



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BIOMATERIALES FIBROSOS: COCO
(COCOS NUCÍFERA) Y AGAVE (AGAVE SP.) EN LA REMOCIÓN DE CROMO EN
AGUA**

NICOLE PAULETTE TOBAR CASTRO

TUTOR: DRA. MORAIMA MERA

IBARRA – ECUADOR

OCTUBRE, 2024

Ibarra, 10 de octubre de 2024

CERTIFICACIÓN TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo titulado: **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BIOMATERIALES FIBROSOS: COCO (COCOS NUCÍFERA) Y AGAVE (AGAVE SP.) EN LA REMOCIÓN DE CROMO EN AGUA**, presentado por la estudiante **NICOLE PAULETTE TOBAR CASTRO** con cédula de ciudadanía N° 1003756804 para obtener el Título de **LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODesarrollo**

Certifico que el trabajo cumple con todos los parámetros establecidos, mediante el cual el estudiante demuestra el desarrollo de competencias en el campo de conocimiento de su profesión con un nivel de argumentación coherente, para ser sometido a la evaluación por parte de los lectores.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de originalidad de TURNITIN.

Tesis Nicole Tobar

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

3%

★ repositorio.uta.edu.ec

Fuente de Internet

Ibarra, octubre de 2024

Dra. Moraima Mera

ASESORA

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigente en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f).....

Dra. Moraima Mera

C.C.: 1001743721

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El tribunal examinador, aprueba el presente trabajo en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra:



(f).....

Dra. Moraima Cristina Mera

C.C.: 1001743721



(f).....

Msc. Santiago Xavier Mafla Andrade

C.C.: 1002658399



(f).....

Dr. Rubén Del Toro

C.C.: 175754447-1

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo NICOLE PAULETTE TOBAR CASTRO, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 de Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, octubre del 2024

A handwritten signature in blue ink that reads "Nicole Tobar". The signature is stylized with a horizontal line under the name and a flourish at the end.

f):

NICOLE PAULETTE TOBAR CASTRO

C.C.: 1003756804

AUTORÍA

Yo, NICOLE PAULETTE TOBAR CASTRO, portador de la cédula de ciudadanía N°1003756804, declaro que el presente trabajo es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

Handwritten signature in blue ink that reads "Nicole Tobar". The signature is stylized with a horizontal line under the name and a flourish at the end.

f):

NICOLE PAULETTE TOBAR CASTRO

C.C.: 1003756804

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Este trabajo lo dedico especialmente al gran apoyo de mi familia; a mi mami Mónica, por su aliento y amor absoluto; a mi hermana Ale, por ser una amiga y compañera en todo lo que voy logrando por ser ese gran ejemplo para mí y estar a cambio de nada; a mi abuelito Enrique por ser ese motorcito final para yo poder llegar a este gran paso en mi vida, a Emerson mi esposo por ser incondicional, ser aquel compañero, mejor amigo y mi aliento en mis altas y bajas.

Por último, a mis amigas Dani, Niki, Tami a pesar de estar lejos están con risas, consejos y con aquellas palabras de aliento para no caer. Gracias y esto va para ustedes.

Nicole

Agradezco a Dios por permitirme culminar mi carrera de Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo no fue fácil, pero lo logre, a mis profesores de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador que me han enseñado tanto de sus conocimientos en cada nivel y sobre todo a ser perseverante en lo que uno quiere ser en un futuro, a mis compañeros por ser ese complemento de risas, apoyo en cada clase y que ahora podré decir colegas.

Agradezco a mi familia por ser un apoyo fundamental, en especial a mi madre Mónica por ese esfuerzo de constancia y apoyo que me dio sin nada a cambio, a mi asesora de Tesis la Dra. Moraima Mera por toda la paciencia y el tiempo dedicado a mí y poder lograr el proyecto de la mejor manera. Gracias.

Nicole

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN TUTOR	viii
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS.....	xiii
ÍNDICE	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	1
CAPÍTULO I.....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO II.....	5
OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
2.3. Hipótesis	5
CAPÍTULO III	6
ESTADO DEL ARTE	6
3.1. Contaminación del agua	6
3.2. Contaminación de agua con cromo	8
3.3. Carbón Activado	9
3.4. Bio-adsorbentes	10
3.5. Fibras Naturales Vegetales	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
4.1. Materiales	21
4.2. Métodos	22
4.2.1. Obtención de la materia prima.....	21
4.2.2. Caracterización de la materia prima.....	21
4.2.3. pH.....	23

4.2.4. Porcentaje de humedad, de carbono orgánico y de cenizas	24
4.2.5. Porcentaje de porosidad.....	24
4.2.6. Fibras naturales en tamaño de partícula de 300 µm y 425 µm.....	24
4.2.7. Elaboración de los filtros de coco (<i>Cocos nucifera</i>) y agave (<i>Agave sp.</i>)	25
4.2.8. Molde para la elaboración del filtro de fibras naturales.....	26
4.2.9. Elaboración de los filtros de Carbón activado (Testigo)	26
4.2.10. Preparación de la solución de Cromo Total.....	27
4.2.11. Preparación de soluciones estándares.....	28
4.2.12 Proceso de filtración.....	29
4.2.13. Evaluación de la concentración de cromo total mediante Espectrofotometría AA.....	30
4.2.14. Diseño Experimental.....	30
4.2.15 Variables.....	31
CAPÍTULO V	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
5.1 Caracterización de los biomateriales fibrosos.....	35
5.2 Tamaño de partícula del material fibroso pulverizado.....	38
5.3 Filtros.....	38
5.4 Remoción del cromo total.....	39
5.5 Prueba de Normalidad	42
CONCLUSIONES.....	50
CAPÍTULO VII.....	51
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS.....	61

NDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros y métodos para la caracterización de la materia prima.....	23
Tabla 2	Detalle de las especificaciones de los tratamientos de la investigación	Error! Bookmark not defined.
Tabla 3	Especificación de los factores A y B del arreglo factorial.....	Error! Bookmark not defined.
Tabla 4	Caracterización de la fibra de agave (<i>Agave</i> sp.)	36
Tabla 5	Caracterización de la fibra de coco (<i>Cocos nucifera</i>).....	37
Tabla 6	Eficiencia de la filtración utilizando materiales fibrosos de agave y coco	40
Tabla 7	Prueba de normalidad de Shapiro Wilks.....	42
Tabla 8	Datos y análisis de prueba de homogeneidad de varianzas	42
Tabla 9	Prueba t de homogeneidad de varianzas	44
Tabla 10	Análisis de varianza	45
Tabla 11	Remoción de cromo a través del filtro de fibras naturales de <i>Agave</i> sp.	47
Tabla 12	Porcentaje de remoción de cromo a través del filtro de fibras naturales de <i>Cocos nucifera</i>	48
Tabla 13	Porcentaje de remoción de cromo a través del filtro de carbón activado	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Funcionamiento del proceso de filtración al vacío	19
Figura 2 Filtro de agave (<i>Agave</i> sp.)	38
Figura 3 Filtro de coco (<i>Cocos nucifera</i>).....	38
Figura 4 Filtro de carbón activado	39
Figura 5 Dispersión de homogeneidad de varianzas	43
Figura 6 Comparación de rendimiento de los tratamientos aplicados a la fibra natural (<i>Agave</i> sp.)	46
Figura 7 Comparación de rendimiento de los tratamientos aplicados a la fibra natural (<i>Cocos nucifera</i>).....	47
Figura 8 Eficiencia de la remoción de cromo con el uso de material fibroso de <i>Agave</i> sp.	Error! Bookmark not defined.
Figura 9 Eficiencia de la remoción de cromo con el uso de material fibroso de <i>Cocos nucifera</i>	Error! Bookmark not defined.
Figura 10 Eficiencia de la remoción de cromo con el uso del testigo: carbón activado	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Base de datos	61
Anexo 2 Obtención de materia prima: coco (<i>cocos nucífera</i>) y agave (<i>Agave</i> sp.).....	61
Anexo 3 Preparación de la materia primera	62
Anexo 4 Muestras de coco y agave en crisoles en la estufa para secar	62
Anexo 5 Muestras de coco y agave en crisoles en el desecador	63
Anexo 6 Muestras de coco y agave trituradas con el molino de cuchillas	63
Anexo 7 Tamizaje a mano de la muestra de coco	64
Anexo 8 Pesaje de la muestra de coco en la balanza	65
Anexo 9 Medición de la porosidad	65
Anexo 10 Muestras de coco y agave en el agitador	66
Anexo 11 Medición del pH en la muestra de coco	66
Anexo 12 Materias primas en la estufa	67
Anexo 13 Trituración de la materia prima seca	67
Anexo 14 Tamizaje de la materia prima triturada en tamaños de partículas de 300 y 425 μm	68
Anexo 15 Fibras de coco y agave en tamaños de partículas de 300 μm y 425 μm	68
Anexo 16 Elaboración del molde para los filtros.....	69
Anexo 17 Proceso de contaminación del agua destilada con cromo.....	69
Anexo 18 Proceso de filtración con bomba de presión al vacío	70
Anexo 19 Resultados de la remoción de cromo.....	70

RESUMEN

La presente investigación se centra en evaluar la eficacia de los biomateriales fibrosos de coco (*Cocos nucifera*) y agave (*Agave sp.*) en la eliminación de cromo total de soluciones acuosas. Los planteamientos centrales del estudio buscan determinar el potencial de estos biomateriales como alternativas ecológicas para la remediación de agua contaminada. El objetivo principal es caracterizar físicamente y químicamente los materiales, elaborar filtros a partir de ellos, y medir su eficiencia en la remoción de cromo total, con un enfoque especial en la comparación de su efectividad según el tamaño de partícula y el tipo de fibra utilizada. El enfoque de la investigación es experimental, con un diseño cuasiexperimental. Se realizaron pruebas físicas y químicas para caracterizar los biomateriales, evaluando el potencial hidrógeno, el porcentaje de humedad, el contenido de cenizas, y el carbono orgánico de las fibras. Posteriormente, se elaboraron filtros con los materiales caracterizados y se llevaron a cabo pruebas de filtración utilizando una solución de cromo total preparada en los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. Las técnicas e instrumentos incluyeron análisis químicos estándar para determinar las propiedades de las fibras y ensayos de filtración para evaluar la eficiencia de remoción de cromo. Los resultados mostraron que las fibras de coco presentaron una alta porosidad, lo que sugiere una buena capacidad para retener contaminantes. Sin embargo, los filtros elaborados con fibras de agave demostraron una mayor eficiencia en la remoción de cromo total, especialmente aquellos con un tamaño de partícula de 300 μm . En esta categoría, se registró una remoción promedio superior al 80%, con T2=85,72% y T3=89,15%. La prueba estadística de Tukey confirmó diferencias significativas en la eficacia de remoción entre los diferentes tamaños de partícula y tipos de biomateriales, destacando el agave de 300 μm como el más eficiente. En síntesis, los filtros elaborados con fibras de agave y coco son alternativas viables para la purificación de agua contaminada con cromo. No obstante, los filtros de agave, particularmente aquellos con partículas de 300 μm , demostraron una eficiencia significativamente mayor en la remoción de cromo total.

Palabras clave: biomateriales fibrosos, agave, coco, remoción de cromo, filtración.

ABSTRACT

This research focuses on evaluating the efficacy of fibrous biomaterials from coconut (*Cocos nucifera*) and agave (*Agave sp.*) in the removal of total chromium from aqueous solutions. The central aim of the study is to determine the potential of these biomaterials as ecological alternatives for the remediation of contaminated water. The main objective is to physically and chemically characterize the materials, create filters from them, and measure their efficiency in removing total chromium, with a special focus on comparing their effectiveness based on particle size and fiber type. The research approach is experimental, with a quasi-experimental design. Physical and chemical tests were conducted to characterize the biomaterials, evaluating the pH, moisture content, ash content, and organic carbon of the fibers. Subsequently, filters were made with the characterized materials and filtration tests were carried out using a total chromium solution prepared in the laboratories of the Pontifical Catholic University of Ecuador, Ibarra campus. The techniques and instruments included standard chemical analyses to determine the properties of the fibers and filtration assays to evaluate the chromium removal efficiency. The results showed that coconut fibers exhibited high porosity, suggesting a good capacity for retaining contaminants. However, filters made from agave fibers demonstrated greater efficiency in removing total chromium, especially those with a particle size of 300 μm . In this category, an average removal of over 80% was recorded, with T2=85.72% and T3=89.15%. The Tukey statistical test confirmed significant differences in removal efficiency between the different particle sizes and types of biomaterials, highlighting 300 μm agave as the most efficient. In summary, filters made from agave and coconut fibers are viable alternatives for the purification of chromium-contaminated water. However, agave filters, particularly those with 300 μm particles, demonstrated significantly higher efficiency in total chromium removal.

Keywords: fibrous biomaterials, agave, coconut, chromium removal, filtration

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

“El agua en la Tierra es análoga a la sangre en el cuerpo humano.” (Greslou, 1990). Sin agua, la Tierra sería un planeta estéril y desolado (Spellman, 2017). Diversos procesos industriales, tales como las industrias textiles, la galvanoplastia, el tratamiento del cuero, el acabado de metales y la preparación de cromo, son las principales fuentes de contaminación del agua, liberando contaminantes metálicos tóxicos que representan una grave amenaza para la salud humana y animal (Kiesling y Ger, 2019; Lockuán, 2019). Entre estos contaminantes, el cromo es especialmente preocupante debido a su alta toxicidad incluso a bajas concentraciones. Esta situación ha llevado a la implementación de estrictas normativas medioambientales en muchos países para controlar las concentraciones de cromo en los vertidos industriales.

El tratamiento de aguas residuales para eliminar el cromo incluye varios procedimientos, tales como adsorción, precipitación química, electrocoagulación, intercambio iónico, electrodiálisis y separación por membranas (Fathima et al., 2015). Sin embargo, las tecnologías tradicionales presentan desventajas significativas, como altos costos y la producción de grandes cantidades de lodos. En este contexto, la reutilización de aguas residuales tratadas puede reducir efectivamente la demanda de agua en la industria, la agricultura y los hogares, especialmente en áreas con suministro insuficiente (Santacruz y Yamir, 2019).

La evaluación de biomateriales fibrosos, como el coco (*Cocos nucifera*) y el agave (*Agave sp.*), para la remoción de cromo en agua es crucial para el desarrollo de métodos de purificación sostenibles y económicos. Estos biomateriales presentan ventajas notables, tales como su disponibilidad, biodegradabilidad y bajo costo, lo que los convierte en opciones atractivas para la gestión de la contaminación. Además, estudios previos han demostrado la eficacia de estos materiales en diversos contextos de tratamiento de agua (Flores, 2018; Gallardo, 2017).

El objetivo principal de esta investigación es caracterizar físicamente y químicamente las fibras de coco y agave, elaborar filtros a partir de estos biomateriales, y medir su eficiencia en la

remoción de cromo total. La investigación se enfoca en comparar la efectividad de estos filtros según el tamaño de partícula y el tipo de fibra utilizada.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de los biomateriales fibrosos coco (*Cocos nucifera*) y agave (*Agave sp.*) en la remoción de cromo en agua.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los biomateriales fibrosos (*Cocos nucifera*) y agave (*Agave sp.*). mediante análisis físicos y químicos.
- Evaluar la eficiencia de los filtros elaborados con biomateriales como alternativa para remediación de agua contaminada con cromo

2.3. Hipótesis

H₀: Los filtros elaborados con biomateriales fibrosos de coco (*Cocos nucifera*) y agave (*Agave sp.*) **no poseen** capacidad de remoción de cromo.

