ejecuciones distintas, las cuales se encuentran

detalladas en las Tablas 9 y 10. Cada una de estas ejecuciones estuvo relacionada con condiciones específicas de biomasa, con el propósito de abarcar un espectro más amplio de posibles resultados.

10.18.1. Pirolisis rápida, Biochar a 500°C

Tabla 9. Modelo a aplicar en los valores obtenidos en la prueba a distinto peso y filtraciones.

	Fi									
T°	1 x 1	1 x 2	1 x 3	1 x 4	1 x 5	2 x 1	2 x 2	2 x 3	2 x 4	2 x 5
	Peso									
	(g)									
	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6
	50									
	0									

Nota. La tabla a continuación presenta la utilización del recuento de filtraciones por repeticiones, con el fin de discernir el resultado más sobresaliente para su posterior interpretación.

10.18.2. Pirolisis lenta, Biochar a 400°C

Tabla 10. Modelo del número de filtraciones de la pirolisis lenta

	Fi									
T°	1 x 1	1 x 2	1 x 3	1 x 4	1 x 5	2 x 1	2 x 2	2 x 3	2 x 4	2 x 5
	Peso									
	(g)									
	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6
	400									
	0									

Nota. La tabla adjunta exhibe la aplicación del conteo de filtraciones por repeticiones, como medio para identificar y discernir el resultado más destacado con miras a su interpretación.

10.19. Tablas de frecuencia

La interpretación de las tablas de variables se llevará a cabo mediante el empleo de herramientas como Microsoft Excel e Infostat. Estas herramientas se utilizarán para analizar los datos derivados del estudio de los resultados obtenidos a partir de la interacción entre los factores de tiempo, temperatura y peso, los cuales fueron empleados en la generación del biochar.

Además, se considerarán los parámetros de tipo de filtración y número de repeticiones que se

utilizan en la ejecución del cálculo de diversas métricas, tales como frecuencia absoluta, frecuencia absoluta acumulada, frecuencia relativa, frecuencia relativa acumulada, frecuencia porcentual y frecuencia porcentual acumulada. Todos estos análisis y resultados se encuentran detallados en la Tabla 11.

Tabla 11. Matriz de tablas de frecuencia.

Valores Que Toma La Variable	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual Acumulada
1						
2						
Total						

Fuente: Caspi (2023).

10.19.1. Interpretación Tablas de Frecuencia

Una vez obtenidos los valores resultantes de los tratamientos analizados, se procede a calcular la frecuencia porcentual correspondiente a cada categoría. En caso de que la hipótesis nula sea rechazada y la hipótesis relativa sea aceptada, se confirma la eficacia de la eliminación de mercurio en el agua. Esto se logra mediante la aplicación de biochar y la implementación de distintos métodos de filtración. Este proceso se basa en la evidencia que la eliminación de mercurio realmente ocurre con éxito, lo cual es crucial en el contexto del enfoque de remediación del metal pesado a nivel de laboratorio que guía este análisis.

10.19.2. Determinación del mejor tratamiento.

Para determinar el tratamiento más eficaz, llevaremos a cabo una comparación de las repeticiones de cada tratamiento, calculando la frecuencia media. Cuando se observe una diferencia significativa entre los valores obtenidos, seleccionaremos el valor más alto como el tratamiento preferido.

De tal manera que al enfocarnos en la hipótesis nula y alternativa para tratar la descontaminación del mercurio suspendida en el agua aplicando biochar a diferentes características se aplica el proceso que se detalla en el diagrama 1.

Tabla 12. Factores de tratamiento para la descontaminación del Mercurio

Factores	Variables	Numero de variables	Numero de repeticiones	total, de tratamientos
f1 (materiales)	Tallo del maíz			
f2 (temperatura)				
f3 (Peso)				
	Fi.1 x 1			
	Fi.1 x 2			
	Fi.1 x 3			
	Fi.1 x 4			
	Fi.1 x 5			
	Fi. 1 x 6			
	Fi. 1 x 7			
	Fi. 1 x 8			
f4 (filtraciones)	Fi.2 X 1			
	Fi.2 X 2			
	Fi.2 X 3			
	Fi.2 X 4			
	Fi.2 X 5			
	Fi.2 X 6			
	Fi.2 X 7			
	Fi.2 X 8			
Total				$f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times N^\circ$ de R

Fuente: Caspi (2023).

Nota: La tabla que se presenta a continuación detalla los parámetros específicos que han sido definidos con el propósito de llevar a cabo el cálculo de las filtraciones realizadas en un entorno de laboratorio, con el objetivo de descontaminar el agua contaminada con mercurio.

Se llevó a cabo un ensayo factorial que se representó con las siguientes variables:

F1: Contenido de Materia Orgánica

F2: Temperatura de funcionamiento

F3: Peso del Biochar empleado

F4: Tipo de filtración utilizada

Tabla 13. Asignación de valores a las categorías del resultado

Número total de datos	Categorías	Valor Asignado
480	No	1
	Si	2

Fuente: Caspi (2023).

Nota. Con el propósito de evaluar y determinar el rendimiento más destacado entre múltiples repeticiones realizadas en el proceso de descontaminación del agua contaminada con mercurio, se procedió a asignar un valor de categoría a cada conjunto de resultados. Esta estrategia de exhibición de categorías permitió identificar y resaltar el mejor resultado obtenido de entre las diversas repeticiones realizadas.

11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

11.1. Análisis de la Caracterización PH del biochar

La conversión del pH en el biocarbón derivado de material orgánico adquiere un papel central en la conversación sobre sus resultados. Diversos factores, como la biomasa empleada y las condiciones de fabricación, influyen en esta característica. En ello, los datos extraídos focalizan en ciertos biochars, haciendo énfasis al artículo de (Composting Science, 2015), hacen mención que el biocarbón, siendo un compuesto orgánico de alta complejidad química, carece de detalles precisos acerca de su pH. Por consiguiente, se debe subrayar la relevancia de considerar cómo el pH del biocarbón puede incidir de manera positiva o negativa en su capacidad de absorción de metales pesados y en sus interacciones con el entorno ambiental.

Tabla 14. Medición y análisis de datos del pH obtenido de 500°C.

pH - Pirolisis rápida					
		T (°C)	pH	Media	11,265
Muestra	1	500	11,15	Error típico	0,005
Muestra	2	500	11,27	Mediana	11,265
Muestra	3	500	11,26	Desviación estándar	0,00707107
				Varianza de la muestra	5E-05

En la siguiente tabla, se exhiben los resultados de los análisis de datos que han sido generados a partir de nuestra medición del pH llevados a cabo en el biochar. Estos datos reflejan las mediciones precisas y detalladas realizadas para evaluar los niveles de acidez o alcalinidad presentes en el biochar resultante. El proceso de medición del pH ha sido llevado a cabo con alta precisión y cuidado, utilizando métodos y equipos especializados que garantizan la confianza y la exactitud de los resultados.

11.1.1. Análisis de datos: pH biochar a 500°C

Media: Esto indica que el pH promedio del biochar es de 11.26. De este modo el pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia, y un valor de pH superior a 7 indica alcalinidad.

Error típico: El error típico es una medida de la necesidad de los datos. En este caso, el error típico de 0,005 indica que los valores individuales de pH pueden variar alrededor de $\pm 0,005$ unidades del valor promedio de 11,26.

Mediana: La mediana es el valor central en un conjunto de datos ordenados. En este caso, la mediana también es de 11,26, lo que indica que la mitad de los valores de pH están por encima de 11,26 y la otra mitad están por debajo.

Desviación estándar: La desviación estándar es una medida de la dispersión de los datos alrededor del valor promedio. En este caso, una desviación estándar de 0,00707107 indica que los valores individuales de pH pueden variar alrededor de $\pm 0,00707107$ unidades del valor promedio de 11,26.

Varianza de la muestra: La varianza es otra medida de la dispersión de los datos. En este caso, una varianza de muestra de 5E-05 indica que los valores individuales de pH pueden variar alrededor de ± 0.0002236 unidades del valor promedio de 11,26.

Los datos indican que el biocarbón obtenido a partir de la materia orgánica tiene un pH alcalino, con un valor promedio de 11,26.

Dichos resultados obtenidos del procesamiento de datos del pH del biochar a una temperatura de 500°C de la tabla 10 son los siguientes: 11,15; 11,27; y 11,26 de tal manera que estos valores sugieren que el biochar producido a partir del tallo de maíz es alcalino. Ya que el pH del biochar es un parámetro importante puesto que puede influir en su capacidad de retener contaminantes y en su efecto en la calidad de tratamiento de dichos metales pesados para el ambiente.

En mención a la autora (Alicia, 2019) en su estudio, se considera que los biochars alcalinos tienen una mayor capacidad de retener metales pesados y otros contaminantes, mientras que los biochars ácidos pueden tener un efecto más beneficioso en la calidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Por lo tanto, es necesario evaluar el pH del biochar en conjunto con

otras propiedades, como la porosidad y densidad, para determinar su eficacia en la remediación de suelos y aguas contaminadas.

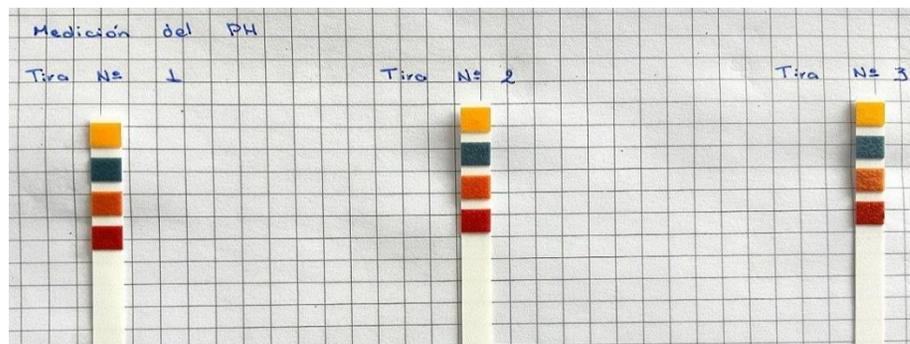


Ilustración 4. Validación por medio de cintas medidoras de pH.



Ilustración 5. Valores del pH metro de la serie 150 Orbeco Hellige biochar a una T de 500°C.