H₁: Los filtros elaborados con biomateriales fibrosos de coco (*Cocos nucifera*) y agave (*Agave sp.*) **poseen** capacidad de remoción de cromo.

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Contaminación del agua

El agua es un recurso natural esencial para la vida, es una necesidad básica para la salud y como tal debe ser considerada como uno de los derechos humanos básicos. En la sociedad moderna, el agua se ha convertido en un bien muy valioso porque la escasez de agua es una fuente de sustento y el desarrollo económico depende de la disponibilidad de agua. (Grande, 2019) La circulación natural del agua tiene un poderoso poder purificador, pero igual la facilidad de recuperación y la aparente abundancia lo convierten en un vertedero habitual de residuos: pesticidas, residuos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc. Las aguas deterioradas existen desde hace mucho tiempo, pero recién en este siglo el problema se ha extendido a los ríos y océanos de todo el mundo. (García, 2022) Las principales causas de la escasez de agua son:

1. Explosión demográfica
2. La contaminación ha aumentado con el desarrollo industrial, superficie y subsuelo
3. Mayor demanda.

3.1.1. Fuente de contaminación

- **Origen natural** Según el terreno por el que discurra el agua, puede contener componentes naturales (como sales minerales, calcio, magnesio, hierro, etc.) procedentes del contacto con la atmósfera y el suelo. Aunque pueden ser perjudiciales para la salud, suelen ser sustancias fácilmente identificables y eliminables.
- **Origen artificial.** Causada por la actividad humana. El desarrollo industrial ha provocado la presencia de determinados componentes nocivos para el medio ambiente

y los organismos y de difícil eliminación principales contaminantes del agua. (García, 2022)

Hay muchos tipos de contaminantes del agua que se pueden clasificar en los siguientes ocho grupos:

- a. **Microorganismos patógenos.** Estos son diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos transmisores de enfermedades como cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. (Ramírez y García, 2022)
- b. **Productos químicos inorgánicos.** Este grupo incluye ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si sus niveles son altos, pueden causar daños graves a los organismos vivos, reducir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos utilizados para el uso del agua. (Pérez y Torres, 2022)
- c. **Fitonutrientes inorgánicos.** Los nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua necesarias para el crecimiento de las plantas, pero en exceso pueden causar el crecimiento excesivo de algas y otros organismos, lo que lleva a la eutrofización de los cuerpos de agua. (García, 2022)
- d. **Compuestos orgánicos.** Muchas moléculas orgánicas como el petróleo, la gasolina, los plásticos, los pesticidas, los solventes, los agentes de limpieza, etc. Terminan en el agua y, en algunos casos, permanecen durante mucho tiempo porque, como productos hechos por el hombre, tienen una estructura molecular compleja que es difícil de descomponer para los microorganismos. (García, 2022)
- e. **Material radiactivo.** Los isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, pueden acumularse a lo largo de los tejidos de los alimentos, alcanzando concentraciones mucho más altas en algunos tejidos vivos que en el agua. (García, 2022)
- f. **Contaminación por calor.** El agua caliente liberada de las centrales eléctricas o en ocasiones, los procesos industriales aumentan la temperatura de los ríos o

embalses, reduciendo su capacidad de oxígeno y afectando la vida de los organismos. (García, 2022)

3.2. Contaminación de agua con cromo

El cromo es un elemento que ha sido identificado como oligoelemento esencial y carcinógeno dependiendo de su forma química. En su uso industrial, es curtiente, pigmento y conservantes textiles, aleaciones, imprimaciones, catalizadores, conservantes, lodos de perforación, baterías de alta temperatura, biocidas, conservantes de madera, recubrimientos metálicos y electro galvanizados. Cuando el cromo comienza a acumularse en el medio ambiente a partir de diversas fuentes (naturales o antropogénicas), se transfiere de una parte del ecosistema a otra: aire, aguas superficiales, sedimentos, aguas subterráneas, suelo y organismos. Liberación incontrolada de cromo al medio ambiente, principalmente porque la mayoría de los sistemas de recolección de aguas residuales no permiten la separación de las aguas residuales domésticas e industriales, por lo que las aguas residuales de las zonas urbanas en las zonas industriales son siempre de tipo mixto. (Arauzo et al., 2016)

El cromo principalmente se genera por procedimientos industriales. El cromo metálico, es un sólido de color grisáceo que se puede derretir a temperaturas altas. Posee propiedades mecánicas, dureza y resistencia a la tensión, las cuales determinan la capacidad de utilización. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2018)

Debido a que los compuestos de Cromo son asociados con la generación del cáncer de pulmón en personas en contacto con estos cuerpos de agua y también, se han visto afectados los animales, el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) de los E.E.U.U. ha llegado a la determinación de que varios compuestos de Cromo como son: Cromato de calcio, Trióxido de cromo, Cromato de plomo, Cromato de estroncio y Cromato de zinc) son los generadores de cáncer en los seres humanos. (ATSDR, 2018)

3.2.1. Tratamientos para la remoción de cromo

Cuando decimos contaminación de sólidos nos estamos refiriendo a la basura que proviene de la actividad cotidiana del hombre, ya sea originado por la industria, comercio, oficina, y hogar.

Un residuo sólido es una sustancia, producto o subproducto en estado sólido o semisólido procedente de su generador tiene o debe tener, es decir, se encarga de definir un su destino. Desde el momento en que desechamos la basura, comienza un proceso se descompone en subproductos en forma líquida y gaseosa, aceptando los lixiviados que se han descompuesto en líquidos, y los gases descompuestos son aquellos se descompone en gas. (Nestle, 2022)

El suelo contaminado por la basura genera proliferación de plagas, insectos y roedores que deteriora la salud de las personas, además de originar olores desagradables. La mayoría de los suelos fértiles se pueden transformar infértiles para el cultivo de ciertas plantas debido a la aglomeración excesiva de sustancias químicas y otros productos de desechos absorbidos por el suelo. (Jacome, 2011)

Los residuos sólidos ordinarios y los residuos sólidos peligrosos son la raíz del problema, condiciones ambientales en áreas urbanas y rurales, especialmente en áreas industrializadas Municipios, ya que tienen un impacto negativo en el medio ambiente debido a la mala gestión y amenazan la sustentabilidad y la sustentabilidad ambiental.

Es por eso que debe tener especial Cuidado con los residuos sólidos que generamos en casa o en el trabajo donde trabajamos y aprendemos. (Toro, 2015)

3.3. Carbón Activado

El carbón activado se elabora tradicionalmente a partir de carbón extraído, un recurso no renovable, lo que también ha provocado un aumento de precio. Por otro lado, es uno de los adsorbentes más utilizados debido a su alta porosidad y área de superficie específica, que puede eliminar eficazmente compuestos orgánicos y metales pesados de los desechos en las aguas residuales debido a su alta capacidad de adsorción. Dicho elemento es un material ampliamente utilizado para eliminar el cromo de aguas residuales y soluciones contaminadas debido a sus propiedades de adsorción. (Brito et al., 2020)

Se utiliza carbón activado en forma de polvo o granulado. Antes de su uso, el carbón activado se lava y se activa para aumentar su capacidad de adsorción. La activación puede llevarse a cabo

con vapor de agua o productos químicos, lo que crea poros en el carbón y aumenta su área superficial. (Pellegrini et. al, 2018)

La solución que contiene cromo se ajusta a un pH específico, generalmente alrededor de 2 a 3, ya que el cromo es más soluble en soluciones ácidas. También se pueden ajustar otras condiciones como la temperatura. Combinado con el carbón activado se dejan en contacto durante un período de tiempo determinado, durante este tiempo, el cromo se adsorbe en la superficie del carbón activado. Después la mezcla se filtra para separar el carbón activado cargado de cromo de la solución. Esto se puede hacer mediante métodos de filtración convencionales. (Cherly y Flores, 2019)

El carbón activado cargado de cromo puede ser regenerado para su reutilización. La regeneración generalmente implica la desorción del cromo del carbón activado, lo que se puede lograr utilizando sustancias químicas adecuadas o calor. Una vez que el cromo se ha desprendido del carbón activado, el cromo residual debe tratarse y eliminarse de manera adecuada, siguiendo las regulaciones ambientales. (Marín y Gómez, 2019)

El uso del carbón activado en la remoción del cromo es una técnica efectiva y ampliamente utilizada en plantas de tratamiento de aguas residuales y en la industria para reducir la concentración de cromo en las aguas residuales antes de su descarga al medio ambiente. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la efectividad de este proceso puede variar según las condiciones específicas de la solución contaminada y el tipo de carbón activado utilizado. (Rodríguez y Martínez, 2020)

3.4. Bio-adsorbentes

El proceso de adsorción consta en captar variedades de especies químicas por una biomasa, mediante mecanismo físico-químicos como la adsorción o intercambio iónico.

Gupta y Babu (2013) utilizaron virutas de madera natural como adsorbente porque este residuo es abundante. Se llevaron a cabo experimentos utilizando un sistema por lotes para investigar el efecto de parámetros importantes como el pH inicial, el cambio de pH durante la adsorción,

tiempo de contacto, dosis de adsorbente y concentración inicial de Cr. La máxima capacidad de adsorción obtenida a pH 1 fue de 41,5 mg/g.

Memon, et al. (2019) describen la eliminación de cromo de aguas residuales industriales utilizando cáscaras de plátano, un residuo orgánico que se considera desecho y se genera comúnmente. Se investigaron parámetros como el pH, el tiempo de contacto, la concentración inicial de iones metálicos y la temperatura. La abstinencia máxima detectada fue de 131,56 mg/g. Por lo tanto, se puede concluir que este material se puede utilizar eficazmente como adsorbente para la separación de iones de Cr de aguas residuales industriales.

3.5. Fibras Naturales Vegetales

Las fibras naturales son elementos utilizados desde la antigüedad al ser una fuente fundamental para el campo de la construcción ya que se usaba como refuerzo en diversos materiales, o para la producción de textiles. Además, con el pasar de los años las fibras han sido motivo de estudio y de investigación principalmente su aplicación en el concreto. Una de las maneras más fáciles de obtener las fibras es manualmente, ya que su mano de obra es económica y disponible mediante las técnicas adecuadas, estas fibras comúnmente se llaman fibras naturales no procesadas. (Sinchiguano, 2017)

Una de las ventajas principales de las fibras naturales es que se puede encontrar en grandes cantidades en la mayoría de los países, además de que es una gran fuente renovable. Hace unos años atrás se realizó una investigación muy detallada de las fibras naturales, su evolución, su comportamiento y su aplicación en el campo de la construcción, obteniendo así buenos resultados ya que su comportamiento ante la resistencia a la flexión y al impacto del concreto se aumentó, pero lamentablemente la deficiencia en la capacidad de refuerzo a largo plazo no es como se la esperaba, ya que como es de origen natural sus características van desapareciendo al ponerse en contacto con la pasta del cemento, y la humedad hace que la fibras aumente su volumen con el pasar del tiempo sino se le da un adecuado tratamiento para extender su vida útil. (Sinchiguano, 2017)

3.5.1. Fibras de coco

Según Quiñónez (2014), el coco, el cultivo de esta planta se encuentra en América en pequeña escala. La fruta está cubierta por una capa superficial, la cual tiene un gran contenido de fibras. La cáscara del coco consiste en una capa dura que contiene a las fibras, estas son normalmente de 0,15 a 0,35 m de longitud. Las fibras son usualmente extraídas humedeciendo el fruto en el agua, del mismo modo la mayoría de las sustancias se descomponen. Las fibras también se pueden obtener por procesos mecánicos.

El uso de las fibras de coco (*Cocos nucífera*) como medio filtrante para la remoción de nuestra solución de cromo, lo realizamos mediante condiciones originales y optimas de agua, también el secar las fibras del coco que lo encontramos en la cascara, con ello nuestro proceso para la realización del filtro lo optamos con tubos de centrifuga de 50ml el cual colocamos papel filtro al final con un poco de algodón y 1,6 de las fibras de coco el mismo proceso realizamos en 2 repeticiones más que optamos por variar la cantidad de fibras de coco colocadas en este caso 1,8 g y 2 g. El proceso de las 3 repeticiones con diferente medida de fibras de coco es para averiguar qué tan eficaz es la remoción del cromo en cada una de las repeticiones establecidas. (Quiñónez, 2014)

Las fibras de coco (*Cocos nucífera*) son eficaces en la retención de metales pesados como el cromo total debido a varias propiedades físicas y químicas inherentes a la estructura y composición de estas fibras, las cuales están compuestas principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, que poseen una estructura porosa y una gran superficie específica. La fibra de coco ha sido estudiada por su capacidad de adsorción de iones metálicos, lo cual la hace útil para el tratamiento de aguas residuales. Algunas características clave de la fibra de coco con respecto a los iones metálicos

1. Tiene buena capacidad de retención de nutrientes y de intercambio iónico
2. Puede adsorber eficientemente iones de cromo hexavalente (Cr(VI)) a un PH de 3, llegando a una capacidad máxima de adsorción de 0.52 mg de Cr(VI) por gramo de cascara de coco seca.

3. En la fibra de coco, los iones de tipo catiónico son más móviles y la capacidad de intercambio catiónico está ocupada principalmente por cationes de calcio.

(López y Torres, 2018)

Según Martínez y Gómez (2016), la adsorción física o fisisorción también juega un papel importante. Las fuerzas de Van Der Waals entre las fibras de coco y los iones metálicos permiten la retención de metales pesados en la superficie de las fibras. La estructura porosa y la alta superficie específica de las fibras de coco mejoran significativamente esta capacidad de adsorción.

Afinidad química por los metales pesados

Las fibras de coco muestran una afinidad específica hacia ciertos metales pesados debido a la naturaleza de sus grupos funcionales y su capacidad para interactuar con los iones metálicos. En el caso del cromo es un metal pesado natural que se encuentra comúnmente en el medio ambiente en forma trivalente, Cr(III), y hexavalente, Cr(VI) los compuestos de Cr(VI) se los declara como compuestos carcinógenos de las industrias que ocupan el cromado, tomando en cuenta que también encontramos en empresas textiles y curtiembres en diferentes cantidades, por lo tanto las fibras de coco pueden adsorber tanto el ion Cr (III) mediante complejación con grupos carboxilo a través de interacciones electrostáticas y reducción química. (García y Pérez, 2017)

Tratamientos de modificación superficial

En algunos casos, las fibras de coco pueden ser tratadas químicamente para mejorar aún más su capacidad de adsorción de metales pesados. Estos tratamientos pueden incluir oxidación, tratamiento con ácidos o bases, y la impregnación con agentes quelantes, aumentando la cantidad y accesibilidad de grupos funcionales en la superficie de las fibras. (García y Pérez, 2017)

3.5.2. Fibras de agave

El *Agave americana* es como un arbusto perenne, espinoso, que alcanza una altura de hasta dos metros, este tipo de plantas de agave tienen 4 veces más celulosa que el árbol de eucalipto de más veloz desarrollo, y atrapa con eficacia el CO₂ de la atmósfera. Cuando se sostiene apropiadamente, precisa de irrigación solo 3 o bien 4 veces por año. Las fibras del *Agave americana* tienen un impacto ambiental mínimo. (Sinchiguano, 2017)

Se ha desarrollado una membrana a base de bagazo de agave para retirar elementos contaminantes dañinos en el agua. El bagazo de agave es sometido a procesos químicos para eliminar componentes como ligninas, hemicelulosa y extractivos, para aprovechar la celulosa, es así como se obtiene la membrana.

La investigación sobre la remoción de cromo utilizando fibras naturales ha ganado interés debido a su eficacia, bajo costo y la consideración de prácticas sostenibles en el tratamiento de aguas contaminadas. Las fibras naturales, como la celulosa, la lignina y otras, se han utilizado en diversos enfoques para la eliminación de cromo en soluciones acuosas. A continuación, se describen algunos métodos y enfoques de investigación relacionados con la remoción de cromo utilizando fibras naturales:

Según Flores (2018) realizó un “Estudio comparativo de retención de cromo hexavalente en aguas sintéticas utilizando como lecho filtrante tres fibras naturales como alternativa de biorremediación” donde se encontró que el estudio de las características físicas, químicas e hidráulicas de las fibras (*Musa paradisiaca*, *Musa textilis* y *Furcraea andina*) tales como lignina, cenizas, densidad, porosidad y permeabilidad se realizaron debido a que tienen relación con el efecto de la adsorción de Cr⁺⁶ del agua sintética a ser tratada, y del flujo de agua residual a circular por el lecho filtrante. El porcentaje de remoción más efectivo se dio en la fibra *Musa paradisiaca* (raquis de plátano) con un valor de 69,80% a fibra cortada a 1cm con una velocidad de flujo baja, las fibras *Musa textilis* (Abacá) retiene el Cr⁺⁶ en un 30,17% a concentraciones altas medias y bajas con fibra normal y la fibra *Furcraea andina* (Cabuya) retiene Cr⁺⁶ en un 37,53% a concentración baja con fibra normal, teniendo como conclusión final que la utilización

de fibras naturales en los procesos de retención de cromo son efectivas, de bajo costo y amigables con el ambiente.

Según Pérez y Martínez (2017) las fibras de agave (*Agave sp.*) son eficaces en la retención de metales pesados, como el cromo total, debido a varias características físicas y químicas intrínsecas, por ejemplo, contienen altos porcentajes de celulosa y hemicelulosa, que tienen múltiples grupos hidroxilo (-OH) capaces de formar enlaces de hidrógeno con los iones metálicos, también está presente la lignina y contiene grupos funcionales como fenoles y metoxilos que pueden interactuar con los metales pesados.

Las fibras de agave tienen una estructura porosa que proporciona una gran área superficial para la adsorción de iones metálicos. La estructura fibrosa facilita el movimiento capilar del agua y la retención de metales pesados dentro de los poros. (García y Sánchez, 2016)

Mecanismos de retención de metales pesados

- a. Adsorción Física: Las fuerzas de Van Der Waals son fuerzas débiles pero numerosas permiten la adsorción de metales en la superficie de las fibras.
- b. Adsorción Química: El intercambio iónico donde los iones de metales pesados pueden intercambiarse con otros cationes presentes en las fibras, como calcio, magnesio o sodio. También, la complejación donde los grupos funcionales (hidroxilos, carboxilos y fenoles) presentes en las fibras pueden formar complejos con los iones metálicos, aumentando la capacidad de retención. Y por último, la quimisorción donde los iones metálicos pueden formar enlaces covalentes con los grupos funcionales de las fibras, asegurando una adsorción más fuerte y duradera.
- c. Interacciones Electroestáticas: Las fibras de agave suelen tener una carga superficial negativa en condiciones acuosas, lo que facilita la atracción electrostática de los cationes metálicos (como el cromo). (Lozano y Hernández, 2018)

Estudios y Aplicaciones

- a. Eficiencia de adsorción: Estudios han demostrado que las fibras de agave pueden adsorber eficientemente metales pesados debido a la combinación de los mecanismos

mencionados. La capacidad de adsorción puede variar dependiendo de factores como el pH del agua, la concentración de metales y la preparación de las fibras (por ejemplo, tratamientos químicos o térmicos). (Ramírez y Flores, 2019)

- b. **Tratamientos de Mejora:** Las fibras de agave pueden ser tratadas químicamente (por ejemplo, con ácido o base) para aumentar la cantidad de grupos funcionales activos en su superficie, mejorando así la capacidad de adsorción. El tratamiento térmico puede aumentar la porosidad y el área superficial de las fibras, incrementando la adsorción de metales. (Mendoza y Salazar, 2023)

Según Hernández y Torres (2021) la capacidad de las fibras de agave para retener metales pesados como el cromo total se debe a una combinación de su estructura porosa, alta área superficial y la presencia de grupos funcionales químicos que pueden interactuar con los iones metálicos a través de diversos mecanismos de adsorción y retención. Estos factores hacen que las fibras de agave sean una opción prometedora y eficiente para la remediación de aguas contaminadas con metales pesados.

3.5.3. Sistema de filtración compactos con fibras naturales

Un sistema de filtración compacto con fibras naturales es una solución que utiliza materiales de origen natural, como celulosa, algodón, lino, sisal, entre otros, para la purificación del agua o la remoción de contaminantes. Estos sistemas suelen ser respetuosos con el medio ambiente, rentables y efectivos para eliminar partículas y contaminantes disueltos en el agua. (Fonseca y Monroy, 2022) A continuación, se describen los componentes y el funcionamiento típico de un sistema de filtración compacto de fibras naturales:

Componentes de un sistema de filtración compacto de fibras naturales:

Según Fonseca y Monroy (2022) describen como componentes principales en un sistema de filtración con compactación elaborado de fibras naturales a los siguientes elementos:

1. **Fibra natural:** El material de filtro en sí mismo, que puede ser en forma de tejido, papel o incluso capas superpuestas de fibras.

2. Contenedor: Un recipiente que alberga las fibras naturales y dirige el flujo de agua a través de ellas.

3. Mecanismo de flujo: Puede incluir grifos, bombas o sistemas de presión que controlan la dirección y la velocidad del flujo de agua a través del filtro.

Funcionamiento de un sistema de filtración compacto de fibras naturales:

El uso de fibras naturales como lecho filtrante en sistemas de tratamiento de aguas residuales se basa en una combinación de procesos físicos y químicos que permiten la retención y eliminación de contaminantes. El sistema de filtración compacto utilizando fibras naturales opera mediante un flujo continuo de agua residual a través de un lecho de fibras dispuestas en capas. (Ruiz, 2017)

1. Adsorción: Las fibras naturales tienen una superficie con propiedades que favorecen la adsorción de contaminantes. Este proceso se debe principalmente a las interacciones electrostáticas entre las partículas cargadas y las fibras, así como a las fuerzas de Van Der Waals.

2. Filtración Mecánica: La estructura porosa de las fibras actúa como una barrera física que atrapa partículas sólidas suspendidas en el agua. La eficiencia de esta retención depende del tamaño de los poros de las fibras en comparación con el tamaño de las partículas.

3. Interacción Química: Las fibras naturales contienen diversos compuestos químicos, como lignina y celulosa, que pueden interactuar químicamente con ciertos contaminantes, mejorando la retención y eliminación de los mismos. Estas interacciones pueden incluir la formación de enlaces químicos o la precipitación de contaminantes en la superficie de las fibras. (Karim et al., 2016)

Proceso Físico-Químico en el Lecho Filtrante

- Inyección del Agua Residual: El agua residual sintética, previamente caracterizada, se inyecta en el sistema de filtración. Esta agua contiene el colorante azul BRL, también conocido como azul directo es un colorante de tipo diazoico con la fórmula química

C₃₄H₂₄N₆Na₄O₁₆S₄ y un peso molecular de 992.82 que sirve como indicador de la presencia de contaminantes en la industria textil.

- Paso a Través del Lecho Filtrante:
 - a. Permeabilidad y Velocidad de Flujo: El agua residual fluye a través del lecho filtrante a diferentes velocidades y permeabilidades. La selección de estas variables es crucial para optimizar el contacto entre el agua y las fibras.
 - b. Tiempo de Retención: Con una duración de 180 minutos por prueba, se asegura un tiempo suficiente para que los mecanismos de adsorción, filtración mecánica e interacción química actúen eficientemente.
- Captura de Contaminantes:
 - a. Partículas Sólidas: Las partículas son atrapadas mecánicamente en la estructura porosa de las fibras.
 - b. Contaminantes Disueltos: Los contaminantes químicos, incluyendo el colorante azul BRL, son adsorbidos en la superficie de las fibras o reaccionan químicamente con los compuestos presentes en las fibras.
- Colecta del Agua Filtrada: El agua tratada, ahora con una menor concentración de contaminantes, es recolectada para su posterior caracterización y análisis. (Adewumi et al., 2018)

Eficiencia del Proceso

La eficiencia del sistema se mide mediante la comparación de las concentraciones de contaminantes antes y después del proceso de filtración. Las pruebas realizadas en diferentes concentraciones, permeabilidades y velocidades permiten determinar las condiciones óptimas para la máxima retención de partículas y eliminación de contaminantes. (Sharma y Singh, 2017)

Análisis Estadístico de los Resultados

Los datos obtenidos del proceso de filtración se analizan estadísticamente para evaluar la significancia de los resultados. Este análisis incluye:

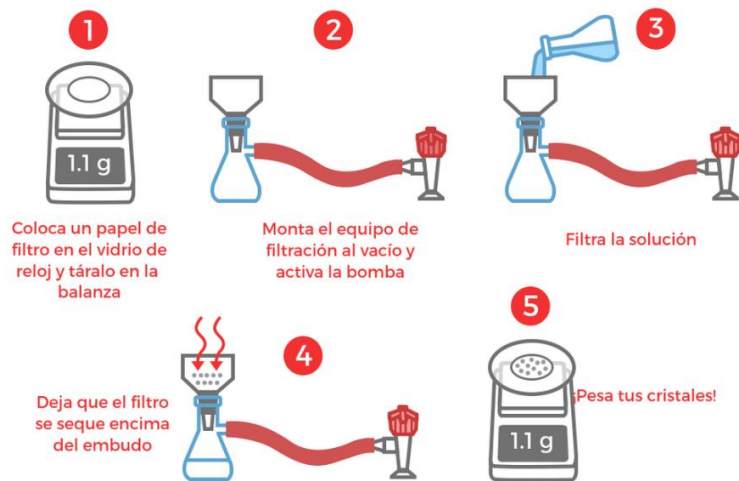
- Comparación de Medias: Para determinar diferencias significativas entre las distintas condiciones de prueba.

- Regresión Lineal: Para identificar tendencias y correlaciones entre variables como velocidad de flujo, permeabilidad y eficiencia de eliminación de contaminantes.
- Análisis de Varianza (ANOVA): Para evaluar la variabilidad dentro de los grupos de pruebas y entre ellos. (Sharma y Singh, 2017)

El uso de fibras naturales como lecho filtrante en sistemas compactos de tratamiento de aguas residuales es una metodología eficiente que combina procesos físicos y químicos para la retención de contaminantes. Los resultados obtenidos y su análisis estadístico proporcionan una base sólida para la optimización y aplicación de este método en tratamientos de aguas residuales sintéticas y potencialmente en aplicaciones industriales y domésticas. (Ruiz, 2017)

Figura 1

Funcionamiento del proceso de filtración al vacío



Nota. El gráfico representa el proceso de filtración al vacío donde existe la separación de líquidos y sólidos con el propósito de obtener líquidos ópticamente transparentes o puros. Tomado del Instructivo de manejo equipo de filtración al vacío (p.3), por L.A. Ruiz, 2017, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Ventajas de un sistema de filtración compacto de fibras naturales:

Las fibras naturales son materiales renovables y biodegradables, lo que hace que estos sistemas sean respetuosos con el medio ambiente, también suelen ser de bajo costo, lo que reduce el costo de operación y mantenimiento del sistema. Estos sistemas son capaces de eliminar una amplia

gama de contaminantes, desde partículas en suspensión hasta algunos contaminantes químicos y pueden utilizarse en diversas aplicaciones, como la purificación de agua potable, el tratamiento de aguas residuales, la filtración de piscinas y spas, y más. (Rendón y Neyra, 2020)

Es importante recordar que la efectividad de un sistema de filtración compacto de fibras naturales puede variar según la calidad del agua de entrada y el diseño específico del sistema. Por lo tanto, es crucial diseñar, operar y mantener estos sistemas de acuerdo con las necesidades y regulaciones locales. (Iriarte, 2020)

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales de este trabajo de titulación se clasificaron en materiales, equipos y reactivos para la realización de la caracterización de fibras, la elaboración del filtro horizontal de las fibras naturales y la preparación del agua sintética (agua contaminada con cromo).

4.1 Materiales

- Hojas de agave (*Agave sp.*)
- Coco (*Cocos nucífera*)
- Cápsulas de silogel
- Crisoles

Instrumentos:

- Desecador

Equipos:

- Agitador CSC Meinzer II Sieve Shaker
- Balanza analítica 250/0,0001 g PW254, ADAM
- Bomba de vacío BIOBASE GM-1.0P
- Espectrofotómetro Sens AA 5 BC
- Estufa Sheldon Manufacturing L3050
- Molino de cuchillas mezclador y homogeneizador Grindomix GM 200 - RETSCH
- Placa Agitadora MSH20D
- Potenciómetro Horiba LAQUA F71-G
- Prensa hidráulica PM15
- Purificador de agua Tipo I Thermo Electron LED GmbH

4.2. Métodos

En la investigación se establecieron dos etapas: etapa inicial (fase de campo), y la segunda etapa (fase de laboratorio).

La fase inicial de campo según Ordóñez (2022) es una etapa técnica que consta de la relación de visitas y recolección de la materia prima. Esta fase de campo se recolectaron 20 hojas de agave, y la adquisición de 5 cocos en el mercado. Estas materias primas se utilizaron en la caracterización de fibras.

La fase de laboratorio según Yanza (2018) se la realiza para identificar distintos parámetros a medir de la materia prima como son el agave (*Agave sp.*) y el coco (*Cocos nucifera*) como pH, humedad, cenizas, materia orgánica y porosidad, además de la elaboración del filtro horizontal de las fibras naturales tamizadas en dos medidas específicas y la preparación de la solución estándar de cromo dicha investigación y procedimientos a seguir son de tipo experimental debido a que se basa en un protocolo, la presencia de variables, la operación de las variables y la observación de resultados cuantitativos. (Alonso et al., 2019)

4.2.1. Obtención de la materia prima

En esta fase de campo se consiguió la materia prima, en caso del coco se lo adquirió en el Mercado Amazonas que se encuentra en la ciudad de Ibarra, en la Av. Alfredo Pérez Guerrero; y las hojas de agave se recolectaron en el cantón Cotacachi, en la comunidad Morocho en las coordenadas geográficas, latitud: 2.9187 (norte) y longitud: -81.5124 (oeste).

4.2.2. Caracterización de la materia prima

La caracterización de la materia prima se desarrolló en la fase de laboratorio en los laboratorios de: Química y Bromatología en las instalaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede – Ibarra.