11.1.2. Análisis de datos: pH biochar a 400°C

Tabla 15. Medición y análisis de datos del pH obtenido de 400°C.

<i>pH - Pirolisis lenta</i>			
T (°C)	pH	Media	11,395

Muestra	1	400	11	Error típico	0,025
Muestra	2	400	11,37	Mediana	11,395
Muestra	3	400	11,42	Desviación estándar	0,03535534
				Varianza de la muestra	0,00125

Los datos obtenidos indican el pH del biocarbón producido por medio de la pirolisis lenta y sus propiedades estadística de este modo la interpretación de los datos podemos decir que:

Media de 11,395: Esto indica que el pH promedio del biocarbón producido por medio de la pirolisis lenta es de 11,395. El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia, y un valor de pH superior a 7 indica alcalinidad.

Error típico de 0,025: El error típico es una medida de la necesidad de los datos. En este caso, el error típico de 0,025 indica que los valores individuales de pH pueden variar alrededor de $\pm 0,025$ unidades del valor promedio de 11,395.

Mediana de 11,395: La mediana es el valor central en un conjunto de datos ordenados. En este caso, la mediana también es de 11,395, lo que indica que la mitad de los valores de pH están por encima de 11,395 y la otra mitad están por debajo.

Desviación estándar de 0,03535534: La desviación estándar es una medida de la dispersión de los datos alrededor del valor promedio. En este caso, una desviación estándar de 0,03535534 indica que los valores individuales de pH pueden variar alrededor de $\pm 0,03535534$ unidades del valor promedio de 11,395.

Varianza de la muestra de 0,00125: La varianza es otra medida de la dispersión de los datos. En este caso, una varianza de muestra de 0,00125 indica que los valores individuales de pH pueden variar alrededor de $\pm 0,03535534$ unidades del valor promedio de 11,395.

Los resultados obtenidos del cálculo del pH del biochar a una temperatura de 400°C por un tiempo de 120 minutos (11,15; 11,37; y 11,42) indican que el biochar producido a partir del tallo de maíz es alcalino. Esta alcalinidad puede tener implicaciones importantes en su capacidad de retención de contaminantes y en su interacción con el medio ambiente.

El biochar producido presenta un pH elevado, lo que sugiere la presencia de compuestos alcalinos en su estructura. Esta alcalinidad puede ser beneficiosa en la retención de contaminantes, como metales pesados, ya que los compuestos alcalinos pueden formar complejos con estos contaminantes y reducir su movilidad en el agua contaminada.

La alcalinidad del biochar puede influir en su capacidad de modificar el pH del suelo o del agua en el que se aplica. Un biochar alcalino puede ayudar a neutralizar suelos ácidos y mejorar su fertilidad, así como estabilizar el pH del agua contaminada, lo que puede tener efectos positivos en la salud de los ecosistemas acuáticos.

Es importante tener en cuenta que el pH del biochar puede variar dependiendo de las condiciones de producción y las características de la biomasa utilizada.



Ilustración 6. Valores del pH metro de la serie 150 Orbeco Hellige biochar a una T° de 400°C.

Materiales empleados para determinar el pH del biochar:

Tiras de pH

Medidor multiparámetro analítico

Solución del biochar

Vasos de precipitación

Procedimiento

Medir el biochar obtenido

Colocar agua destilada dentro del matraz

Agitación contante

Tras la obtención de la solución de biochar, se procedió a distribuirla en diversos vasos de precipitación. Esta división permitió llevar a cabo una medición del pH mediante el empleo de tiras indicadoras, adoptando así un enfoque tradicional para obtener un primer valor aproximado de pH. Con el propósito de obtener una evaluación más precisa y concreta, se recurrió al uso de un medidor digital de pH. Esta elección se sustenta en la necesidad de alcanzar un nivel de precisión y exactitud más elevada en la determinación del pH resultante. Este enfoque técnico brindó un resultado definitivo, confiable y más acertado en la caracterización del pH de la solución de biochar.

11.2. Alcalinidad

Para evaluar la alcalinidad, se realizó una titulación utilizando un método específico. En este proceso, se comenzó pesando 18 g de la muestra a dos diferentes temperaturas, es decir, a 50°C y 40°C. Estos 18 g de la muestra se disolvieron en 200 mililitros de agua destilada y se agitaron durante un período de 30 minutos, utilizando un agitador electrónico. Posteriormente, se tomó una porción de 50 mililitros de la solución filtrada y se añadieron 5 gotas de fenolftaleína. A continuación, se procedió a realizar la titulación utilizando una solución de HCl a una concentración de 0,1 N.

La determinación de la alcalinidad se llevó a cabo mediante la utilización de la siguiente ecuación 1. Este enfoque permitió obtener información precisa sobre la alcalinidad presente en las muestras, a partir de un proceso riguroso y detallado de titulación.:

Ecuación 2. Porcentaje de alcalinidad

$$\%alcalinidad = \frac{(\text{gasto de NaOH} * N * F * \text{meq del ácido})}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

En donde

Consumo NaOH: cantidad de milímetros de NaOH ocupamos en la titulación

N: Regularidad del NaOH

F: Constituyente de la solución NaOH

Meq del ácido: Es la Constante de miliequivalentes del NaOH

11.2.1. Porcentaje alcalinidad a 400°C

$$\%alcalinidad = \frac{16,5 \text{ ml} * 25 \text{ ml} * 0,5 \text{ ml} * 36,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{18 \text{ g}} * 100$$

$$\%alcalinidad = 41.82 \text{ mol}$$

Tabla 16. Verificación de datos para calcular la alcalinidad.

		Observación
Parámetro	Unidad	
T (°C)	400	Para llevar a cabo la titulación destinada a la obtención de una caracterización precisa, se
t (minutos)	120	emplearon 18 g de biochar previamente diluido en
Peso	1g	200 ml de agua destilada. Este proceso se llevó a
Volumen	30 ml	cabo con la incorporación de 5 gotas de fenolftaleína
Agua		como indicador, junto con una solución ácida de

Compuesto	3 gotas de fenolftaleína	de concentración 1 Molar. El resultado obtenido señala la necesidad de 16,5 ml de ácido clorhídrico (HCl) para completar exitosamente la titulación correspondiente al biocarbón generado a una temperatura de 400 °C.
Acido	HCl	

Nota. Los parámetros obtenidos fueron interpretados para obtener la alcalinidad que presenta el biochar.

11.2.2. Porcentaje alcalinidad a 500°C

$$\%alcalinidad = \frac{2,6 \text{ ml} * 25 \text{ ml} * 0,3 \text{ ml} * 36,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{1 \text{ g}} * 100$$

$$\%alcalinidad = 71,17 \text{ mol}$$

Tabla 17. Verificación de datos para obtener la alcalinidad.

		Observación
Parámetro	Unidad	Para proceder con la titulación destinada a generar la caracterización, se emplearon 18 g de biochar, previamente diluidos en 200 ml de agua destilada.
T (°C)	500	
t (minutos)	120	
Peso	1g	La titulación fue ejecutada mediante la incorporación de 5 gotas de fenolftaleína como indicador, y la utilización de una solución ácida de concentración 1 molar. Los resultados de esta titulación indican que 16,5 ml de solución de ácido clorhídrico (HCl) de concentración conocida fueron necesarios para alcanzar el punto de equivalencia.
Volumen	30 ml	
Agua		
Compuesto	3 gotas de fenolftaleína	
Acido	HCl	

Estos datos se obtuvieron durante la titulación del biochar producido a una temperatura de 500 °C.

Nota. Los valores obtenidos fueron calculados mediante la ecuación 3 para calcular la alcalinidad.

El biochar generado a partir de tallo de maíz mediante la utilización de la ecuación 1 se pudo conocer que este posee una alcalinidad de 41,82 mol y 71,17 mol indicando que el biochar tiene un valor de pH alto y es muy alcalino. Esta alcalinidad puede tener varias implicaciones para el tratamiento del agua contaminada con metales pesados como el mercurio y en mención al autor (Abudu Ballu Duwiejuah, 2020). Hace alude en ciertos parámetros interpretados que en relación a nuestro biochar generado son:

Adsorción mejorada de metales: El biochar alcalino tiene una alta capacidad de eliminación de metales tóxicos en el agua debido a su química de superficie excepcional, que incluye alta aromaticidad, área de superficie alta, alta alcalinidad y diferentes grupos funcionales. La naturaleza alcalina del biocarbón puede facilitar la adsorción de metales pesados, como el mercurio, en su superficie, reduciendo efectivamente su concentración en el agua.

Mayor inmovilización de metales: El pH conjunto a la alcalinidad del biochar también puede contribuir a la inmovilización de metales pesados en el agua. Las condiciones alcalinas pueden promover la precipitación o complicación de iones metálicos, reduciendo su movilidad y biodisponibilidad.

Ajuste de pH: La alta alcalinidad del biochar puede ayudar a ajustar el pH del agua contaminada. Algunos metales pesados como el mercurio presentan especiación y solubilidad dependientes del pH. Al aumentar el pH, el biochar puede potencialmente cambiar la especiación de estos metales hacia formas menos tóxicas o promover su precipitación.

Limitaciones potenciales: El biochar alcalino puede ser beneficioso para tratar el agua contaminadas con el metal pesado a nivel de laboratorio, por ende, es importante tener en cuenta los requisitos específicos de los contaminantes objetivo y el entorno receptor.

La alcalinidad de 41,82 mol en el biocarbón generado a partir del tallo de maíz sugiere que tiene el potencial para tratar eficazmente el agua contaminada con metales pesados como el mercurio. Consecutivamente, se necesitan más investigaciones y pruebas para evaluar su desempeño a una escala mayor

11.3. Densidad aparente.

La determinación de la densidad aparente se llevó a cabo mediante la aplicación del método de la probeta, un procedimiento ampliamente aceptado en la medición de esta propiedad. En concordancia con este método, se incorporan 2 g de la muestra en una probeta previamente tarada, y posteriormente se compacta la muestra con meticulosidad hasta lograr una distribución homogénea. A continuación, se procedió a medir el volumen ocupado por la muestra en la probeta y se disminuyó el peso total de la probeta junto con la muestra. Para salvar la integridad de los resultados y minimizar las posibles fuentes de error, se implementó el proceso de prueba en ambas muestras, considerando distintas variables de muestra para garantizar una evaluación integral y confiable.

La determinación de la densidad aparente se llevó a cabo utilizando ecuación 2. Este enfoque meticuloso y repetible logró obtener datos precisos sobre la densidad aparente de las muestras bajo consideración.

Ecuación 2. Densidad aparente

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

Donde:

Wpm= Corresponde al peso de la probeta con la muestra

Wp= Pertenece al peso de la probeta vacía

V= es el volumen colocado en la muestra en la probeta

11.3.1. Densidad aparente biochar a 500°C

$$\delta A = \frac{54,86gr - 52.86 gr}{8,5 ml} = \frac{2gr}{8.5ml}$$

$$\delta A = 0.235 \frac{gr}{ml} \rightarrow 235.29 \frac{kg}{m^3}$$

11.3.2. Densidad aparente biochar a 400°C

$$\delta A = \frac{54,76gr - 52.86 gr}{8,5 ml} = \frac{1.90gr}{8.5ml}$$

$$\delta A = 0.235 \frac{gr}{ml} \rightarrow 223.52 \frac{kg}{m^3}$$

La densidad aparente obtenida mediante la ecuación 2 fue de $235,29 \frac{kg}{m^3}$ y $223.52 \frac{kg}{m^3}$ para el biocarbón producido del bagaje del maíz en el laboratorio pues estas tienen ciertas implicaciones en el contexto de la mitigación de la contaminación por metales pesados en el agua según la información obtenida de artículos como (TBJ, 2014) hacen mención en que la baja densidad aparente sugiere que el biocarbón tiene una estructura altamente porosa y una gran área de superficie, esto es beneficioso para los procesos de adsorción, ya que el área de superficie aumentada proporciona más sitios para la unión y retención de metales pesados.

Capacidad de adsorción: Gracias a la alta porosidad y el área superficial del biocarbón pueden mejorar su capacidad de adsorción de metales pesados, como es el caso del mercurio suspendido en el agua contaminada a nivel de laboratorio. De tal modo que el biochar puede

atrapar e inmovilizar efectivamente los iones de metales pesados dentro de su estructura porosa, reduciendo su concentración en el agua.

Si bien la caracterización resultante a escala de laboratorio es prometedora y los factores como la composición específica de los residuos orgánicos, las condiciones de pirólisis y la presencia de otros contaminantes en el agua pueden influir en la eficacia del biocarbón para mitigar la contaminación por metales pesados. La evaluación a escala de laboratorio de la densidad del biocarbón es un paso inicial importante, para evaluar completamente su potencial para mitigar la contaminación por metales pesados en el agua, se necesita más investigación. Esto incluye probar el biocarbón en condiciones realistas, evaluar su desempeño a largo plazo y considerar los posibles impactos ambientales y económicos asociados con su implementación a gran escala.

11.4. Densidad real

La determinación de la densidad real se llevó a cabo mediante la metodología del picnómetro. Inicialmente, se procedió a la pesada precisa del picnómetro designado, al que se incorporó 0,5 g de la muestra. Una vez añadida la muestra, se realizó una nueva medición de peso. Posteriormente, el picnómetro fue llenado con agua destilada y sometido a una medición de peso, asegurando un riguroso proceso de secado para minimizar posibles fuentes de error en la medición. Finalmente, se logró el peso del picnómetro conteniendo únicamente agua destilada. La experimentación se replicó utilizando tres muestras distintas, una medida tomada para maximizar posibles desviaciones. La obtención de la densidad real se efectuó mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Densidad real

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

Donde:

m= masa

Wp = peso del picnómetro vacío

Wpm = peso del picnómetro con la muestra

Wpw= peso del picnómetro con agua

Wpmw= peso del picnómetro con la muestra y aforado con agua destilada

δ_w = Densidad del agua (kg/m^3)

Datos en general

Vacío con tapa 18.77 *gr*

Biochar 0.50 *gr*

Vacío con biochar 19.27 *gr*

Vacío con biochar y agua destilada 29.73 *gr*

Vacío con agua destilada 27.93 *gr*

11.4.1. Densidad real biochar a 500°C

$$Real = \frac{19.27 \text{ gr} - 18.77 \text{ gr}}{0.50 \text{ gr} + 27.93 \text{ gr} - 29.73 \text{ gr}} * 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$real = 41.54 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

11.4.2. Densidad real biochar a 400°C

Datos en general

Vacío con tapa 18.64 *gr*

Biochar 0.50 *gr*

Vacío con biochar 19.14 *gr*

Vacío con biochar y agua destilada 29.60 *gr*

Vacío con agua destilada 27.83 gr

$$Real = \frac{19.14 \text{ gr} - 18.64 \text{ gr}}{0.50 \text{ gr} + 27.83 \text{ gr} - 29.60 \text{ gr}} * 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$real = 31.10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Al emplear la ecuación 3, se consiguió una densidad relativa de $41.54 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ y $31.10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ al generar el biochar a partir del bagaje con el tallo del maíz, esto indica que el producto producido tendrá una baja densidad y será relativamente ligero. De tal manera que la densidad del biochar es importante porque determina su capacidad de retención de agua y nutrientes, así como su facilidad de manejo y aprovechamiento.

Aunque la densidad relativa puede considerarse relativamente baja en comparación con otros estudios que reportan densidades más altas, es importante tener en cuenta que la densidad del biochar puede variar dependiendo a las variables empleadas en generar nuestro producto, las características de la biomasa utilizada. Por lo tanto, es necesario evaluar la densidad en conjunto con otras propiedades del biochar, como la porosidad y la capacidad de retención de contaminantes, para determinar su eficacia en la remediación del agua contaminada con metales pesados.

11.5. Determinación de la Porosidad

En la investigación, es importante determinar la porosidad ya que este parámetro proporciona una estimación de la estructura de la superficie del sólido. Debido a que los iones de metal se retienen en los poros, se prolonga la porosidad utilizando la densidad real y aparente. La densidad real se prolongará utilizando el método del picnómetro, donde se pesó el picnómetro utilizado y se agregaron 0,5 g de la muestra, se pesó nuevamente. Luego, se llenó el picnómetro con agua destilada y se pesó, asegurándose de secar bien el picnómetro para evitar errores de

medición. Finalmente, se pesó el picnómetro solo con agua destilada. La prueba se realizó con tres muestras para evitar errores y se aplicó la siguiente ecuación para obtener la densidad real. La densidad aparente se prolonga utilizando el método de la probeta, donde se introdujeron 2 g de la muestra en una probeta previamente pesada y compactada hasta que estuviera homogéneamente distribuida. Luego, se midió el volumen ocupado por la muestra y se pesó la probeta con la muestra. La prueba se realizó con tres muestras para validar los datos y evitar errores

Ecuación 4. Porosidad

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

Donde

δR = Representa de densidad real

δA = Representa la densidad aparente

$$porocidad = \frac{41.54 \frac{kg}{m^3} - 235,29 \frac{kg}{m^3}}{41.54 \frac{kg}{m^3}} * 100\%$$

$$porocidad = 4.66\%$$

A través de la aplicación de la ecuación 4, se derivó una porosidad del 4,66% al producir biocarbón utilizando el tallo de maíz. Este cálculo denota que el biochar generado poseerá una estructura porosa, lo cual puede conferir ventajas sustanciales en su aplicabilidad en la remediación de aguas contaminadas con metales pesados. La porosidad del biochar ostenta un significado de gran envergadura, ya que incide directamente en su capacidad de retención de contaminantes y su interacción con el entorno. En línea con la observación realizada por Lu &

Zong (2018), se debe resaltar que la porosidad de 4,66 % puede esperarse modesta al contrastarla con otros estudios que documentan porosidades de mayor envergadura. Esta perspectiva recalca la necesidad de considerar que la porosidad del biocarbón es un atributo susceptible a variaciones que pueden derivar de múltiples factores, tales como las condiciones de producción y las particularidades intrínsecas de la biomasa utilizada. Por lo tanto, la evaluación de la porosidad debe ser abordada en consonancia con otras propiedades inherentes al biochar, tales como el tamaño y la distribución de los poros, con el propósito de precisar su potencial eficacia en la remediación de aguas contaminadas con metales pesados. Estas consideraciones multidimensionales son esenciales para lograr una comprensión integral de la idoneidad del biochar en el contexto de la mitigación de la contaminación ambiental.

11.6. Análisis de la pirolisis empleada en el biochar.

Una vez obtenido el biocarbón mediante la manipulación de nuestras variables de temperatura y tiempo, centrados en los procesos de pirolisis rápida y lenta, procedimos a analizar su rendimiento en términos de absorción de mercurio, un metal pesado de interés, en el ámbito de laboratorio. Para evaluar su eficacia eficiente, implementamos un enfoque basado en la relación entre el número de filtraciones realizadas y los resultados obtenidos. Esta metodología permitió discernir el rendimiento óptimo del biocarbón en la absorción de mercurio. La experimentación se llevó a cabo mediante dos ejecuciones distintas, las cuales se encuentran detalladas en las Tablas 18 y 19. Cada una de estas ejecuciones estuvo relacionada con condiciones específicas de biomasa, con el propósito de abarcar un espectro más amplio de posibles resultados consecuentemente se asignó valores representativos de 1 = No y 2 = Si para validar la eficacia del biochar obtenido.

11.6.1. Pirolisis rápida biochar a 500°C

Tabla 18. Modelos del número de valores obtenidos en la experimentación a distinto peso.

	Fi									
T o	1 x 1	1 x 2	1 x 3	1 x 4	1 x 5	2 x 1	2 x 2	2 x 3	2 x 4	2 x 5
	Peso									
	(g)									
	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6	1 3 6
	1 1 2	1 2 2	1 2 2	1 2 2	1 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2
	1 1 2	1 2 2	1 2 2	1 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2
	1 1 2	1 2 2	1 2 2	1 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2
50	1 1 2	1 2 2	1 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2
0	1 1 2	1 2 2	1 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2
	1 1 2	1 2 2	1 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2
	1 1 2	1 2 2	1 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2

Fuente: Caspi (2023).