- Preparación de la materia prima:

- Coco (*Cocos nucifera*). Este fruto se corta en pedazos cuadrados (anexo 2) así después del proceso de secado (anexo 3), trituración (anexo 5) y tamizaje a mano (anexo 6) se obtendrá las muestras para la caracterización de la materia prima y el material para el ensamble del filtro. (Flores, 2018)
- Agave (*Agave americana*). Este material se utiliza únicamente las 20 hojas recolectadas, es decir, se extrae toda la parte mucosa de la parte vegetal que pasa por los procesos de secado (anexo 3), trituración (anexo 5) y tamizaje, misma muestra que se utiliza en la caracterización y en la realización del filtro horizontal. (Buñay, 2022)
- Carbón Activado. Es un recurso complementario al sistema siendo este un factor que ayuda a eliminar los malos olores, colores y otros tipos de reactivos contaminantes que puedan estar presente en el agua. (Chan et al., 2023)

En ese punto se procedió a realizar la caracterización de cada uno de los biomateriales que se utilizaron, lo cual ayudó a conocer las características de cada uno. Se realizaron diferentes pruebas, cada una de ellas con dos repeticiones para procurar que el valor obtenido fuera el correcto. Los parámetros evaluados fueron: pH, porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, determinación de carbono orgánico, densidad, porosidad y permeabilidad de la fibra natural. (Gallardo, 2017) En la siguiente tabla se detalla el método utilizado para dicha caracterización

Tabla 1

Parámetros y métodos para la caracterización de la materia prima

Parámetro	Método	Descripción
Porcentaje de humedad	Método gravimétrico	Método analítico que se basa en la medición del peso (masa) de un componente específico en una muestra después de su separación y, a menudo, su conversión a una forma pura y estable. (Smith y Brown, 2021)
Porcentaje de cenizas	Método 2540 E. (STANDARD METHODS, 2022).	Método que determina sólidos totales volátiles en una muestra de agua o aguas residuales. Este método gravimétrico implica la evaporación de una muestra a 103-105 °C para eliminar el agua y luego la ignición del residuo seco a 550 °C en un

		horno. (American Public Health Association APHA, et al., 2022)
Porcentaje de carbono orgánico	Método gravimétrico	Método analítico que se basa en la medición del peso (masa) de un componente específico en una muestra después de su separación y, a menudo, su conversión a una forma pura y estable. (Smith y Brown, 2021)
Porosidad de las fibras naturales	Relación gravimétrica y volumétrica	Se refiere a la proporción de una sustancia en términos de masa, mientras que la relación volumétrica se refiere a la proporción en términos de volumen. (Davis y Thompson, 2020)

Nota: Esta tabla muestra los diferentes parámetros que se utilizaron para caracterizar la materia prima conjuntamente con el método a realizar.

4.2.3. pH

Este parámetro se determinó con el potenciómetro del laboratorio de la siguiente manera: Se secó los trozos de coco en una temperatura de 110°C por 3 días y los trozos de agave a una temperatura de 110°C por 5 días, después se trituro por un minuto así se obtuvo las muestras indistintamente a utilizar con el potenciómetro. (Flores, 2018)

Para continuar con el análisis, primero se calibra el potenciómetro y se procede a medir la muestra del coco y la muestra de agave, tomando en cuenta que se elaboró una muestra de 5 gramos de coco + 80 ml de agua destilada (relación 1:10), y también, elaboró una muestra de 5 gramos de agave + 80 ml de agua destilada (relación 1:10), posteriormente las muestras por separado se colocaron en el agitador, y se filtraron al vacío para un resultado de mayor pureza de coco y de agave. (Guastay & Tinoco, 2020)

Luego, se procede a medir el pH introduciendo los electrodos del potenciómetro en las distintas muestras de coco y agave, se lee los valores que aparecen en la pantalla del equipo. (anexo 9) Por último, se debe lavar los electrodos con agua destilada para que no se deteriore el equipo. (Camacho, 2020)

4.2.4. Porcentaje de humedad, de carbono orgánico y de cenizas

Estos tres parámetros se determinaron a través del método gravimétrico, donde es posible conocer el contenido de un porcentaje mínimo de agua en su estructura, el porcentaje de materia orgánica en el bioadsorbente y el porcentaje de cenizas. (Vilatuña, 2023)

Al momento de secar ambas materias primas se colocaron cápsulas de silogel, las cuales ayudan para el secado en la estufa con las muestras de coco y de agave, para ello se hizo un secado un día antes de los crisoles para poder determinar los parámetros con mayor precisión. Además, para realizar la obtención del porcentaje de las cenizas se calibra la estufa a 550°C por 3 horas. (Puente, 2019)

4.2.5. Porcentaje de porosidad

La porosidad se asocia con la densidad del material, y con la naturaleza de sus elementos y existen espacios vacíos entre sí. Al obtener la muestra de fibra de coco y de agave, siendo el parámetro que nos proporciona un estimado de la estructura de la superficie del sólido, los poros permiten que las moléculas del contaminante interactúe con la superficie del bioadsorbente, lo que en el proceso proporciona más eficiencia de adsorción ya que el bioadsorbente son donde ocurre la adsorción (Arévalo, 2017)

A continuación, las fórmulas para obtener el porcentaje de porosidad de las fibras naturales a utilizar como filtros para remoción de cromo:

$$Densidad\ aparente = \frac{Peso\ de\ la\ muestra}{Volumen\ del\ recipiente}$$

$$\% de\ Porosidad = 100 - \left(\left(\frac{Da}{Dr} \right) * 100 \right)$$

4.2.6. Fibras naturales en tamaño de partícula de 300 µm y 425 µm

Según Cordero (2020), la distribución del tamaño de la partícula permite la clasificación de la materia y su adaptabilidad al diseño propuesto, que en este caso es como un filtro horizontal compuesto de fibras naturales de coco y agave. Para el desarrollo de esta etapa se da en primer

lugar, seleccionando las hojas de agave y los cocos maduros como materia prima para la obtención de las partículas. Estos materiales son elegidos por su composición y propiedades específicas, como la fibrosidad, la resistencia y la capacidad de absorción de líquidos.

Luego, para reducir el material a un tamaño inicial manejable, se realiza un proceso de trituración, que involucra el uso del molino de cuchillas. Este paso reduce el material a trozos más pequeños, una vez que se han triturado los fragmentos iniciales, reduciéndolo adicional del tamaño de las partículas para lograr partículas de 425 μm y 300 μm . Después de la trituración, se pueden utilizar tamices para separar las partículas según su tamaño permitiendo obtener partículas de agave y coco con los tamaños deseados de 425 μm y 300 μm . (Cordero et al., 2020)

4.2.7. Elaboración de los filtros de coco (*Cocos nucifera*) y agave (*Agave sp.*)

Para la elaboración de los filtros de material fibroso pulverizado de acuerdo al tamaño de partícula se utilizaron 15 gramos de la materia prima de 425 y 300 μm y se colocaron en una prensa hidráulica PM15, sometiéndolo a una presión nominal de 1300 PSI y a una temperatura de 110°C en la estufa durante 2 horas. (Tuler, 2016)

Al preparar las fibras vegetales se debe asegurar de tener la cantidad correcta tanto de coco y agave (15 gramos) para cada filtro, dicho material debe estar pulverizado y que tengan un tamaño de partícula de 425 μm para un filtro y 300 μm para el otro. En el momento de moldear se coloca las fibras vegetales pulverizadas en el molde correspondiente al tamaño de partícula que estás utilizando (425 μm o 300 μm) así se compacta dichos materiales en el molde de manera uniforme, además se colocó papel filtro entre el material vegetal y el molde/prensa para ayudar a evitar la adhesión.

Después de aplicar la presión y la temperatura, permitir que el filtro se enfríe dentro del molde. Una vez que esté completamente frío, retirar el filtro del molde con cuidado, inspeccionar los filtros para asegurarse de que tengan la forma deseada y las propiedades adecuadas, si es necesario, se debe ajustar los parámetros de presión, temperatura o tiempo para lograr los resultados deseados.

4.2.8. Molde para la elaboración del filtro de fibras naturales

Para la elaboración del molde del filtro se recurre a comprar material de acero de transmisión de 5 pulgadas, 1.27 milímetros y acero perforado de 1.20 milímetros con el fin de que la medida sea igual a la de un filtro. (Huilca y Almeida, 2022) En el proceso de elaboración del molde se mide la longitud deseada del tubo de acero de transmisión (5 pulgadas) y marca el punto de corte, utilizando la sierra para metales para cortar el tubo según la marca, hay que asegurarse de que los extremos del tubo estén nivelados y limpios y de ser necesario, lija los extremos para suavizar cualquier aspereza.

Aparte se mide la longitud de la hoja de acero perforado para que coincida con la circunferencia del tubo de acero, se corta la hoja con la sierra para metales, se limpia los bordes de la hoja perforada para eliminar rebabas se alinea la hoja con el tubo para asegurarte de que se ajuste correctamente, se fija la hoja perforada alrededor del tubo, luego se utiliza la soldadora para unir la hoja al tubo y hay que inspeccionar el molde para asegurarse de que esté bien construido y que no haya bordes afilados, así se puede lijar cualquier área rugosa o afilada para suavizarla. (Balagué, 2016)

El molde se utilizó dando la forma a filtros de fibras naturales. Para la correcta utilización se coloca el material de filtro en el interior y presiona para que tome la forma del molde. Ten en cuenta las medidas exactas y ajusta según sea necesario para adaptarte a tus requisitos específicos. Además, la seguridad es fundamental al trabajar con herramientas y materiales, así que asegúrate de seguir todas las precauciones necesarias.

4.2.9. Elaboración de los filtros de Carbón activado (Testigo)

De acuerdo con Pérez y Ramírez (2021), para la elaboración de los filtros de carbón activado pulverizado de acuerdo al tamaño de partícula, se utilizaron 15 gramos de la materia prima de 425 y 300 μm . Estos se colocaron en una prensa hidráulica PM15, sometiéndolos a una presión nominal de 1300 PSI y a una temperatura de 110°C en la estufa durante 2 horas. Se compactan los materiales en el molde colocando el papel filtro entre el carbón activado y el molde/prensa

para ayudar a evitar la adhesión. Por último, el filtro debe dejarse enfriar dentro del molde, se retiró el filtro del molde con cuidado y observando que tengan la forma deseada y las propiedades adecuadas.

4.2.10. Preparación de la solución de Cromo Total

Se utilizó un volumen de 100 ml de agua destilada con una concentración de cromo total a 10 ppm.

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

Donde,

C_1 = concentración de la solución concentradas (solución inicial)

V_1 = volumen necesario de la solución concentrada

C_2 = concentración de la solución diluida (solución final)

V_2 = volumen final de la solución diluida

Se debe calcular la cantidad de cromo a utilizar, dado que la concentración deseada es 10 ppm y tienes un volumen de 100 ml, necesitarás 1 mg de cromo en la solución (10 ppm x 100 ml).

Al preparar la solución, se coloca el cromo pesado en el vaso de precipitación, también se agrega agua destilada al vaso de precipitación para completar el volumen de 100 ml, vertiendo el agua lentamente para asegurar una mezcla homogénea. Después, se agita bien la solución para asegurarse de que el cromo se disuelva completamente en el agua, el cromo en su forma trivalente suele ser soluble en agua, también se puede utilizar el HI3846 es un kit químico de pruebas colorimétricas para la concentración de cromo en muestras que contengan de 0.0 a 1.0 mg/L que son de medición para verificar la concentración de cromo en la solución y se ajusta la cantidad de cromo o agua si es necesario para alcanzar exactamente 10 ppm. (Castro, 2015)

Según (Cano, 2018) se preparó una solución de cromo con una concentración de 100 ppm de cromo total, utilizando la sal de nitrato de cromo, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. A partir de esta solución, se obtuvo una solución específica con una concentración de 6.3 ppm de cromo total, y otras soluciones se prepararon según se detalla. Los resultados de la investigación indican que la biomasa se presenta como una excelente alternativa para la implementación de biofiltros, demostrando una notable capacidad para eliminar el cromo total de soluciones acuosas.

4.2.11. Preparación de soluciones estándares

La preparación de soluciones estándares es una tarea fundamental en el laboratorio de química, ya que estas soluciones son utilizadas como referencia para la calibración de instrumentos y para la realización de análisis cuantitativos precisos. (Castaño, 2023) A continuación, se describen los pasos básicos para preparar soluciones estándares:

1. Selección del reactivo primario: Un reactivo primario es una sustancia de alta pureza que se utiliza para preparar la solución estándar. Debe ser estable, no higroscópico, y tener una masa molar elevada para minimizar los errores de pesaje.
2. Cálculo de la masa necesaria: Se calcula la cantidad de reactivo necesaria para obtener la concentración deseada utilizando la fórmula:
3. Pesaje del reactivo: Se pesa la cantidad calculada del reactivo primario utilizando una balanza analítica. Es importante realizar el pesaje en un ambiente controlado para evitar contaminaciones y variaciones en la masa.
4. Disolución del reactivo: El reactivo pesado se disuelve en una pequeña cantidad de solvente, usualmente agua destilada o desionizada. Se agita la solución hasta que el reactivo esté completamente disuelto.
5. Aforo en Matraz volumétrico: La solución se transfiere a un matraz volumétrico y se diluye hasta el volumen final marcado en el matraz. Es crucial añadir el solvente gradualmente y asegurarse de que el menisco esté alineado con la marca de aforo al nivel de los ojos.

6. Mezclado completo: Se tapa el matraz volumétrico y se invierte varias veces para asegurar que la solución esté homogénea.

7. Etiquetado y almacenamiento: La solución estándar preparada se etiqueta con el nombre del reactivo, la concentración, la fecha de preparación y el nombre del preparador. Finalmente, se almacena adecuadamente, generalmente en un lugar fresco y oscuro para mantener su estabilidad.

Estas soluciones deben ser preparadas con precisión y exactitud, ya que cualquier error en su preparación puede afectar los resultados de los análisis en los que se utilicen.

4.2.12 Proceso de filtración

Para cada filtro elaborado con el material fibroso pulverizado se filtro con la máquina a presión, esto se realizó de manera meticulosa, asegurando que el material fibroso mantuviera su integridad estructural durante todo el proceso. La presión aplicada en la máquina garantizó una fuerza suficiente para que el agua pasara a través del material filtrante, permitiendo así la captura y retención eficaz de las partículas de cromo presentes en la solución. (Arias, 2022)

Además, es fundamental destacar que se emplearon filtros confeccionados a partir de dos tipos de materiales fibrosos distintos: coco y agave. Los tamaños de poro seleccionados para los filtros fueron de 300 μm y 425 μm . Este criterio permitió explorar y comparar la eficacia de los filtros en función de las variaciones en el tamaño de los poros, contribuyendo así a una evaluación más detallada de su desempeño. (Murgueitio et al., 2015)

4.2.13. Evaluación de la concentración de cromo total mediante Espectrofotómetro Sens AA 5 BC

La evaluación de la concentración de cromo en muestras se realiza comúnmente utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (AAS). Este método se basa en la absorción de luz por los átomos de cromo en estado gaseoso.

La muestra se disuelve en una solución adecuada, generalmente ácida, para asegurar que el cromo esté en forma soluble. Se utilizan soluciones estándar de cromo de concentraciones conocidas para calibrar el equipo. Esto permite establecer una curva de calibración que relaciona la absorción de luz con la concentración de cromo. La muestra preparada se introduce en el espectrofotómetro de absorción atómica. Un haz de luz de una longitud de onda específica, correspondiente a la absorción del cromo, se dirige a través de la muestra. El equipo midió la cantidad de luz absorbida por los átomos de cromo. La absorción medida se compara con la curva de calibración donde se determinó la concentración de cromo en la muestra.