La etapa inicial de filtración, involucrando el biochar en tres variantes de peso (1, 3 y 6 g), ha permitido observar una presencia notable de burbujas de mercurio, que a su vez reaccionarán con el empleado HCl. Esta reacción se refleja en la persistencia de mercurio (Hg) en la solución. Para mejorar la calidad de los resultados, se ha optado por aprovechar los filtrados anteriores, dando continuidad al proceso con el fin de lograr una mayor precisión en los resultados.

Un aspecto digno de destacar es la evolución observada en las sucesivas etapas de filtración. En específico, a partir de la segunda filtración, la presencia de burbujas se ha reducido a un punto nulo. Esta transformación es indicativa de una depuración efectiva y respalda la premisa de que la repetición del proceso de filtración conduce a una mayor purificación de la

1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 2 2 1 2 2 1 2 2 1 2 2 1 2 2 1 2 2

Fuente: Caspi (2023).

La evaluación de los datos resultantes de las filtraciones realizadas con el biochar a una temperatura de 400°C, variando los pesos utilizados en 1, 3 y 6 g, ha arrojado observaciones significativas. En particular, se ha constatado la prevalencia de burbujas de mercurio, las cuales se someten a reacciones con HCl de manera abundante. Para mejorar la calidad de los resultados, se optó por reutilizar las filtraciones previamente realizadas, prosiguiendo con el proceso de filtración.

De manera interesante, en el segundo ciclo de filtración se ha evidenciado una atenuación de los cambios observados en la presencia de burbujas en relación con la primera filtración. Este fenómeno sugiere una mayor estabilidad en el proceso, respaldando la idea de que la reiteración del filtrado conduce a una depuración más precisa de la muestra y una reducción de efectos no deseados en la interpretación de los resultados.



Ilustración 2. Verificación de los resultados expresados en la tabla 19.

Materiales empleados en el proceso de pirolisis:

Solución contaminada con mercurio

Crisoles

Biomasa obtenida

Vasos de precipitación

Balanza analítica

Goteros

Agua destilada

Tubos de ensayo

Embudos

Papel filtro

Procedimiento:

Recolección el bagazo de caña de maíz y separación del resto de mermas que posee el maíz

Secado el bagazo para reducir su contenido de humedad.

Triturar el bagazo en pedazos para aumentar su área de superficie.

Colocar el bagazo triturado en un reactor (mufla) para generar el proceso de pirólisis a distintas temperaturas de 400-500°C en ausencia de oxígeno.

Mantener la temperatura por un tiempo específico para asegurar la carbonización completa del bagazo.

Enfriamiento del biocarbón y conservación del mismo.

Empleo del mortero y tamización del biochar obtenido.

Se coloco dentro del embudo papel filtro junto al biochar en distinto pesaje para poder emplear el agua contaminada previamente medida en el vaso de precipitación para realizar el proceso de filtrado.

Distribución del líquido filtrado para verificar si existe la presencia suspendida del mercurio.

Ejecución repetitiva para obtener un mejor resultado para eliminar el mercurio dentro de la solución filtrada y utilizada.

11.7. Descontaminación de Mercurio

En el proceso de evaluar la eficacia del tratamiento en la descontaminación del mercurio, se llevó a cabo una comparación entre la muestra inicial y las muestras recopiladas posteriormente tras la aplicación del tratamiento. Esta comparación se presenta de manera visual en la ilustración número 3. A través de este análisis, se buscó determinar y cualificar los efectos del tratamiento en la reducción de la presencia de mercurio.



Ilustración 3. Comparación madre y sus distintitos tratamientos a 400°C, 500°C y el mejor tratamiento obtenido.

11.8. Análisis de tablas de frecuencia

Al analizar los valores obtenidos de 480 resultados expresados en la Tabla 20 de los factores y el número de repeticiones obtenemos una tabla de frecuencia como se puede apreciar en la tabla

De tal manera que al enfocarnos en la hipótesis nula y alternativa para tratar la descontaminación del mercurio suspendida en el agua aplicando biochar a diferentes características se aplica el proceso que se detalla en el diagrama 1.

Tabla 20. Factores de tratamiento para la descontaminación del Mercurio

Factores	Variables	Numero de variables	Numero de repeticiones	total, de tratamientos
f1 (materiales)	Tallo del maíz	1		
f2 (temperatura)	400°	2		
	500°			
f3 (Peso)	1	3	5	fi x f2 x f3 x f4 x N° de R
	3			
	6			
	Fi.1 x 1	16		
	Fi.1 x 2			
	Fi.1 x 3			
	Fi.1 x 4			
	Fi.1 x 5			
	Fi. 1 x 6			
	Fi. 1 x 7			
Fi. 1 x 8				
f4 (filtraciones)	Fi.2 X 1			
	Fi.2 X 2			
	Fi.2 X 3			
	Fi.2 X 4			
	Fi.2 X 5			
	Fi.2 X 6			
	Fi.2 X 7			
	Fi.2 X 8			
Total		16	5	480

Fuente: Caspi (2023).

Nota: La tabla a continuación presenta los parámetros utilizados en el cálculo de las filtraciones llevadas a cabo en el entorno de laboratorio con el propósito de descontaminar el agua contaminada con mercurio

Se llevó a cabo un ensayo factorial que se representó con las siguientes variables:

F1: Contenido de Materia Orgánica

F2: Temperatura de funcionamiento

F3: Peso del Biochar empleado

F4: Tipo de filtración utilizada

Dentro de cada uno de estos factores, se obtuvieron los siguientes valores:

F1 = 1

F2 = 2

F3 = 3

F4 = 10

Para analizar las interacciones entre estos factores, se implementó un diseño experimental de bloques al azar con 8 repeticiones, generando un conjunto de datos compuestos por un total de 480 observaciones.

Habiendo realizado un total de 240 tratamientos, cada uno con 8 repeticiones, lo que resulta en un conjunto de datos compuestos por 480 observaciones en total, se procede a asignar una categoría al resultado. Esta categorización se encuentra detallada en la Tabla 20 y Tabla 21, para su referencia. Este proceso se llevó a cabo en el contexto de un enfoque de datos categóricos con el propósito de analizar y clasificar los datos obtenidos en función de su relevancia.

Tabla 21. Resultados de la tabla de frecuencia general

Valores que toma la variable	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
	absoluta	acumulada	relativa	relativa acumulada	porcentual	porcentual acumulada
1	204	204	0,425	0,425	43%	43%

2	276	480	0,575	1	58%	100%
Total	480		1		100%	

Fuente: Caspi (2023).

La interpretación de los resultados revela que se han obtenido valores cualitativos dentro de un rango predefinido de 1 y 2, donde el valor "No" corresponde a 1, indicando la falta de eficacia del tratamiento, mientras que el valor "Sí" corresponde a 2, denotando la eficacia del tratamiento en la eliminación completa de mercurio en el agua. Este análisis arroja una frecuencia porcentual del 58%, lo que significa que, de los 480 valores obtenidos, 276 muestran resultados positivos en la remediación del mercurio. Es importante destacar que este proceso de remediación no es independiente de ciertos factores predominantes. Entre ellos, se ha identificado que el peso de las variables, la temperatura ambiente y el método de filtración aplicado desempeñan un papel directo en el resultado final.

11.8.1. Tabla de frecuencia del biochar a 400°C

Al realizar la tabla de frecuencia para la determinación de los tratamientos analizando con el biochar a una temperatura de 400°C se obtiene un resultado como se expresa en la tabla X5.

Tabla 22. Resultados de la tabla de frecuencia a 400°C.

Valores que toma la variable	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
	Absoluta	Acumulada	Relativa	Relativa Acumulada	Porcentual	Porcentual Acumulada
1	168	204	0,7	0,7	70%	70%
2	72	276	0,3	1	30%	100%

Total	240	1	100%
-------	-----	---	------

Fuente: Caspi (2023).

Al efectuar un análisis mediante una tabla de frecuencia que considera las interacciones entre los factores de peso empleado en el procedimiento, el tipo de filtración implementado y el número de repeticiones con el uso de biochar a una temperatura de 400°C, se ha recopilado un conjunto de 240 observaciones. Dentro de este conjunto, se observa una frecuencia porcentual del 30%, lo que indica una presencia limitada de resultados positivos en términos de la eliminación de mercurio en el agua. Con mayor precisión, de las 240 observaciones, se ha identificado únicamente un total de 72 casos que exhiben resultados positivos en la remediación del mercurio. Este análisis pone de manifiesto que, en este contexto específico, la eficacia del proceso de eliminación del mercurio se encuentra restringida, sugiriendo la necesidad de un análisis más detenido de los factores involucrados y sus interacciones para lograr una mejora sustancial en la eficacia del tratamiento.

11.8.2. Tabla de frecuencia del biochar a 500°C

Al realizar la tabla de frecuencia para la determinación de los tratamientos analizando con el biochar a una temperatura de 500°C se obtiene un resultado como se expresa en la tabla X6.

Tabla 23. Resultados de la tabla de frecuencia a 500°C.

Valores que toma la variable	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
	Absoluta	Acumulada	Relativa	Relativa	Porcentual	Porcentual
1	36	204	0,15	0,15	15%	15%

2	204	408	0,85	1	85%	100%
Total	240		1		100%	

Fuente: Caspi (2023).

Al someter los datos a un análisis mediante una tabla de frecuencias, considerando las interacciones entre los factores de peso utilizados en el proceso, el tipo de filtración implementado y el número de repeticiones, utilizando el biochar producido a una temperatura de 500 °C, se ha observado un marcado incremento en el rendimiento del tratamiento. Concretamente, se ha alcanzado un notable 85% de éxito en la eliminación del mercurio presente en el agua. Esto se traduce en que, de los 240 conjuntos de datos recopilados, un total de 204 casos muestran una respuesta positiva en términos de la remediación del mercurio. Esta mejora significativa en los resultados respalda la influencia positiva del uso del biochar a 500 °C en conjunto con los otros factores considerados en el proceso. Estos resultados sugieren una dirección prometedora para la optimización de la eliminación de mercurio en el agua mediante la modificación y ajuste de los parámetros clave, lo que respalda la idea de una mayor exploración en esta dirección para lograr eficacias aún mayores en futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

11.9. Comparación de las tablas de frecuencia porcentual.

Al contrastar los desempeños registrados en las tablas de frecuencias porcentuales relacionadas con los factores asociados a las variables de temperatura, específicamente a 400°C y 500°C, emerge claramente el factor que ejerce la mayor influencia en la generación de resultados positivos en el contexto de diversos tratamientos. Este factor corresponde al biochar producido a partir de una temperatura de 500°C, con un intervalo de tiempo de 30 minutos. Los resultados indican que la frecuencia porcentual de resultados positivos para esta configuración particular alcanza un destacado 85%. Esta cifra denota un rendimiento con dificultad superior en

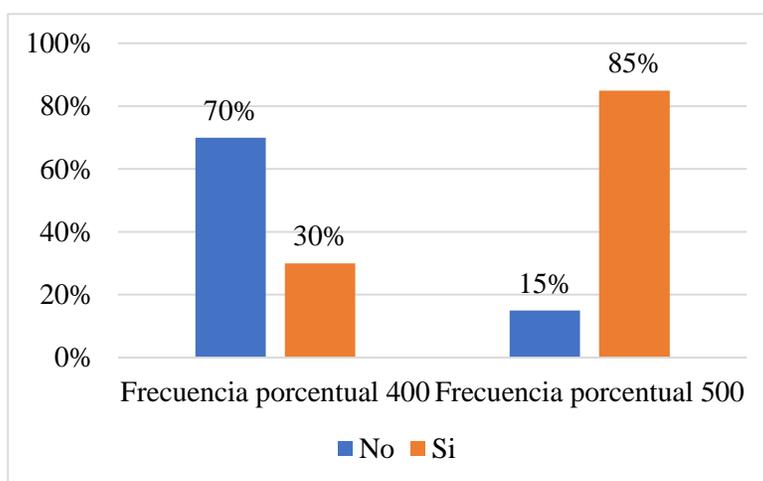
comparación con la alternativa de 400°C. Este fenómeno se manifiesta de manera significativa en la Tabla 24 y es visualmente apreciable en la Gráfica 1.

Tabla 24. Comparativa de la frecuencia porcentual del biochar

	Frecuencia porcentual 400°C	Frecuencia porcentual 500°C
No	70%	15%
Si	30%	85%

Fuente: Caspi (2023).

Nota. Estos resultados resaltan la relevancia crítica de la selección precisa de la temperatura de producción del biochar, donde 500°C con un tiempo de 30 minutos emerge como la configuración óptima.



Gráfica. 1 Frecuencia porcentual entre las temperaturas de 400°C y 500°C.

Fuente: Caspi (2023).

Tabla de frecuencia con la mediana de las repeticiones a 400°C y 500 °C

Las interacciones de los factores de peso empleado en el proceso de mitigación del metal pesado en al agua a nivel de laboratorio, y el número de filtraciones aplicadas y el promedio de

las 8 repeticiones con el biochar obtenido a 400°C y 500°C se obtiene los resultados como se expresan en la Tabla 25 para la de 400°C y la Tabla 26 para los 500°C.

Las relaciones entre los factores que involucran el peso utilizado en el proceso de mitigación de metales pesados en el agua a nivel de laboratorio, la cantidad de filtraciones implementadas y el valor promedio derivado de las 8 repeticiones con el biochar generado a temperaturas de 400°C y 500°C, los resultados obtenidos para la temperatura de 400°C están presentados en la Tabla 25, la cual exhibe las interacciones y las cifras resultantes que surgieron de este conjunto de factores.

Por otra parte, los resultados logrados para la temperatura de 500°C se encuentran detallados en la Table 26. Esta tabla, a su vez, expone las complejas relaciones y los valores obtenidos mediante la combinación de los factores encontrados en la comparación de la media por repeticiones que se expresa en la Tabla 27 y grafica 2.

Tabla 25. Resultados de la tabla de frecuencia con la mediana de las repeticiones a 400°C

Valores que toma la variable	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual Acumulada
1	21	204	0,75	0,75	75%	75%
2	7	211	0,25	1	25%	100%
Total	28		1		100%	

Fuente: Caspi (2023).

Tabla 26. Resultados de la tabla de frecuencia con la mediana de las repeticiones a 500°C

Valores que toma la variable	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual Acumulada
---------------------------------------	------------------------	-------------------------	------------------------	-------------------------------------	--------------------------	---------------------------------------

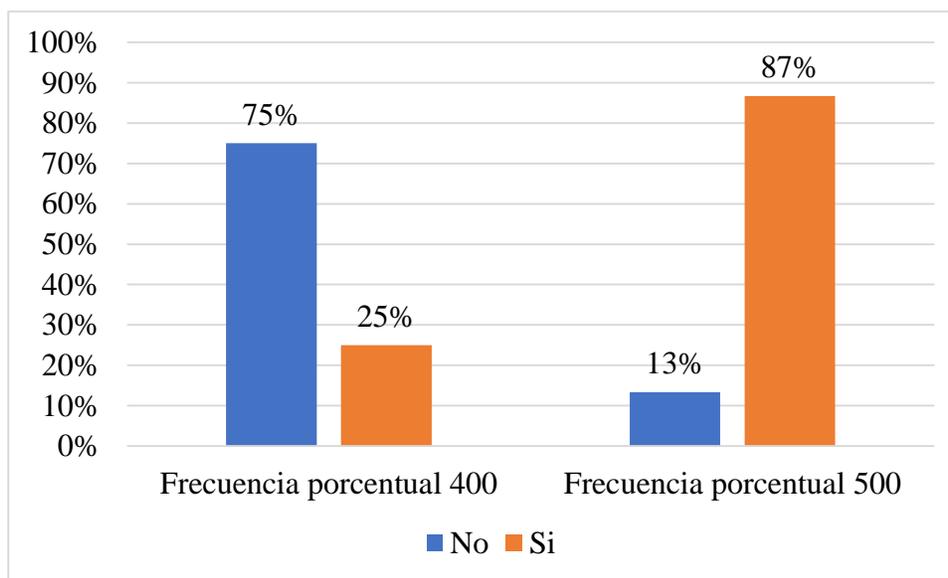
1	4	204	0,13	0,13	13%	13%
2	26	230	0,87	1	87%	100%
Total	30		1		100%	

Fuente: Caspi (2023).

Tabla 27. Comparativa de la media de la tabla de frecuencia de las repeticiones de 400°C y 500°C

	Frecuencia porcentual 400°C	Frecuencia porcentual 500°C
No	75%	13%
Si	25%	87%

Fuente: Caspi (2023).



Grafica. 2. Comparativa de la media de la tabla de frecuencia de las repeticiones de 400°C y 500°C

Fuente: Caspi (2023).

11.10. Tabla de frecuencia con el mejor rendimiento obtenido.

Para identificar el parámetro que exhibe un rendimiento óptimo, se ha procedido a seleccionar el que presenta el porcentaje más elevado de beneficio, considerando tanto una

filtración simple como una doble filtración, utilizando el biochar producido a 500°C. Este enfoque se ha orientado a evaluar la influencia en la eliminación del mercurio con un énfasis en la eficacia del proceso. Los resultados obtenidos muestran que la configuración que involucra dos etapas de filtración ha demostrado ser de una eficiencia excepcional en la eliminación del mercurio. Específicamente, el porcentaje de éxito en el proceso de remoción del mercurio mediante una filtración doble ha alcanzado el 73%. Esta cifra refleja un notorio avance en términos de la eficacia del tratamiento. De manera aún más prometedora, la aplicación de un proceso de doble filtración ha mejorado aún más estas capacidades, resultando en una eliminación del metal contaminante a nivel de laboratorio de un 100%. Estas investigaciones apuntan hacia una estrategia de descontaminación sumamente prometedora, respaldando la idea de que la implementación de un doble proceso de filtración, en conjunto con el biochar producido a 500°C, tiene el potencial de lograr una remoción completa y altamente eficaz del mercurio contaminante en entornos de laboratorio. Este resultado está expuesto en la Tabla 28 para el sistema de una sola filtración y Tabla 29 para el sistema de doble filtrado a si mismo la expresión por medio de la gráfica 3 se puede observar los valores obtenidos de dicha aplicación de remoción.

Tabla 28. Resultado del mejor rendimiento a un filtrado a 500°C

Valores que toma la variable	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual Acumulada
1	4	204	0,27	0,27	27%	27%
2	11	215	0,73	1	73%	100%
Total	15		1		100%	

Fuente: Caspi (2023).

Tabla 29. Resultado del mejor rendimiento a doble filtrado a 500°C

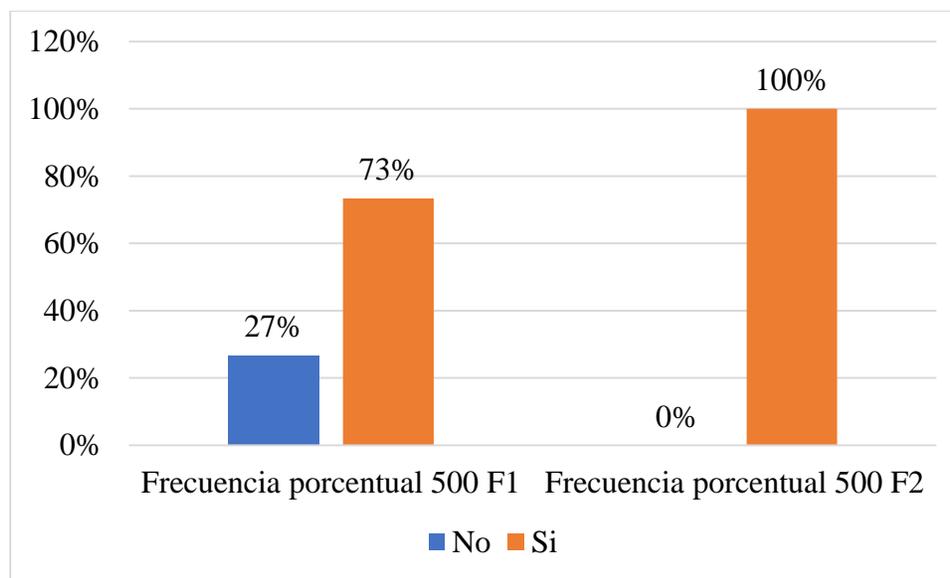
Valores que toma la variable	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Frecuencia Porcentual	Frecuencia Porcentual Acumulada
1	0	204	0	0	0%	0%
2	15	219	1	1	100%	100%
Total	15		1		100%	

Fuente: Caspi (2023).