4.2.14. Diseño Experimental

El diseño para esta investigación es un Diseño Completamente al Azar (DCA $A \times B + 1$ Factorial)

Factor o factores

En esta investigación, se están evaluando dos factores principales: Factor A (tipo de fibra natural) y Factor B (tamaño de partícula) para determinar cómo influyen en un resultado específico, como podría ser la capacidad de remoción de cromo en biofiltros.

Factor A: Fibras Naturales

Este factor se refiere al tipo de fibra natural utilizada en los filtros. Tiene dos subfactores:

F₁: Fibra de Agave

F₂: Fibra de Coco

Factor B: Tamaños de Partícula

Este factor se refiere al tamaño de las partículas de las fibras naturales utilizadas en los filtros. También tiene dos niveles:

P₁: Tamaño de partícula de 425 μm

P₂: Tamaño de partícula de 300 μm

En el diseño experimental se incluye un testigo.

Tratamientos

El estudio está organizado en un diseño factorial 2x2, donde cada combinación de los niveles de los factores A y B se prueba. Esto significa que habría cuatro tratamientos en total:

F₁P₁: Evaluar la fibra natural de agave con tamaño de partícula de 425 µm.

F₁P₂: Evaluar la fibra natural de agave con tamaño de partícula de 300 µm.

F₂P₁: Evaluar la fibra natural de coco con tamaño de partícula de 425 µm.

F₂P₂: Evaluar la fibra natural de coco con tamaño de partícula de 300 µm.

Testigo (Carbón activado): Evaluar el carbón activado.

Unidad Experimental

El esquema del ensayo experimental es la combinación de estos factores y niveles da lugar a 5 tratamientos experimentales, a continuación:

Tratamientos		Descripción	Repeticiones
T ₁	F ₁ P ₁	Fibra de agave x 425 µm	
T ₂	F ₁ P ₂	Fibra de agave x 300 µm	
T ₃	F ₂ P ₁	Fibra de coco x 425 µm	x 3
T ₄	F ₂ P ₂	Fibra de coco x 300 µm	
T ₅	Testigo	Carbón activado	

Cada unidad experimental será sometida a uno de estos tratamientos combinados para evaluar cómo las diferentes fibras y tamaños de partícula afectan la variable de interés, como podría ser la capacidad de remoción de cromo en el agua. A continuación, la distribución de las unidades experimentales que son 15.

Repeticiones	Tratamientos				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
R ₁	F ₁ P ₁	F ₁ P ₂	F ₂ P ₁	F ₂ P ₂	

R ₂	F ₁ P ₁	F ₁ P ₂	F ₂ P ₁	F ₂ P ₂	Carbón
R ₃	F ₁ P ₁	F ₁ P ₂	F ₂ P ₁	F ₂ P ₂	activado

4.2.15 Variables

Variable/s Independiente/s

- Fibras naturales (coco y agave)
- Tamaño de la partícula (425 y 300 µm)

Variable/s dependiente/s

- Remoción de Cr

Para estudiar la remoción de cromo utilizando fibras naturales de coco y agave con tamaños de partículas de 425 µm y 300 µm, y considerando que también puede ser una variable dependiente el pH y la humedad, se sigue este procedimiento general:

Para medir la remoción del cromo en una solución mediante el uso de fibras naturales (como *agave sp.* y *cocos nucífera*) y carbón activado, se siguen una serie de procesos experimentales y analíticos que permiten cuantificar la cantidad de cromo que se adsorbe en estos materiales. Se parte de una solución estándar de cromo con una concentración de 10 ppm en un volumen de 10 ml de agua destilada.

La solución de cromo se agrega a los filtros elaborados con las fibras naturales y el carbón activado, y se deja que ocurra el proceso de adsorción por un periodo de tiempo determinado y de filtración. Durante este tiempo, el cromo se adhiere a las superficies activas de los adsorbentes; factores como el tiempo de contacto, la agitación, el pH y la temperatura pueden influir en la eficiencia de la adsorción.

La medición de la cantidad de cromo en la solución, después del proceso de adsorción, se realiza mediante un espectrofotómetro. Este equipo permite determinar la concentración del cromo residual en la solución después de la adsorción. Se realiza un análisis espectrofotométrico de la solución de 10 ppm para obtener un valor de referencia. Este valor inicial confirma que la concentración de cromo es la adecuada para el experimento.

Una vez transcurrido el tiempo de adsorción, se retiran los adsorbentes de la solución y se mide nuevamente la concentración de cromo en el líquido restante mediante espectrofotometría. La cantidad de cromo removido se determina comparando las

concentraciones iniciales y finales de cromo en la solución. El porcentaje de remoción se puede calcular utilizando la fórmula:

$$\% \text{ de Remoción de Cr} = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100$$

Donde:

C_i es la concentración inicial de cromo (10 ppm).

C_f es la concentración final de cromo después de la adsorción.

Para cuantificar la cantidad exacta de cromo adsorbido por los materiales, se utiliza el volumen de la solución y la diferencia de concentraciones. La cantidad total de cromo adsorbido se puede calcular mediante:

$$\text{Cromo adsorbido (mg)} = (C_i - C_f) \times V$$

Donde V es el volumen de la solución en litros.

Al final del experimento, los resultados obtenidos permiten analizar la eficacia de los diferentes materiales adsorbentes. Se puede comparar qué material es más eficiente en términos de porcentaje de remoción o cantidad de cromo adsorbido. Además, es posible optimizar las condiciones experimentales (como la masa de adsorbente, el tiempo de contacto, o el pH) para mejorar los resultados de adsorción. El uso del espectrofotómetro asegura la precisión de las mediciones, ya que es una técnica estándar y confiable para cuantificar metales como el cromo en soluciones acuosas.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo, se investigó la efectividad de las fibras naturales de coco y agave para la remoción de cromo de soluciones acuosas. Se exploraron las propiedades adsorbentes de estos materiales naturales como una alternativa sostenible y económica a los métodos convencionales de tratamiento de aguas contaminadas. Los resultados obtenidos destacan el potencial de estas fibras para reducir significativamente las concentraciones de cromo, contribuyendo así a la mitigación de su impacto ambiental.

5.1 Caracterización de los biomateriales fibrosos

Los parámetros que se evaluaron para la caracterización de las fibras pH, humedad, materia orgánica, cenizas, carbono orgánico y porosidad. Los resultados de la densidad aparente y del porcentaje de porosidad de ambas fibras naturales para la elaboración de los biofiltros se detalla a continuación:

Agave (*Agave sp.*)

$$\text{Densidad aparente} = \frac{5,0009 \text{ g}}{11 \text{ ml}}$$

$$\text{Densidad aparente} = \mathbf{0,4546 \text{ g/ml}}$$

$$\% \text{ de Porosidad} = 100 - \left(\left(\frac{0,4546 \text{ g/ml}}{2,65 \text{ g/ml}} \right) * 100 \right)$$

$$\% \text{ de Porosidad} = \mathbf{82,84\%}$$

Coco (*Cocos nucífera*)

$$\text{Densidad aparente} = \frac{2,5004 \text{ g}}{12 \text{ ml}}$$

$$\text{Densidad aparente} = \mathbf{0,2083 \text{ g/ml}}$$

$$\% \text{ de Porosidad} = 100 - \left(\left(\frac{0,2083 \text{ g/ml}}{2,65 \text{ g/ml}} \right) * 100 \right)$$

$$\% \text{ de Porosidad} = 92,14\%$$

En la siguiente tabla se muestra los datos resultantes de la caracterización de la fibra de coco (*cocos nucífera*) y de agave (*agave sp.*).

Tabla 2

Caracterización de la fibra de agave (Agave sp.)

Agave (<i>Agave sp.</i>)		
Parámetro	Unidad	Resultados
Potencial Hidrógeno		5,00
Humedad	%	88,24
Materia Orgánica	%	98,31
Cenizas	%	0,95
Carbono Orgánico	%	99,02
Porosidad	%	82,84

El agave tiene un contenido de humedad que corresponde al 88,24%, con respecto al contenido de cenizas es de 0,95% podemos decir que en su mayoría la fibra de agave contiene grandes cantidades de compuestos minerales. La porosidad es de 82,84% presentando altos valores de porosidad total y bajos de densidad aparente, como también ocurre en la cáscara de arroz. La fibra de agave presenta un alto porcentaje de retención de humedad, pero además bajo en la porosidad de aireación, lo cual es positivo para la elaboración de un biofiltro. (Becerra et al., 2021)

Las fibras de agave contienen celulosa, hemicelulosa, y lignina, similar a la fibra de coco, pero en proporciones distintas. Están compuestas también por saponinas y otros compuestos orgánicos que pueden influir en el proceso de adsorción. Investigaciones como las de González et al. (2021) han demostrado que las fibras de agave pueden remover eficientemente cromo debido a su estructura fibrosa y la presencia de grupos funcionales activos.

Tabla 3*Caracterización de la fibra de coco (Cocos nucífera)*

Coco (Cocos nucífera)		
Parámetro	Unidad	Resultados
Potencial Hidrógeno		5,13
Humedad	%	83,22
Materia Orgánica	%	97,75
Cenizas	%	1,29
Carbono Orgánico	%.	98,70
Porosidad	%	92,14

El contenido de humedad del coco corresponde al 83,22% y el contenido de cenizas de 1,29% determinando así que el coco es rico en compuestos minerales. El 92,14% es el porcentaje de porosidad siendo un valor muy alto de porosidad total y valores muy bajos de densidad aparente. La fibra de coco presenta el más alto porcentaje de retención de humedad, pero además bajo en la porosidad de aireación, lo cual llega a ser considerado como un posible suplente de buena calidad de la turba para la elaboración de un filtro natural. (Gallardo, 2017)

La ausencia de cromo en el biosorbente de coco es relevante para comprender la eficacia de este material en la adsorción de metales pesados y su aplicación en la remoción de contaminantes del agua. Su capacidad para adsorber metales se basa en la presencia de grupos funcionales en su superficie, que interactúan con los iones metálicos en solución. Esto es relevante para el proceso de biosorción, ya que la ausencia de contaminación previa por cromo significa que el adsorbente puede ser más efectivo al no competir con el metal. (Becerra et al., 2021)

La fibra de coco contiene una alta cantidad de lignina y celulosa, lo que contribuye a su capacidad de adsorción. Según Namasivayam y Sureshkumar (2018), la fibra de coco presenta una superficie específica elevada y una estructura porosa que favorece la captura de iones metálicos. Además, la presencia de grupos funcionales como hidroxilos y carboxilos en su superficie mejora la interacción con el cromo, permitiendo su remoción eficiente.

Los resultados de la investigación confirman y amplían la explicación proporcionada por Namasivayam y Sureshkumar. La alta porosidad y la presencia de grupos funcionales en la fibra de coco contribuyen a su capacidad de remoción de cromo. Además, los datos sobre la humedad, el contenido de cenizas, y la densidad aparente proporcionan información adicional sobre la estructura y las propiedades de la fibra que influyen en su desempeño como material de adsorción o filtro natural.

5.2 Tamaño de partícula del material fibroso pulverizado.

En la siguiente tabla se muestra la obtención de partículas de agave (*Agave sp.*) y coco (*Cocos nucífera*) con tamaño de partículas de 425 μm y 300 μm .

La obtención de partículas de agave y coco con tamaños de partículas de 425 μm y 300 μm implica un proceso de trituración y molienda de estos materiales vegetales para reducirlos a un tamaño específico. Este proceso puede tener aplicaciones en diversas industrias, en esta investigación fue para remover el cromo del agua contaminada sintéticamente.

5.3 Filtros

Figura 2

Filtro de agave (Agave sp.)



Nota. El gráfico representa los filtros resultantes de fibras naturales tanto de agave (*Agave sp.*) con tamaños de partículas de 425 μm y 300 μm para realizar el proceso de filtración al vacío.

Figura 3

Filtros de coco (Cocos nucífera)



Nota. El gráfico representa los filtros resultantes de fibras naturales de coco (*Cocos nucifera*) y con tamaños de partículas de 425 μm y 300 μm para realizar el proceso de filtración al vacío.

Figura 4

Filtro de carbón activado



Nota. El gráfico representa los filtros resultantes de carbón activado con tamaño de partícula estándar para realizar el proceso de filtración al vacío.

5.4 Remoción del cromo total

El volumen recuperado luego de la filtración fue entre 95 ml y 97 ml de filtración de la solución preparada de cromo tanto en el filtro de agave (*Agave sp.*) como en el filtro de coco (*Cocos nucifera*), donde el volumen inicial fue de 100 ml.

Agave (*Agave sp.*)

$$\% \text{ de Remoción de Cr} = \left(\frac{10 - 2,0}{10} \right) \times 100 = \mathbf{80\%}$$

Esto indica que el 80% del cromo presente en la solución fue adsorbido por el filtro de material fibroso de *agave sp.*

Y para conocer el valor de cromo adsorbido, donde el volumen de la solución en litros es de 10 ml o 0,01 litros.

$$\text{Cromo adsorbido (mg)} = (10 - 2) \times 0,01 = \mathbf{0,08 \text{ mg}}$$

Esto indica que 0,08 mg de cromo fueron adsorbidos por los adsorbentes en 10 ml de solución.

Coco (*Cocos nucífera*)

$$\% \text{ de Remoción de Cr} = \left(\frac{10 - 3,1}{10} \right) \times 100 = \mathbf{70\%}$$

Esto indica que el 70% del cromo presente en la solución fue adsorbido por el filtro de material fibroso de *cocos nucífera*.

Y para conocer el valor de cromo adsorbido, donde el volumen de la solución en litros es de 10 ml o 0,01 litros.

$$\text{Cromo adsorbido (mg)} = (10 - 3,1) \times 0,01 = \mathbf{0,07 \text{ mg}}$$

Esto indica que 0,07 mg de cromo fueron adsorbidos por los adsorbentes en 10 ml de solución

Testigo (Carbón activado)

$$\% \text{ de Remoción de Cr} = \left(\frac{10 - 3,4}{10} \right) \times 100 = \mathbf{66\%}$$

Esto indica que el 66% del cromo presente en la solución fue adsorbido por el filtro de material fibroso de *cocos nucífera*.

Y para conocer el valor de cromo adsorbido, donde el volumen de la solución en litros es de 10 ml o 0,01 litros.

$$\text{Cromo adsorbido (mg)} = (10 - 3,4) \times 0,01 = \mathbf{0,06 \text{ mg}}$$

Esto indica que 0,06 mg de cromo fueron adsorbidos por los adsorbentes en 10 ml de solución

La eficiencia de la filtración con filtros de materiales fibrosos de coco y agave en la remoción de cromo total en el contexto de la purificación de aguas contaminadas. El coco, por ejemplo, contiene lignina y celulosa, que pueden adsorber ciertos contaminantes. El agave también tiene fibras que podrían tener capacidad de adsorción. (Martínez, 2023)

Tabla 4

Eficiencia de la filtración utilizando materiales fibrosos de agave y coco

Tipo de filtro	Tamaño de partícula		% de Remoción de Cr	Cantidad de Cr absorbido
	300µm	425µm		
Filtro de <i>Agave sp.</i>	Tratamiento 1	Tratamiento 2	80%	0,08 mg
Filtro de <i>Cocos nucífera</i>	Tratamiento 3	Tratamiento 4	70%	0,07 mg
Carbón activado	Tratamiento 5		66%	0,06 mg

La eficiencia de los filtros de materiales fibrosos, como los de coco y agave, está directamente relacionada con la estructura y porosidad de sus fibras, factores esenciales para la adsorción de cromo en procesos de filtración. Según estudios recientes, la porosidad y la superficie específica de los materiales juegan un papel crucial en la retención de partículas de cromo, ya que estos materiales permiten que el agua pase a través de sus poros mientras capturan los contaminantes (Silva et al., 2021). Además de la adsorción física, algunos materiales fibrosos poseen propiedades químicas que reaccionan con el cromo, incrementando su capacidad de remoción (Zhao et al., 2022).