Tabla 30. Resultado del mejor rendimiento a distinta variable de filtrado.

	Frecuencia porcentual 500°C F1	Frecuencia porcentual 500°C F2
No	27%	0%
Si	73%	100%

Fuente: Caspi (2023).

**Grafica 3. Comparativa del mejor rendimiento a distinta variable de filtrado.**

Fuente: Caspi (2023).

11.11. Análisis del mejor tratamiento

El biocarbón derivado del residuo del tallo de maíz, sometido a diversos parámetros experimentales, ha emergido como una solución prometedora en la mitigación de la contaminación por mercurio en el agua. Entre las variantes consideradas, el biochar generado a una temperatura de 500°C durante 30 minutos ha demostrado sobresalir en términos de características cruciales como el pH y la porosidad. Estas propiedades han facilitado una capacidad de absorción especialmente efectiva del mercurio presente en el agua.

La interpretación mediante la ilustración 3, empleando un tubo de ensayo primario contaminado con 0.005ml de mercurio, exhibe una tonalidad blanquecina lechosa. Tras la aplicación de biocarbón, derivado del proceso de filtración a 400°C, la eliminación del contaminante parece ser modesta. Sin embargo, cuando se somete el biocarbón a 500 °C, aplicado a configuraciones de filtración simple y doble, se hace evidente una mejora prometedora en la eliminación de contaminantes. Esta mejora se ve acentuada por la manifestación de un aspecto más cristalino. Cabe destacar que la implementación del método de filtración dual produce un impacto pronunciado en la remoción, caracterizado por la ausencia de partículas de mercurio en suspensión, logrando así una disposición transparente. Este resultado corrobora la eficacia del proceso de eliminación de contaminantes.

El método de doble filtrado, implica un proceso compuesto por dos etapas de filtración consecutivas, ha demostrado ser la estrategia más exitosa. Este método ha logrado una eliminación completa del contaminante, desplegando un efecto de limpieza que satisface las estrictas normas establecidas en la Tabla 1, 2 y 3 del Acuerdo Ministerial 097-A. Estas disposiciones se encuentran en el Anexo de la normativa que reforma el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

En conjunto, estos hallazgos representan un avance sustancial en la búsqueda de técnicas eficaces y sostenibles para enfrentar la contaminación por mercurio en el agua. La sinergia entre el biochar óptimamente elaborado y la estrategia de doble filtrado ha demostrado ser un enfoque altamente prometedor para abordar los desafíos ambientales críticos relacionados con la contaminación del agua por metales pesados.

Así mismo, la aplicación del software Infostat desempeña un papel crucial al reforzar la veracidad de la información presentada, contribuyendo de manera significativa en la validación de nuestros resultados cualitativos. Este programa se convierte en una herramienta esencial al momento de analizar y ratificar los valores obtenidos a partir de la ejecución del proceso de descontaminación del mercurio en el entorno de laboratorio. Su empleo permite un abordaje más completo y riguroso, facilitando la comprobación de la coherencia entre los datos recolectados y las interpretaciones cualitativas que derivan de dichos datos. En consecuencia, se establece una base sólida para sustentar y fundamentar nuestras conclusiones en este proceso de investigación.

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

La fábrica de biocarbón o biochar a partir de residuos orgánicos provenientes del bagazo de caña de maíz, con la finalidad de mitigar la contaminación del agua causada por metales pesados en un entorno de laboratorio, encierra un conjunto de consideraciones técnicas, sociales, ambientales y económicas de relevancia. Estas implicaciones abarcan distintos alrededores que merecen un análisis detallado:

12.1. Impacto Técnico.

La producción de biocarbón a partir de los residuos de bagazo de caña de maíz puede conllevar la necesidad de utilizar tecnologías especializadas, lo que posiblemente acarree costos adicionales en términos de inversión y capacitación técnica. La obtención de biocarbón podría requerir insumos específicos como energía y agua, lo que podría incidir en la huella de carbono

del proceso. Asimismo, la fabricación de biocarbón podría demandar equipos y herramientas particulares, dando lugar a gastos adicionales relacionados con la inversión y el mantenimiento.

12.2. Impacto Social.

La producción de biocarbón a partir de los desechos del bagazo de caña de maíz podría generar oportunidades económicas y empleos en las comunidades locales. Esta actividad también podría resultar en la reducción de la contaminación del agua por metales pesados, lo que a su vez podría tener efectos mejorados en la salud de las personas que dependen del agua para su consumo.

12.3. Impacto Ambiental.

La creación de biocarbón a partir de los residuos del bagazo de caña de maíz podría contribuir a la disminución de la contaminación del agua debido a metales pesados, presentando un efecto positivo en el medio ambiente. Además, la producción de biocarbón podría colaborar en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que el biocarbón puede servir como una forma de almacenamiento de carbono.

12.4. Impacto Económico.

La manufactura de biocarbón desde los residuos del bagazo de caña de maíz podría significar ingresos adicionales para los productores de maíz. Esta actividad puede surgir como una alternativa económicamente viable para la gestión de biorresiduos, ya que puede representar un producto con valor añadido.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos a lo largo del proceso investigativo, se deriva la siguiente conclusión.

La correcta implementación de una metodología precisa para la síntesis de biocarbón a partir de materia orgánica de bagazo de maíz ha emergido como un factor determinante en la

obtención de un producto de calidad sobresaliente. Dicho producto presenta propiedades intrínsecas que se adecuan de manera óptima para su aplicación en la remediación de aguas contaminadas. Este proceso de síntesis abarca también la variación deliberada de las condiciones de temperatura y biomasa, lo que resulta en una gama diversa de biocarbones pues el resultado de esta investigación ha resaltado de manera concluyente la influencia significativa que ejercen las condiciones de producción sobre las propiedades fundamentales del biocarbón resultante de este modo el Identificar las condiciones óptimas ha demostrado ser esencial para maximizar su eficacia en la remediación de aguas contaminadas con metales pesados, específicamente en un entorno de laboratorio.

La eficacia intrínseca en la eliminación de contaminantes por parte del biocarbón ha sido rigurosamente validada mediante un análisis detallado de tablas de frecuencia. De entre varias condiciones, el biocarbón sintetizado a 500°C durante un período de 30 minutos, mediante una metodología de doble filtración, ha presentado el resultado más sobresaliente. Esta configuración exhibió una capacidad excepcional de remoción de metales pesados, superando con niveles elevados de eficacia observados en otros métodos de filtración en el contexto de la remediación de aguas contaminadas. Demostrando que esta investigación no solo ha subrayado la importancia de una metodología precisa en la síntesis de biocarbón a partir de materia orgánica de bagazo de maíz, sino que también ha resaltado el papel crítico de las condiciones de producción en la obtención de un producto de alta calidad para la remediación de aguas contaminadas. La validación rigurosa de la capacidad de eliminación de otros contaminantes del biocarbón se encuentran reforzados su posición como una solución prometedora y efectiva en comparación con técnicas de filtración disponibles en el campo de la remediación de aguas contaminadas.

Recomendaciones

Es altamente recomendable proseguir con la investigación y el desarrollo de técnicas avanzadas de producción de biocarbón, provenientes de diversas fuentes de biomasa, con el fin de perfeccionar su capacidad en la remediación de aguas contaminadas por metales pesados. Esta búsqueda constante de optimización no solo potenciará la eficacia del biocarbón, sino que también fortalecerá su posición como solución líder en este contexto desafiante.

La relevancia de llevar a cabo investigaciones a largo plazo cobra mayor importancia al considerar la evaluación de la estabilidad y durabilidad del biocarbón en el entorno ambiental. Además, se debe explorar detenidamente el impacto continuado del biocarbón en la calidad del agua y la salud integral del ecosistema acuático. La inmersión en estudios prolongados permitirá una comprensión más holística de su comportamiento y contribuirá a su aplicación informada y sostenible.

Es fundamental enfocar recursos hacia estudios complementarios que aborden la viabilidad económica tanto de la producción como de la implementación del biocarbón en la remediación de aguas contaminadas. Un análisis minucioso debe abarcar los costos inherentes a la producción, transporte y aplicación del biocarbón. Al mismo tiempo, es crucial considerar y cuantificar los beneficios de carácter ambiental y social que resultan de su uso, así como un marco completo para tomar decisiones informadas.

La promoción activa de políticas y controle encaminadas a fomentar la adopción del biocarbón como alternativa sostenible y eficaz en la remediación de aguas contaminadas con metales pesados se vuelve un imperativo. Esta estrategia encuentra su respaldo en los resultados obtenidos de la producción de biocarbón a partir de material orgánico de bagazo de maíz, los cuales han demostrado con solidez su capacidad de eliminación de contaminantes. En este contexto, la investigación subraya la necesidad de continuar la exploración y difundir su activa

implementación en la práctica, en aras de avanzar hacia soluciones ambientales más sólidas y de mayor alcance.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Acosta, r. 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en cuba. Cultivos tropicales, 30(2).

Alfaro, e. (2017.). Facultad de ingeniería escuela profesional de ingeniería ambiental asesor: línea de investigación calidad y gestión de recursos naturales. Retrieved july 31, 2023, from https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/13006/conde%c3%b1a_nea.pdf?isallowed=y&sequence=1

Alicia, m., rosario, j., José venegas gonzález, montañez, l., pimentel, l., & milton muñoz navia. (2019). Caracterización física y química de biochar de lodos residuales. Terra latinoamericana, 37(3), 243–251. <https://www.redalyc.org/journal/573/57363013005/html/>

Álvarez et (2021) agua - concepto, composición, funciones e importancia. <https://concepto.de/agua/>

Andrea ximena (2019), biochar. Facultad de ciencias ambientales carrera profesional de ingeniería ambiental. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1826/tb-huillca%20e.pdf?isallowed=y&sequence=2>

Ariadna garcía-astillero. (2018, september 3). Contaminación por metales pesados en el agua. Ecologiaverde.com; ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-metales-pesados-en-el-agua-1452.html>

Ariel alfaro vargas (2023). El mercurio en el agua potable afecta la salud. Universidad de costa rica. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2023/5/15/el-mercurio-en-el-agua-potable-afecta-la-salud.html>

- Baguer, b. (2015). Biochar a partir de cañote de maíz: estudio preliminar del efecto de la presión y temperatura de pirólisis en el rendimiento y la calidad del producto. Universidad de zaragoza. Universidad zaragoza. Retrieved from <http://zaguan.unizar.es/taz/eucs/2014/14180/taz-tfg-2014-408.pdf>
- Bravo, c.; bello, i. Y lópez, y. (2016). Contaminación de agua cruda de rio y potabilizada de consumo doméstico en manta – ecuador. Dominio de las ciencias. Vol. 2, núm. 3, pp. 171-186.
- Castro, d. (2018). Evaluación del proceso de pirólisis aplicado al material lignocelulósico residual residual proveniente del pino patula en atmosfera de dióxido de carbono. Universidad libre de colombia. Retrieved from [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11025/trabajo de grado final diana catherine castro jiménez .pdf?sequence=1](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11025/trabajo_de_grado_final_diana_catherine_castro_jiménez.pdf?sequence=1)
- Codigo orgánico del ambiente, registro oficial suplemento 983 § (2017). Retrieved from http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/codigo_organico_ambiente.pdf
- Composting science (2015). ¿qué es el biochar? Compostando ciencia. <Http://www.compostandociencia.com/2015/01/que-es-el-biochar/>
- Cuello núñez, s. (2016). Biocumulación, toxicidad e interacción de metilmercurio y especies de selenio.
- Cueto, m. (2016). Potencial de producción de biochar en españa a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de e.d.a.r., de residuos sólidos urbanos y de residuos ganaderos: estudio de la fijación de carbono. Tesis doctoral, 1–236.
- Doebley, j. & h. H. Iltis. 1980. Taxonomy of zea (gramineae). I. A subgeneric classification with key to taxa. Amer. J. Bot. 67(6): 982-993.

Dr. Maria rodriguez. (2023, july 15). ▷ características del maíz que lo hacen una planta versátil.

Delmaíz.info; delmaíz.info. <https://delmaiz.info/caracteristicas/>

Ecodes. (2023). Efectos ambientales del mercurio - ecología y desarrollo. Ecodes.org.

<https://archivo.ecodes.org/web/noticias/efectos-ambientales-del-mercurio>

Eduardo. (2021). Potencial del biochar para la remediación de suelos contaminados con metales. Cientifica.edu.pe. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1826>

Enders a, hanley k, whitman t, joseph s & lehmann j (2012) caracterización de biocarbón para evaluar la obstinación y el rendimiento agronómico. Tecnología de biorecursos, 144:644-653.

Española, r. (2014). Enmiendas orgánicas de nueva generación: biochar y otras biomoléculas. Journal of chemical information and modeling, 53(9), 70–120.

<https://doi.org/10.1017/cbo9781107415324.004>

Fao.2002. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030: informe resumido. World agriculture: towards 2015/2030: summary report. Agriculture mondiale: horizon 2015/2030: rapport abrégé. Roma (italia)

González, y. (1998). Metales pesados. Editorial alquimia.

Grajales, t. (2000). Academia.edu. Recuperado el 29 de julio de 2022, de https://www.academia.edu/9373954/tipos_de_investigacion_por_tevni_grajales_g

Hallauer, a. R. Y carena, m. J. 2009. Maize. Springer us 3: 3-98.

Hidrored - estado de los recursos hidricos en ecuador - bases de datos. (2021).

Rediris.es.<http://tierra.rediris.es/hidrored/basededatos/docu1.html>

Juan vicente (2019) método de tukey para comparaciones múltiples. LinkedIn.com.
<https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-el-m%C3%A9todo-de-tukey-para-comparaciones-salazar-jaime>

Laura ruiz (2019). Prueba de chi-cuadrado (χ^2): qué es y cómo se usa en estadística. Retrieved 4 august 2023, from <https://psicologiaymente.com/miscelanea/prueba-chi-cuadrado>

Lehmann j & joseph s (2015) biocarbón para la gestión ambiental: una introducción. En: lehmann j & joseph s (eds.) Biochar para la gestión ambiental: ciencia, tecnología e implementación. Nueva york, routledge. P.01-1

León, v., & plaza, a. (2017). Análisis de la gestión de residuos sólidos en el cantón balzar - provincia de las guayas. Retrieved from <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7969/1/t-ucsg-pre-eco-adm-374.pdf>

Lima, i. M., boateng, a. A., & klasson, k. T. (2010). Physicochemical and adsorptive properties of fast-pyrolysis bio-chars and their steam activated counterparts. *Journal of chemical technology and biotechnology*, 85(11), 1515–1521. <https://doi.org/10.1002/jctb.2461>

Lu, s., & zong, y. (2018). Pore structure and environmental serves of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis conditions. 25(30), 30401–30409. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3018-7>

Luisa, m., calvo, á., gabriel, g., guerrero, m^a, d., & lázaro, m. (2019). https://oa.upm.es/55865/1/marisa_alvarez_calvo.pdf

Mae. (2015). Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente libro vi, anexo 6: norma e calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos. Tulsma, 45. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057513>

Maria luz cayuela, sánchez-monederó, m. A., roig, a., hanley, k., enders, a., & lehmann, j. (2013). Biochar and denitrification in soils: when, how much and why does biochar reduce n₂o emissions? 3(1). <https://doi.org/10.1038/srep01732>

Martínez, a., & bohórquez, l. (2017). Evaluación de la eficiencia de biochar producido a partir de pirólisis lenta de bagazo de caña, como medio filtrante para retención de fenoles en matriz acuosa. Tesis. Universidad de la salle. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1343&context=ing_ambiental_sanitaria

Mateos, e. (2018). Producción de biochar a partir de material bioestabilizado. Retrieved from <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/31220/1/tfg-i-894.pdf>

Medioambiente, o. De. (2006). Programa de residuos ganaderos de aragón, 3–94.

Mopt(2019). Aguas residuales https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/libros/logo/pdf/aguas_residuales_mopt.pdf

Mufla – tp – laboratorio químico. (2015, march 22). Tplaboratorioquimico.com. <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/horno-mufla.html>

Olmo, m. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo , las características de la raíz y la producción vegetal. Tesis, 156. Retrieved from

www.uco.es/publicaciones%0ahttps://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1

Ortega, c. (2019, september 7). Anova: qué es y cómo hacer un análisis de la varianza. Questionpro.

<https://www.questionpro.com/blog/es/anova/>

Paliwal, r. L. 2001 a. Introducción al maíz y su importancia. En: paliwal, r. L.; granados, g.; lafitte, h. R.; violic, a.,d. Y marathée, j. P. (eds.). El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Colección fao: producción y protección vegetal 28. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. Pp. 1-3.

Pandey, d., daveray, a., & arunachalam, k. (2020). Biochar: production, properties and emerging role as a support for enzyme immobilization. *Journal of cleaner production*, 255, 120267.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120267>

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>

Raimann, x., lorena rodríguez, o., Chávez, p., & torreón, c. (2014). Mercurio en pescados y su importancia en la salud. *Revista medica de chile*, 142(9), 1174–1180. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872014000900012>

Ramos, h. (2012). Remoción de cianuro en relaves auríferos utilizando biochar producido a partir de tallos de *gliricidia sepium*. Universidad de cartagena. Retrieved from [http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/135/remoción de cianuro en relaves auríferos.pdf?sequence=1&isallowed=y](http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/135/remoción%20de%20cianuro%20en%20relaves%20auríferos.pdf?sequence=1&isallowed=y)

Rebolledo, a., pérez lópez, g., moreno, c., collado, j., alves, j., pacheco, e., etchevers barra, j., rebolledo, e., pérez lópez, g., hidalgo moreno, c., lópez collado, j., alves, j., valtierra pacheco, e., & etchevers barra, j. (n.d.). Biocarbón (biochar) i: naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo biocarbon (biochar) i: nature, history, manufacture and use in soil. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>

Residuos, m. V. I. I. (2014). Módulo vii : residuos. Retrieved from <http://www.lineaverdemunicipal.com/guias-buenas-practicas-ambientales/es/c-residuos-reutilizacion-reciclaje.pdf>

Reyna, pamel. (2019, december 16). Desecador que es, para que sirve, tipos 2020 - materiales de laboratorio. Materiales de laboratorio. <https://materialesdelaboratoriohoy.us/vidrio/desecador/>

Rubio, h.; balderrama, l.; burrola, e.; nelson, g. Y saucedo, r. (2015). Niveles de contaminación del agua potable en la cabecera municipal de ascensión, chihuahua, méxico. Nova scientia, 7(14),178-201. <https://www.redalyc.org/pdf/2033/203338783011.pdf>

Salazar, m. (1997). Efectos tóxicos del mercurio. Revista de la facultad de medicina, 45(3), 139–143.

Taborda. (2015). La disponibilidad de agua en las ciudades - sostenibilidad. Sostenibilidad. <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/la-disponibilidad-de-agua-en-las-ciudades/>

Tania orbe (2020). Hallan metales pesados en ríos amazónicos de ecuador. América latina y el caribe. <https://www.scidev.net/america-latina/news/hallan-metales-pesados-en-rios-amazonicos-de-ecuador/>

Tapia, m. E. Y fries, a. M. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación; asociación nacional de productores ecológicos del Perú. Lima.

Tbj (2014) weight or volume for handling biochar and biomass. Biochar-journal.org.
<https://www.biochar-journal.org/en/ct/71>

Toro, r., szantó, m., pacheco, j., contreras, e., & gálvez, a. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Manuales de la cepal, 209. Retrieved from
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-guia-general-la-gestion-residuos-solidos-domiciliarios>

Trujillo roldán, s. A. (2005). Diseño y construcción de un horno de crisol para fundición utilizando gas natural (bachelor's thesis, quito: usfq, 2005).