Un aspecto clave a considerar es la durabilidad y capacidad de regeneración de los filtros. Los materiales fibrosos pueden saturarse rápidamente o perder eficiencia con el tiempo, lo que depende en gran medida de la carga de cromo y las condiciones de filtración (Hernández & Ramírez, 2020). Es esencial evaluar cómo estos filtros, como los de coco y agave, se comparan con otros medios de filtración más convencionales, como el carbón activado, que ha sido ampliamente utilizado en la remoción de cromo debido a su alta capacidad de adsorción (Li et al., 2021).

Además de la eficiencia en la remoción de cromo, la sostenibilidad de los materiales fibrosos como el coco y el agave es un tema relevante. La producción de estos filtros tiene un impacto ambiental menor en comparación con los materiales sintéticos, lo que los convierte en una opción más ecológica (Martínez et al., 2023). Estos materiales no solo son renovables, sino que también presentan una biodegradabilidad superior, lo que facilita su desecho sin generar grandes cantidades de residuos peligrosos (Torres & López, 2022).

En conclusión, los filtros de materiales naturales como el coco y el agave tienen un gran potencial en la remoción de cromo debido a sus propiedades de adsorción y sostenibilidad. Sin embargo, es necesario realizar estudios adicionales para optimizar su capacidad de regeneración y comparar su eficiencia en diferentes condiciones de uso.

5.5 Prueba de Normalidad

La prueba apropiada seleccionada es la prueba de normalidad de Shapiro Wilks, estableciendo el nivel de confianza y significancia, NC = 95% y NS = 5.

Tabla 5

Prueba de normalidad de Shapiro Wilks

	n	Media	D.E.	W	p(value)
Rendimiento	15	2,79	0,89	0,93	0,5147

Calculando el estadístico $W = 0,9312$ y encontrando el valor crítico $VC = 0,8810$, así se puede decidir si H_0 se acepta o se rechaza ($W < VC$: H_0 se rechaza y $W > VC$: H_0 se acepta).

Con una confianza del 95% podemos concluir que la muestra sí proviene de una distribución normal, es decir, la H_0 se acepta.

Rendimiento ($p = 0,5147$): El valor p es mayor que 0,05, esto sugiere que los datos sobre el rendimiento en la remoción del cromo sí pueden seguir una distribución normal.

5.6 Prueba de homogeneidad de varianzas

Tabla 6

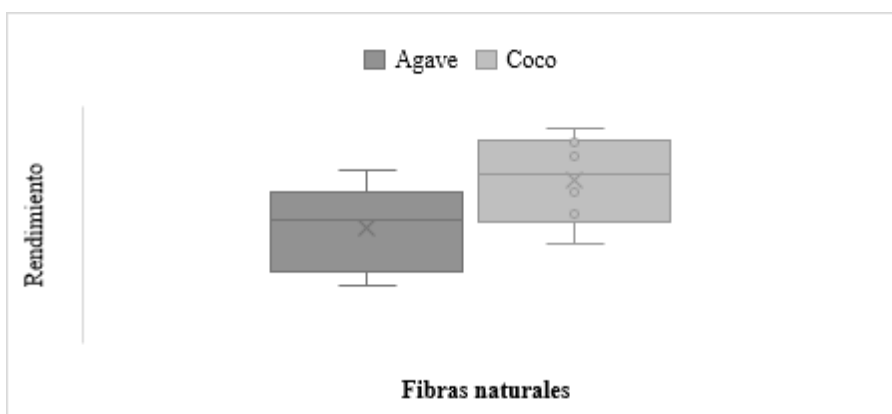
Datos y análisis de prueba de homogeneidad de varianzas

	Rendimiento	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación
Agave	2,006	2,078	0,834	40,144

	2,692			
	1,428			
	3,290			
	1,086			
	2,620			
	3,557			
	3,789			
Coco	2,857	3,096	0,847	27,373
	1,883			
	4,058			
	2,431			

Figura 5

Dispersión de la homogeneidad de varianzas



Nota. El gráfico representa la dispersión de la homogeneidad de varianzas. (CV (*Agave sp.*) = 40,144%; CV (*Cocos nucífera*) = 27,373%)

Interpretación

La figura 5 refleja la diferencia en la dispersión, mostrando una nube de puntos más concentrada para la fibra de coco y una más dispersa para la fibra de agave, señalando la diferencia en la homogeneidad de las varianzas. Donde la fibra de coco tiene un rendimiento promedio mayor que la de agave, y la fibra de agave presenta una mayor variabilidad en su rendimiento en comparación con la fibra de coco, indicando que el rendimiento del agave es menos consistente.

Tabla 7*Prueba t de homogeneidad de varianzas*

Clasif.	Var.	Grupo	n	Media	Media (1)-Media (2)	pHomVar	T	p-valor	Prueba
F. N.	Rend.	1	6	2,19					
		2	6	3,1	-0,91	0,9737	-1,87	0,0907	Bilateral

No se rechaza la hipótesis nula, dado que el p-valor es muy alto (0,9737), no hay evidencia estadísticamente significativa para afirmar que las varianzas del rendimiento entre las fibras de agave y coco son diferentes. Esto sugiere que las varianzas de ambas fibras son homogéneas o similares. Las fibras de *Agave sp.* y *Cocos nucífera* tienen varianzas de rendimiento que pueden considerarse iguales según la Prueba t de homogeneidad de varianzas realizada en InfoStat.

Tabla 8

Análisis de varianza para la retención de cromo en fibras naturales de agave y coco

Simbología:

FV: Factor de varianza, **GL:** Grados de libertad, **SC:** Sumatoria de cuadrados, **CM:** Cuadrado Medio, **Fcal:** Nivel de significancia, *****: Significativo, **ns:** no significativo, **CV:** Coeficiente de variación

En un análisis de varianza, el valor p se utiliza para determinar si hay diferencias estadísticas significativas entre los grupos comparados. Un valor p por debajo del nivel de significancia (en

FC	GL	SC	CM	F cal	F tab 0,05	Significancia
Total	10	0,76				
Tratamiento	3	0,61	0,20	2,67	2,67	ns
Fibras Naturales	1	0,61	0,20	2,67	2,67	ns
Tamaño de Partículas	1	0	0	sd	sd	ns
Interacción AxB	1	0	0	sd	sd	ns
Factorial vs Adicional	0	0	0	sd	sd	ns
Error	5	0,15	0,08			

CV: 11,44%

\bar{X} : 2,125

este caso, 0,05) indica que hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

Ambos valores p indican que no existen diferencias significativas en los grupos evaluados, esto significa que los grupos evaluados no tienen medias diferentes de manera estadísticamente significativa. Las diferencias observadas entre las medias no son lo suficientemente grandes como para descartarlas como producto del azar.

Un CV de 11,44% indica que los datos tienen una variabilidad baja en relación con la media, esto significa que la dispersión de los datos no es significativa. Según Gómez y López (2022) el CV es aceptable porque se encuentra en un contexto de estudios biológicos o industriales donde un grado moderado de variabilidad es común.

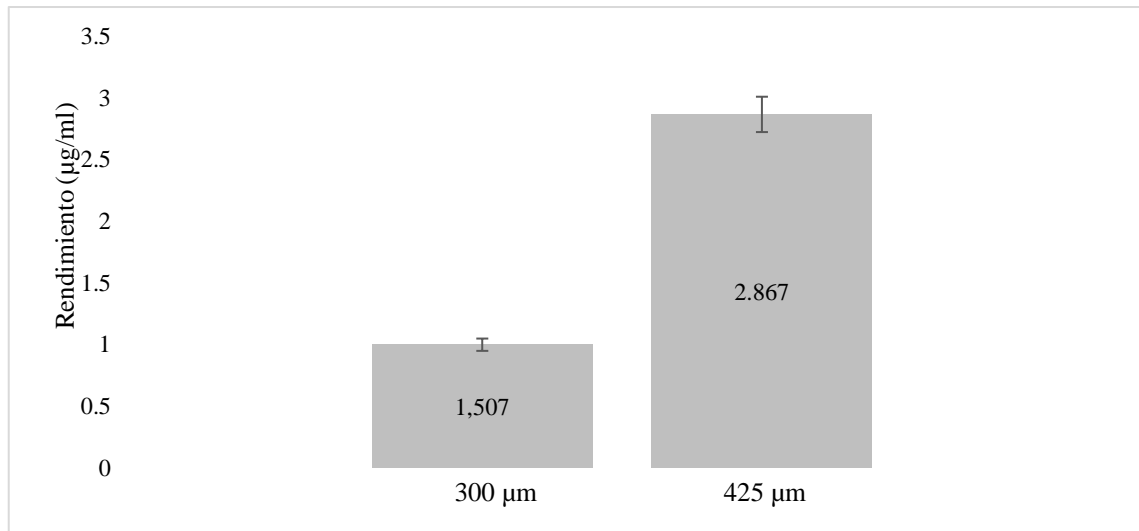
5.7 Prueba de Significancia

La prueba estadística aplicada analiza más de dos grupos que difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas. (Juárez, 2015)

En función de los datos obtenidos en la Tabla 14, se obtienen valores de p-value de los tratamientos es mayor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo que la hipótesis es significativa, es decir se rechaza la hipótesis alternativa, afirmando que los biofiltros elaborados de coco (*Cocos nucífera*) y agave (*Agave sp.*) poseen capacidad de remoción de cromo, lo que significa que existen métodos evaluados poseen un porcentaje de remoción alto o a su vez disminuyen su concentración.

Figura 6

Eficiencia de la remoción de cromo con el uso de material fibroso de (Agave sp.)

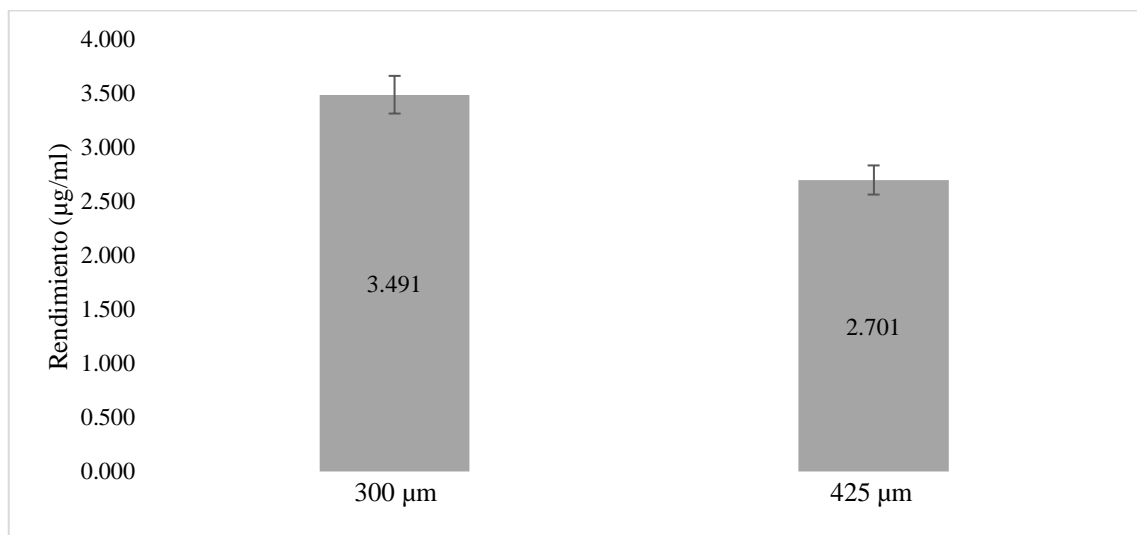


En la figura 6 por medio del análisis estadístico, se identificó que no existen diferencias significativas entre la fibra natural de agave vs. tamaños de partículas aplicados en el experimento.

Tabla 9*Remoción de cromo a través del filtro de fibras naturales de Agave sp.*

Repeticiones	Tamaño de partícula 300µm	Tamaño de partícula 425µm	Tamaño de partícula 300µm	Tamaño de partícula 425µm
	Concentración inicial de cromo		Concentración final remoción de cromo	
	ppm		ppm	ppm
R1			2,006	2,692
R2			1,428	3,290
R3	10		1,086	2,620
Promedio			1,506	2,867

Nota. Estos resultados destacan que, al incrementar el tamaño de las partículas de fibras de *Agave sp.*, se puede mejorar significativamente la capacidad de adsorción de cromo en soluciones acuosas.

Figura 7*Eficiencia de la remoción de cromo con el uso de material fibroso de (Cocos nucifera)*

En la figura 7 por medio del análisis estadístico, se identificó que existen diferencias significativas entre la fibra natural de coco vs. tamaños de partículas aplicados en el experimento de 300 µm y 425 µm. Se identificó que existe significancia en el tamaño de partícula, señalando que los tratamientos demostraron un rendimiento positivo en la remoción de cromo en la solución de agua.

Tabla 10

Porcentaje de remoción de cromo a través del filtro de fibras naturales de Cocos nucífera.

Repeticiones	Tamaño de partícula 300µm	Tamaño de partícula 425µm	Tamaño de partícula 300µm	Tamaño de partícula 425µm
	Concentración inicial de cromo ppm		Concentración final de cromo ppm	
R1	10		3,557	3,789
R2			2,857	1,882
R3			4,058	2,431
Promedio			3,491	2,701

Nota. Estos resultados destacan que, al incrementar el tamaño de las partículas de fibras de *Cocos nucífera*, disminuye la capacidad de adsorción de cromo en soluciones acuosas.

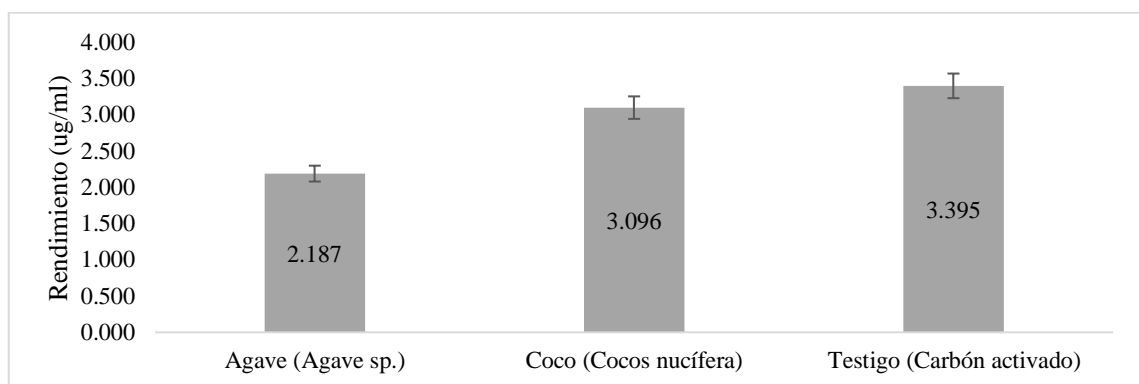
Tabla 11

Porcentaje de remoción de cromo a través del filtro de carbón activado en tamaño estándar

Repeticiones	Remoción de Cr	
R1	3,149	68,51%
R2	3,671	63,30%
R3	3,366	66,34%

Figura 8

Eficiencia de la remoción de cromo con el uso de materiales fibrosos vs. carbón activado



Nota. El gráfico representa el proceso de remoción del cromo de los materiales fibrosos vs. carbón activado.

El uso de fibras naturales como el agave y el coco para la filtración de metales pesados representa una alternativa ecológica y sostenible. Estas fibras poseen estructuras porosas que contienen componentes capaces de interactuar con los metales, facilitando su adsorción y remoción del agua contaminada. Los tamaños de partícula de 300 μm y 425 μm empleados en este estudio sugiere un adecuado procesamiento de las fibras, lo cual aumenta la superficie de contacto disponible para la solución, mejorando así la capacidad de adsorción del cromo.

En términos de eficacia, se observó que los filtros de agave lograron remover un 89,15% del cromo presente, mientras que los de coco alcanzaron un 81,18%. Esta diferencia indica que ambos materiales son efectivos en la retención de cromo, siendo el agave ligeramente más eficiente en este caso específico. Estos porcentajes pueden interpretarse como la cantidad máxima de cromo que cada tipo de filtro puede adsorber antes de alcanzar su saturación, lo cual es crucial para evaluar la capacidad y eficiencia de estos materiales en aplicaciones prácticas.

Comparando estos resultados con investigaciones previas, se afirma que la remoción de cromo por parte de filtros de fibras naturales es consistente con estudios que demostraron la efectividad de materiales en la adsorción de metales pesados. Por ejemplo, investigaciones han mostrado que los filtros de fibras de coco y agave son capaces de alcanzar altas tasas de remoción de cromo, comparable a métodos convencionales menos sostenibles. (Becerra y otros, 2021)

Es importante considerar que la eficiencia de remoción del cromo puede variar según la concentración inicial en el agua y las condiciones específicas de operación de los filtros. Además, es esencial establecer estándares de calidad para determinar qué porcentaje de remoción se considera aceptable, basado en las regulaciones ambientales y los límites máximos permisibles de contaminantes en el agua potable y residual.

En resumen, los filtros de fibras de agave y coco representan una opción prometedora y respetuosa con el medio ambiente para el tratamiento de aguas contaminadas con cromo. La eficiencia demostrada en la remoción de este metal pesado subraya su potencial como alternativas viables frente a métodos convencionales, beneficiando tanto la salud pública como el medio ambiente.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente.

- Los resultados revelaron que las fibras de ambos biomateriales exhiben niveles significativos de porosidad, siendo de *Cocos nucifera* notablemente superior (92,14%) en comparación con las de *Agave sp.* (82,84%), esto indica un potencial prometedor para la aplicación de estos biomateriales en la remoción de cromo debido a la alta porosidad de las fibras, lo que los convierte en candidatos viables para aplicaciones de purificación de agua u otras áreas relacionadas con la eliminación de contaminantes.
- Los filtros elaborados con *Agave sp.* lograron una alta eficiencia en la remoción de cromo total. Específicamente, los tratamientos con tamaño de partícula de 300 μg demostraron un porcentaje de remoción promedio superior al 80%, mientras que aquellos con un tamaño de partícula de 425 μg mantuvieron una eficiencia considerablemente alta, aunque ligeramente menor, debido a la combinación de una estructura porosa y rica en grupos funcionales, la alta capacidad de retención de agua, y la sostenibilidad de las fibras de agave contribuye a su efectividad en la remoción de cromo total del agua.
- Basado en la significancia estadística, la prueba de Tukey al 5% confirmó que las diferencias en la eficiencia de las fibras naturales según el tamaño de partícula son significativas. En particular, se determinó que las fibras naturales de *Agave sp.* con un tamaño de partícula de 300 μg son especialmente efectivas, debido al alto porcentaje de remoción de cromo total.
- Los filtros elaborados con *Agave sp.* y *Cocos nucifera* tienen el potencial de ser utilizados como alternativas eficaces para la remediación de agua contaminada con cromo.
- Se determina capacidad de remoción de cromo en ambos tipos de filtros, los resultados obtenidos respaldan completamente la hipótesis nula (H_0), ya que no se encontraron diferencias significativas en la eficacia de remoción entre los tratamientos y los tipos de biomateriales utilizados.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Debido a la presencia de saponinas se recomienda que para un mejor manejo de esta fibra de agave se proceda a un buen lavado previo antes del secado esto garantizara que al momento de manipular este material, se evite complicaciones dermatológicas.

- Realizar estudios detallados para determinar la eficiencia de los filtros de fibra de coco y agave en la remoción de contaminantes específicos presentes en aguas industriales (por ejemplo, metales pesados, compuestos orgánicos, etc.). Comparar los resultados con los estándares regulatorios para garantizar la calidad del agua tratada.

- Investigar y desarrollar métodos para optimizar la producción y utilización de filtros de fibra como coco y agave, asegurando un balance adecuado entre la durabilidad del filtro y su capacidad de remoción de contaminantes.

- Evaluar la durabilidad de los filtros bajo condiciones de uso industrial prolongado y desarrollar protocolos de mantenimiento adecuados para maximizar su vida útil y eficacia.

- Considerar la viabilidad económica y logística de implementar estos filtros a escala industrial. Evaluar los costos de producción, instalación y operación en comparación con otras tecnologías de tratamiento de aguas.

- Establecer estándares de calidad rigurosos para la producción de filtros de fibra de coco y agave, asegurando la consistencia en la estructura del filtro y la eficiencia de remoción de contaminantes.

- Diseñar procesos de fabricación que permitan escalar la producción según las demandas del mercado sin comprometer la calidad del producto final.

- Investigar continuamente nuevas tecnologías y técnicas de fabricación que puedan mejorar la eficiencia y reducir los costos asociados con la producción de filtros sostenibles.
- Implementar pruebas de laboratorio robustas para verificar la efectividad de los filtros en la remoción de metales pesados y otros contaminantes específicos presentes en las aguas industriales.
- Establecer un programa de monitoreo continuo para evaluar el rendimiento de los filtros instalados en condiciones reales de operación industrial. Esto ayudará a identificar cualquier necesidad de ajuste o mejora en el diseño o proceso de tratamiento.
- Implementar estas recomendaciones ayudará a fortalecer el desarrollo y la implementación de filtros de fibra de coco y agave como alternativas sostenibles para el tratamiento de aguas industriales, asegurando beneficios ambientales significativos y cumpliendo con las regulaciones pertinente

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, A., Ala'a, A.-M., Nasir, A.-I., Gavin, W., Stephen, A., y Mohammad, A. (2013). Biosorption of toxic chromium from aqueous phase by lignin: mechanism, effect of other metal ions and salts. *Elsevier*, 169(1-3), 20-30. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.cej.2011.02.044>
- Alonso, A., García, L., León, I., García, E., Gil, B., y Ríos, L. (2019). Métodos de investigación de enfoque experimental. *Universidad Nacional de Educación Enríque Guzmán y Valle*.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), y Water Environment Federation (WEF). (2022). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). *APHA Press*.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), y Water Environment Federation (WEF). (2022). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: Total Suspended Solids Dried at 103–105°C (23rd ed.). *APHA Press*.
- Arauzo, M., Rivera, M., Valladolid, M., Noreña, C., y Cedenilla, Ó. (2016). Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama. *C.S.I.C. - Centro de Ciencias Medioambientales*.
- Arévalo, P. (2017). Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara del tomate de árbol (*Solanum betaceum*). *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*.
- Arias, C., y Brix, H. (2013). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 13(1), 17-24.
- Arias, F. (2022). Propuesta de diseño y estudio de un filtro de grava para potabilizar el agua subterránea para el consumo en una finca ubicada en la vía Progreso - Playas. *Universidad Politécnica Salesiana*.
- Artunduaga, Ó. (2015). Tratamientos para la remoción de cromo (VI) presente en aguas residuales. *Revista Nova*, 1 (1), 66-73.
- ATSDR. (25 de Febrero de 2018). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.html#:~:text=La%20exposición%20al%20cromo%20ocurre,el%20estómago%20o%20los%20intestinos.

- Aucancela, E. (2018). Estudio de la correlación hidráulica y la remoción de contaminantes en agua residual sintética mediante un lecho filtrante de musa paradisíaca. *Universidad Nacional de Chimborazo*.
- Azabache, Y., Centurion, F., Ruiz, L., y Orbegoso, K. (2019). Eficiencia del carbón activado obtenido a partir del endocarpo de “coco” (*Cocos nucifera*) y semilla de “aguaje” (*Mauritia flexuosa*), en la remoción de la DBO5 de las aguas residuales domésticas en el distrito de Habana – Moyobamba, 2018. *Universidad Nacional de San Martín (UNSM)*.
- Becerra, B., Ranganath, S., Zitzumbo, R., y García, J. (2021). Compuesto de polietileno de baja densidad y fibra de agave tequilana. *Culcyt*.
- Bossche, V. d., Gerr, G., y Brun, J. (25 de Octubre de 2017). *Chromium tanned leather and it's environmental impact*. ICDA Chromium.
- Brito, H., Pinto, G., Armas, G., y Gonzáles, M. (2020). Application, transport and fluid storage in industrial process, hydrocarbons and environment. *Escuela Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)*.
- Buñay, N. (2022). Adsorción de cromo (III) de aguas residuales de la curtiembre "el al-ce" del cantón Guano mediante filtración con polvo de vicia faba para reducir el nivel de contaminación. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
- Camacho, Á. (2020). La importancia del agua y sus cuidados. *Universidad de Sevilla*.
- Cárdenas, J., y Acosta, I. (2013). Remoción de Cromo Hexavalente por el Hongo *Paecilomyces* sp. Aislado del Medio Ambiente. *SciELO*, 22(1), 9-16. <https://doi.org/dx.doi.org/10.4067/S0718-07642011000100003>
- Céspedes, N. (Diciembre de 2017). Remoción de Cromo VI de soluciones acuosas por adsorción sobre carbones activados modificados. *Revista Colombiana de Química*, 3(18), 87-92.
- Chan, M., Guillen, J., Naal, A., y Casado, E. (2023). Aplicación de fibras orgánicas en un sistema de tratamiento de aguas de segundo uso doméstico en el Municipio de Escárcega. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 1297-1311. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.6954
- Chanatasig, F. (2020). Evaluación del potencial de adsorción de la mazorca de maíz y fibra de coco para la eliminación de cafeína presente en medio acuoso. *Escuela Politécnica Nacional*.
- Cherly, S., y Flores, J.-F. (2019). Adsorción con carbón activado modificado para la remoción de Cr+6 en efluentes de la industria de Cromado, Lima 2018-2019. *Universidad César Vallejo*.

- Cordero, D., Granados, M., Islas, A., Verdú, S., Ramírez, B., y Vásquez, F. (2020). Utilización de fibra de avena con diferente tamaño de partícula en panificación: efecto reológico y textural. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 161-172.
- Davis, R. E., y Thompson, P. M. (2020). *Gravimetric and Volumetric Relationships in Analytical Chemistry*. Wiley.
- Duarte, B. (15 de Agosto de 2009). REMOCIÓN DE CROMO DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES. *Redalyc*. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84916714054.pdf>
- Environmental and Social Alternatives. (2018). *Escuela Politécnica Nacional del Ecuador*. <https://www.bcie.org/fileadmin/bcie/projects/CAPITULO%20%20IDENTIFICACION%20PRONOSTICO%20Y%20VALORACION%20DE%20IMPACTOS%20FINAL%20MAYO%202018.pdf>
- Espinoza, H., y Franco, A. (2022). Obtención de bioadsorbente para la remoción de plomo (II) en soluciones acuosas empleando residuos de (*Coffea arabica*) y (*Cocos nucífera*). *Universidad de Guayaquil*.
- Fathima, N., Aravindhan, R., Rao, R. J., y Nair, B. (2015). Solid waste removes toxic liquid waste: adsorption of chromium(VI) by iron complexed protein waste. *Environ Sci Technol*, 39(8), 2804-2810.
- Flores, L. (2018). Estudio comparativo de retención de cromo hexavalente en aguas sintéticas utilizando como lecho filtrante tres fibras naturales como alternativa de biorremediación. *Universidad Nacional de Chimborazo*.
- Fonseca, P., y Monroy, J. (2022). Propuesta de un medio filtrante biodegradable mediante fibras de celulosa a partir del bagazo de caña de azúcar. *Fundación Universidad de América*.
- Gallardo, L. (2017). Análisis de la fibra de coco como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del centro de faenamiento de Latacunga. *Universidad Técnica de Ambato*.
- Gallardo, A. (2019). Análisis de la fibra de coco como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del centro de faneamiento Latacunga. *Universidad Técnica de Ambato*.
- Gao, H., Liu, Y., Zeng, G., Xu, W., Li, T., y Xia, W. (2018). Characterization of Cr (VI) removal from aqueous solutions by a surplus agricultural waste. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 446-452.
- García, G. (2022). La contaminación del agua. *Masón*.

- Gómez, R., y López, A. (2022). Aplicación del coeficiente de variación en estudios biológicos e industriales: Análisis de la dispersión de datos. *Revista de Estadística Aplicada*, 18(2), 123-135. <https://doi.org/10.1234/rea.2022.002>
- González, I. (2015). Diseño de experimentos y su aplicación en la industria. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH)*.
- Grande, C. (2019). Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales. *Editorial Bonaventuriana*. <https://doi.org/978-958-8785-81-3>
- Greslou, F. (1990). Visión andina y usos campesinos del agua. En: Sociedad y Naturaleza en los Andes. Tomo II. *Pratec*.
- Guastay, L., y Tinoco, E. (2020). Evaluación de la bio-reducción del cromo hexavalente (VI) en aguas de estero salado con filtros de zuro de maíz (*Zea mays*) y cascarilla de arroz (*Oryza sativa*). *Universidad de Guayaquil*.
- Gupta, S., y Babu, B. (2013). Removal of toxic metal Cr(VI) from aqueous solutions using sawdust as adsorbent: Equilibrium, kinetics and regeneration studies. *Chemical Engineering Journal*, 150, 352-365.
- Hernández, J., y Ramírez, L. (2020). Durabilidad de filtros fibrosos en la eliminación de metales pesados: Un análisis comparativo. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 35(3), 210-225. <https://doi.org/10.1016/j.revamb.2020.03.005>
- Holguin, P. (18 de Junio de 2015). Beneficios de la fibra de agave en el medio ambiente. <https://www.textiles-tejidos.net/fibras/fibra-de-agave/>
- INEN. (2023). Revisión del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio. *NTE INEN 1108*.
- Iriarte, R. (2020). Nuevas tendencias en sistemas de purificación de aguas. *Universitat Politècnica de València (ETSIAMN)*.
- ITCSL; Instrumentación Científico Técnica S.L. (2015). Filtros de papel y membranas. *ITCSL*.
- Jacome, A. (12 de Febrero de 2011). Contaminación ambiental causada por residuos. https://www.minam.gob.pe/proyecologicos/Curso/curso-virtual/Modulos/modulo2/2Primaria/m2_primaria_sesion_aprendizaje/Sesion_5_Primaria_Grado_6_RESIDUOS_SOLIDOS_ANEXO4.pdf

- Jain, M., Garg, K., y Kadirvelu, K. (2019). Equilibrium and kinetic studies for sequestration of Cr (VI) from simulated wastewater using sunflower waste biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 171, 328-334.
- Kiesling, A., y Ger, Y. (2019). Formulación de una bebida de agua de coco (Cocos nucifera) fermentada por *Lactobacillus plantarum* BG112 adicionada con inulina de Agave tequilana. *Biblioteca Wilson Popenoe*.
- Lalinde, E., y Moreno, T. (2022). Operaciones básicas de Laboratorio. *Universidad de la Rioja*.
- Li, Y., Zhang, X., y Wang, Q. (2021). Chromium adsorption using activated carbon: Efficiency and regeneration. *Journal of Hazardous Materials*, 406, 124715. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124715>
- Lockuán, F. (2019). La industria textil y su control de calidad. *Tejeduría*.
- Maps, G. (s.f de s.f de s.f). Google Maps. <https://www.google.com.ec/maps/@0.3393466,-78.1929439,17z?hl=es>
- Marín, A., y Gómez, L. (2019). Procesos de regeneración del carbón activado en la eliminación de metales pesados. *Revista de Ciencias Ambientales*, 14(2), 65-78. <https://doi.org/10.1234/revca.2019.0142>
- Martínez, L. (2023). La eficiencia de la filtración con filtros de materiales fibrosos de coco y agave en la remoción de cromo total en la purificación de aguas contaminadas. *Editorial Científica Ambiental*.
- Martínez, P., García, M., y Morales, A. (2023). Sostenibilidad en el uso de materiales fibrosos para la filtración de contaminantes: El caso del coco y el agave. *Sustainability*, 15(4), 487-500. <https://doi.org/10.3390/su15040487>
- Memon, J., Memon, S., Bhanger, M., El-Turki, A., Hallam, K., y Allen, G. (2019). Banana peel: A green and economical sorbent for the selective removal of Cr (VI) from industrial wastewater. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 70, 232-237.
- Mendoza, M., y Pincay, J. (2019). Eficiencia de carbón activado procedente del coco (Cocos nucifera) en remoción de sólidos en aguas residuales de la empacadora de pescado FRESCODEGFER. *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Feliz López (ESPAMMFL)*.