Tulsma (2003), revision del anexo 1 del libro vi del texto unificado de legislacion secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua revisión y actualización de la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes : recurso agua 0 introducción. <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/propuesta%20anexo%201.pdf>

Unisalle, c. (2017). Universidad de la salle.
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1343&context=ing_ambiental_sanitari
 a

Urien, a. (2013). Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. Tesis de máster. Retrieved from
http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/biocarbones_cenim_csic.pdf

Valdiviezo. (2011). Que es cuenca hidrologica. Yumpu.com.

<https://www.yumpu.com/es/document/read/63069920/que-es-cuenca-hidrologica>

Velásquez, a. (2008). La gestion de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de hannover : un modelo exitoso. Anales de geografía, 28(1), 163–177. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/38822995.pdf>

Zaman, c. Z., pal, k., yehye, w. A., sagadevan, s., shah, s. T., adebisi, g. A., ... johan, r. Bin. (2017). Pyrolysis: a sustainable way to generate energy from waste. Pyrolysis, (july), 1–36. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69036>

15. ANEXOS. Evidencias fotográficas

Fotografía 1. Elección del Maíz en su estado verde



Fotografía 2. Elección del maíz semi seco



Fuente: Caspi (2023).

Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 3. Pesaje del Maíz en sus distintos estados verde, semi seco y seco con sus mermas correspondientes



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 4. Corte del tallo de maíz seco a 1cm2



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 5. Pesaje del maíz cortado



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 6. Mufla para sintetizar el biochar



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 7. Calentamiento de la mufla a la temperatura a utilizar.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 8. Pesaje de los crisoles a emplear.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 9. Pesaje del tallo de maíz cortado para introducir dentro del crisol.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 10. Colocación del material dentro de los crisoles.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 11. Recubrimiento con papel aluminio para evitar el ingreso del aire dentro de los crisoles.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 12. Ingreso del crisol dentro de la mufla calentada a la temperatura requerida.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 13. Obtención del biochar ejecutado a distintas temperaturas

Fotografía 14. Pesaje del material triturado para obtener una mayor cantidad de biochar.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 15. Obtención de una mayor cantidad de biochar.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 16. Trituración del biochar obtenido en un mortero convencional.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 17. Tamiz del biochar molido para obtener una contextura uniforme a 1ml de espesor.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 18. Pesaje del biochar molido y tamizado.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 19. Pesaje y almacenamiento en general de todo el biochar generado para su utilización.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 20. Destilación del biochar con agua destilada para conocer su pH

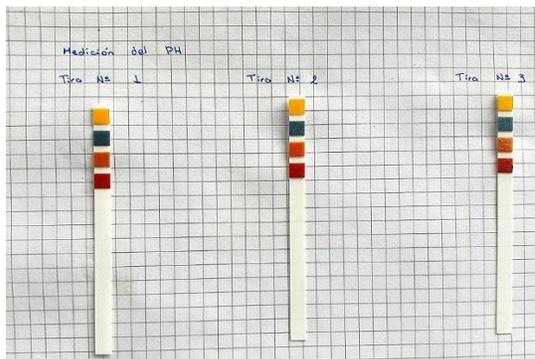


Fuente: Caspi (2023).



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 21. Medición convencional del pH a través de cintas medidoras.



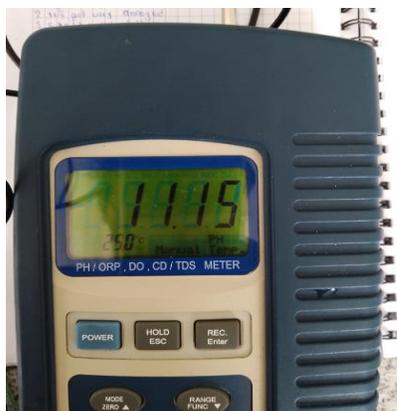
Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 22. Valores de las cintas medidoras de pH.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 23. Medición analógica del pH con mayor exactitud. Análisis #1



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 24. Medición analógica del pH con mayor exactitud. Análisis #2



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 25. Medición analógica del pH con mayor exactitud. Análisis #3



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 26. Medición analógica del pH con mayor exactitud. Análisis #4



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 27. Medición analógica del pH con mayor exactitud. Análisis #5



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 28. Medición analógica del pH con mayor exactitud. Análisis #6



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 29. Dilución del biochar en agua destilada para emplear el método de la titulación para la caracterización.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 30. Solución obtenida del biochar en agua destilada para emplear el método de la titulación.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 31. Colocación de la fenolftaleína en 50 ml de solución obtenida



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 32. Colocación del HCl a 1N para obtener la titulación necesaria y calcular la alcalinidad.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 33. Titulación mediante el HCl a 1N, reacción del HCl empleado.

Fotografía 34. Titulación mediante el HCl a 1N, reacción del HCl empleado.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 35. Pesaje del picnómetro con biochar para obtener la densidad.



Fuente: Caspi (2023).



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 36. Pesaje del picnómetro con agua destilada.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 37. Comparación de picnómetros con distinta sustancia.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 38. Pesaje para obtener la porosidad.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 39. Cálculo de la porosidad.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 40. Agua destilada contaminada con mercurio



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 41. Cálculo de milímetros a utilizar

Fotografía 42. Utilización de instrumentos para destilar el biochar



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 43. Distribución del biochar dentro del embudo previo la colocación del agua contaminada con Mg.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 45. Vertimiento del destilado obtenido en los tubos de ensayos.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 44. Destilación con el biochar conjuntamente con el agua contaminada



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 46. Observación del Mg suspendido.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 47. Doble filtrado para un mayor resultado.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 48. Mejora en el resultado en la presencia del Mg suspendido.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 49. Comparación de resultados obtenidos de las distintas filtraciones realizadas.



Fuente: Caspi (2023).

Fotografía 50. Resultado esperado presencia del Mg suspendido nula.



Fuente: Caspi (2023).

Fuente: Caspi (2023).

N°	Instrumentos empleados en la elaboración del biochar
1	Muflas
2	Crisoles
3	Papel filtro
4	Embudo
5	Vaso de precipitación de 60ml, 250 ml, 100ml, 80ml, 50ml
6	Campana extractora
7	Cuentagotas
8	Gotero
9	Ácido clorhídrico
10	Agua destilada
11	Mortero
12	Pipeta
13	Soporte
14	Bureta
15	Agitador magnético
16	Tubos de ensayo
17	Matraces Erlenmeyer
18	Gradilla
19	Ph-metro
20	Fenolftaleína
21	Picnómetro
22	Balanza gr
23	Tiras de ph
24	Tiras de alcalinidad

Fotografía 51. Validación con Infostat sobre los parámetros obtenidos y generados en Microsoft Excel

InfoStat/L - Analisis de resultados_media 500

Archivo Edición Datos Resultados Estadísticas Gráficos Ventanas Aplicaciones Ayuda

Analisis de resultados_media 500

Caso	temperatura	Resultado
1	500	1
2	500	1
3	500	2
4	500	1
5	500	2
6	500	2
7	500	1
8	500	2
9	500	2
10	500	2
11	500	2
12	500	2
13	500	2
14	500	2

Registros: 30*2

Resultados

C:\Users\HP\Downloads\Analisis de resultados_...

Tablas de frecuencias

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Resultado	1	1	4	0,13
Resultado	2	2	26	0,87

TablaFrec

Fuente: Caspi (2023).

Anexo 2. Aval del centro de idiomas.**CENTRO
DE IDIOMAS*****AVAL DE TRADUCCIÓN***

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

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL BAGAJE DE LA CAÑA DE MAÍZ PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS CON METALES PESADOS A NIVEL DE LABORATORIO”** presentado por: **Caspi Morales Jhonatan Segundo** 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, Agosto del 2023.

Atentamente,

**CENTRO
DE IDIOMAS**

Mg. Marco Paul Beltrán Semblantes

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CC: 0502666514



Anexo 3. Certificado de anti plagio compilation.



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

7%
Similitudes

< 1% Texto entre comillas
0% similitudes entre comillas

< 1% Idioma no reconocido

Tesis_Caspi_Jhonatan-analysis

Nombre del documento: Tesis_Caspi_Jhonatan-analysis.docx
ID del documento: c7c8345162bf49c22b85ddc569332abd91a525
Tamaño del documento original: 3,45 MB

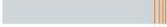
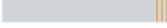
Depositante: JOSE LUIS AGREDA OÑA
Fecha de depósito: 17/8/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 17/8/2023

Número de palabras: 26.492
Número de caracteres: 171.043

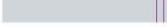
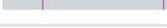
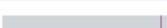
Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 dspace.ups.edu.ec https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19762/1/UPS-CT008946.pdf 34 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (726 palabras)
2	 tesis_javier_molina.pdf tesis_javier_molina #56091e El documento proviene de mi biblioteca de referencias 2 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (516 palabras)
3	 eprints.ucm.es Maíz 1 (Zea mays) https://eprints.ucm.es/id/eprint/27974/1/MAIZ1.pdf 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (144 palabras)
4	 melanie tesis.pdf melanie tesis #c8fe98 El documento proviene de mi grupo 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (119 palabras)
5	 dspace.ucacue.edu.ec Prehipertensión y factores asociados en el personal de 22 ... https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/8596/3/9BT2019-MTI174.pdf.txt 11 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (118 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 dspace.espace.edu.ec http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/14964/1/96T00621.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
2	 www.scielo.org.mx Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso ... https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=50187-57792016000300367	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
3	 1library.co REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y ... https://1library.co/document/y6gwog64-revisión-actualización-calidad-ambiental-descarga-e-fuente...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
4	 dspace.ucacue.edu.ec Lineamientos para el diseño arquitectónico de viviendas d... https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/11855/3/Lineamientos para el diseño arquitectónico...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
5	 ciencia.lasalle.edu.co https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1745&context=ing_ambiental_sanitaria	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)

Fuente ignorada Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 tesis_jhonatan_caspi.pdf tesis_jhonatan Caspi #2a81c1 El documento proviene de mi biblioteca de referencias	53%		Palabras idénticas: 53% (14.210 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- 1  https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/13006/condeña_nea.pdf?isallowed=y&sequence=1
- 2  <https://concepto.de/agua/>
- 3  <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-metales-pesados-en-el-agua-1452.html>
- 4  <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2023/5/15/el-mercurio-en-el-agua-potable-afecta-la-salud.html>
- 5  <http://zaguan.unizar.es/taz/eucs/2014/14180/taz-tfg-2014-408.pdf>