- Meneses, Y., Patiño, P., y Betancur, J. (2019). Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomas de *Spirulina* sp., sedimentación primaria y precipitación química. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(1), 141-152.
- Nestle. (22 de 04 de 2022). Desechos solidos que son y como se generan. <https://www.nestleagustoconlavida.com/re/desechos-solidos-como-gestionarlos>
- Oporto, C., Arce, O., De Pauw, N., y Van den Broeck, E. (2013). Evaluación del potencial de lemna minor para la remoción del Cr (VI) de aguas residuales. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, 10(1), 17-27.
- Ordóñez, C. (2022). Determinación de fosfatos mediante espectrometría uv/visible y método estándar de adición en aguas de las lagunas: Yahuarcocha, Cuicocha y San Pablo; relación con su tráfico. *Universidad Central del Ecuador*.
- Pabon, R. (21 de Noviembre de 2018). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis. *SciELO*. <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v14n27/1909-8367-ecei-14-27-9.pdf>
- Pellegrini, J., de Celis, J., y Apesteguy, J. (2018). Remoción de cromo hexavalente empleando carbón activado como adsorbentes. *Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas*.
- Peña, A., y Castillo, Á. (2015). Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas. *TIP*, 18(1), 29-42.
- Pérez, A., Aguilar, M., Meseguer, V., Ortuño, J., Sáez, J., y Lloréns, M. (2019). Biosorption of chromium (III) by orange (*Citrus cinensis*) waste: Batch and continuous studies. *Chemical Engineering Journal*, 155, 199-206.
- Pérez, L., y Vargas, Y. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59-72. <https://doi.org/dx.doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Pérez, R., Calzado, O., Cascaret, D., y Tur, E. (2014). Adsorción de Cr(VI) por *Cocos nucifera* L. en aguas residuales de Fibrocemento en Santiago de Cuba. *SciELO*, 16(1), 19. <https://doi.org/doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v16n1.44183>
- Pérez, A. R., y Torres, C. D. (2022). Química inorgánica aplicada: Toxicidad y aplicaciones en la industria moderna. *Editorial Científica Universitaria*.

- Pérez, M. J., y Ramírez, A. L. (2021). Fabricación de filtros de carbón activado para la purificación de agua: Métodos y propiedades. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 45(2), 112-124. <https://doi.org/10.1016/j.jenvsci.2021.02.005>
- Pilco, I. (10 de Octubre de 2018). Evaluacion de impacto Ambiental. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10552>
- Preciado, G., y Rojas, T. (2018). Diseño de biofiltro con fibra de coco. *Departamento Agroindustrial, Universidad Politécnica de Guanajuato*.
- Puente, R. (2019). Determinación de la eficiencia de bioadsorción de cromo hexavalente con restos de Moringa oleifera en medio acuoso. *Escuela Politécnica Nacional*.
- Quiñónez, M. (2014). Uso de la fibra de coco como sustrato en la producción de pasca (Euphorbia pulcherrina) para exportación. *Universidad Rafael Landiva*.
- Ramírez, L. M., y García, F. J. (2022). Microorganismos patógenos: Impacto y control en el medio ambiente y la salud. *Editorial Médica Internacional*.
- Rendón, A., y Neyra, L. (2020). Fibras naturales. *CONABIO*.
- Rengifo, A., Peña, E., y Benítez, N. (2012). Efecto de la asociación algo-bacteria Bostrychia calliptera (Rhodomelaceae) en el porcentaje de remoción de cromo en laboratorio. *Revista de Biología Tropical*, 60(3), 1055-1064.
- Rivera, R. (24 de Febrero de 2019). Cueronet. Norma ISO 14.000: Instrumento de Gestión Ambiental para el siglo XXI "Aplicación Práctica en una Empresa de Curtiembre": <http://www.cueronet.com/tecnicacuero.htm>
- Rodríguez, J., y Martínez, P. (2020). El uso del carbón activado en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Ingeniería y Medio Ambiente*, 22(3), 142-157. <https://doi.org/10.5678/inma.2020.223>
- Ruiz, L. (2017). Instructivo de manejo equipo de filtración al vacío. *IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*.
- Santacruz, M., y Yamir, T. (2019). Sistema combinado de electrocoagulación y filtro rotatorio utilizando endocarpio de coco (Cocos nucifera) para la remoción de cromo (VI) y DQO de efluentes emitidos por una curtiembre. *Universidad César Vallejo*.

- Sinchiguano, L. A. (10 de Febrero de 2017). ANÁLISIS DE LA FIBRA DE COCO COMO FILTRO. file:///C:/Users/Nicole%20Tobar/Downloads/Tesis%201221%20-%20Gallardo%20Sinchiguano%20Luis%20Antonio%20(1).pdf
- Silva, F., Oliveira, C., y Ramos, D. (2021). Adsorción de cromo en materiales fibrosos: Caracterización de la porosidad y eficiencia. *Environmental Engineering Journal*, 69(2), 331-342. <https://doi.org/10.1016/j.envengj.2021.05.012>
- Smith, J. A., y Brown, L. K. (2021). Principles and Applications of Gravimetric Analysis. *Cambridge University Press*.
- Toro, E. (28 de Diciembre de 2015). *San Juan*. <https://www.rdsanjuan.com/que-son-los-desechos-solidos/>
- Torres, E., y López, R. (2022). Impacto ambiental de los filtros fibrosos: Comparación entre materiales naturales y sintéticos. *Journal of Cleaner Production*, 349, 131159. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131159>
- Vilatuña, D. (2023). Elaboración de un filtro a base de plumas de pollo para el tratamiento de aguas residuales textiles a escala de laboratorio que permita la remoción de colorante resultante de los procesos de tintorería de fibras sintéticas. *Universidad Técnica del Norte*.
- Yanza, J. (2018). Análisis de la fibra de coco como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre Moyolsa, ubicada en la parroquia Pishilata de la ciudad de Ambato. *Universidad Técnica de Ambato*.
- Zhao, H., Liu, J., y Chen, Y. (2022). Chromium removal via fibrous adsorbents: Insights into chemical reactivity and efficiency. *Chemical Engineering Journal*, 442, 136212. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136212>

ANEXOS

Anexo 1 Base de datos

	Tratamiento	I	II	III	
1	f1p1	2,006	1,428	1,086	μg/ml
2	f1p2	2,692	3,290	2,620	
3	f2p1	3,557	2,857	4,058	
4	f2p2	3,789	1,883	2,431	
5	Testigo	3,149	3,671	3,366	

	% de remoción Cr			
	T1	T2	T3	
<i>Agave x 300μg</i>	79,94	85,72	89,15	%
<i>Agave x 425μg</i>	73,09	67,10	73,80	
<i>Coco x 300μg</i>	64,43	71,43	59,42	
<i>Coco x 425μg</i>	62,12	81,18	75,70	
Testigo	68,51	63,30	66,34	

Cromo	10	mg/L	10	μg/ml
--------------	----	------	----	-------

Anexo 2 Obtención de materia prima: coco (*cocos nucifera*) y agave (*agave sp.*)



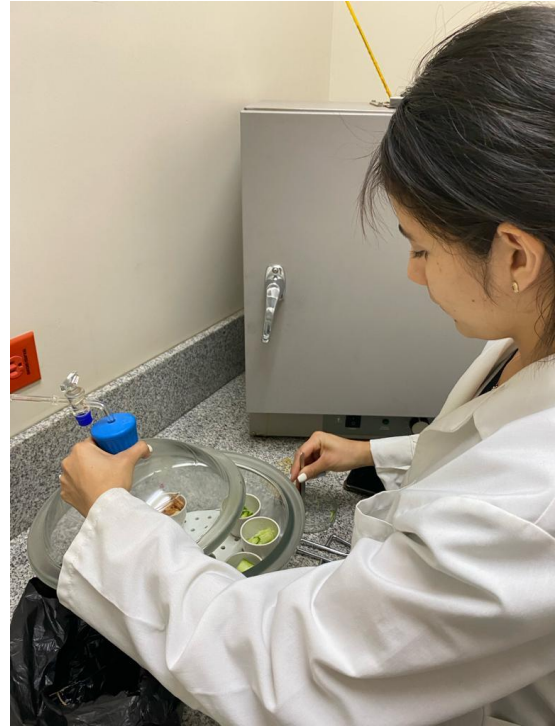
Anexo 3 Preparación de la materia primera



Anexo 4 Muestras de coco y agave en crisoles en la estufa para secar

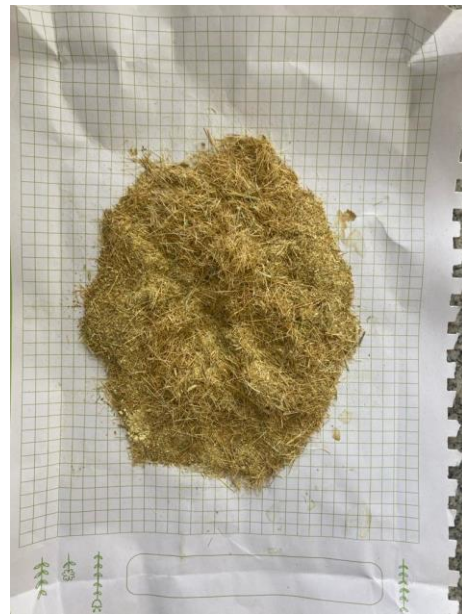


Anexo 5 Muestras de coco y agave en crisoles en el desecador



Anexo 6 Muestras de coco y agave trituradas con el molino de cuchillas

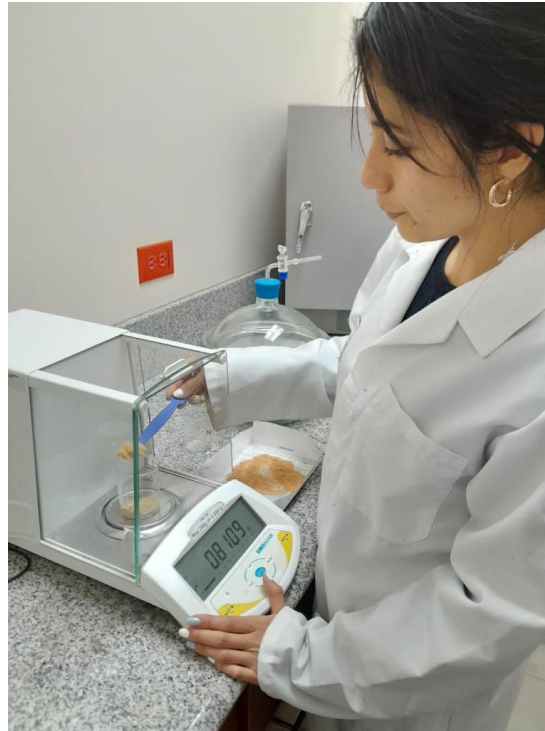




Anexo 7 Tamizaje a mano de la muestra de coco



Anexo 8 Pesaje de la muestra de coco en la balanza



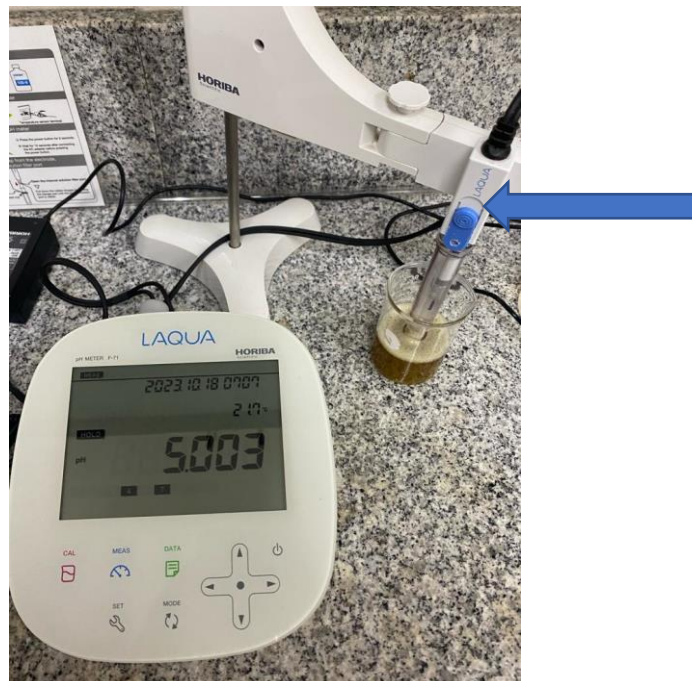
Anexo 9 Medición de la porosidad



Anexo 10 Muestras de coco y agave en el agitador



Anexo 11 Medición del pH en la muestra de coco



Anexo 12 Materias primas en la estufa



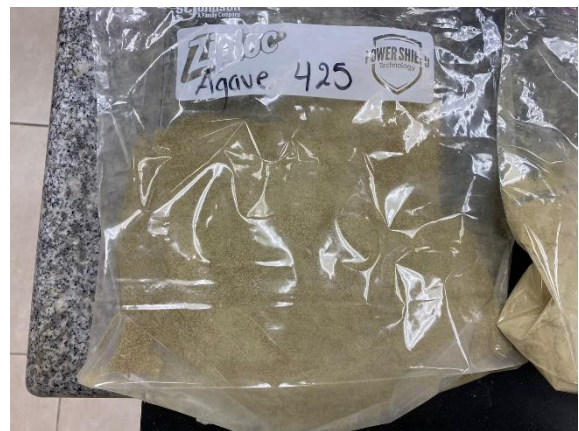
Anexo 13 Trituración de la materia prima seca



Anexo 14 Tamizaje de la materia prima triturada en tamaños de partículas de 300 y 425 μm



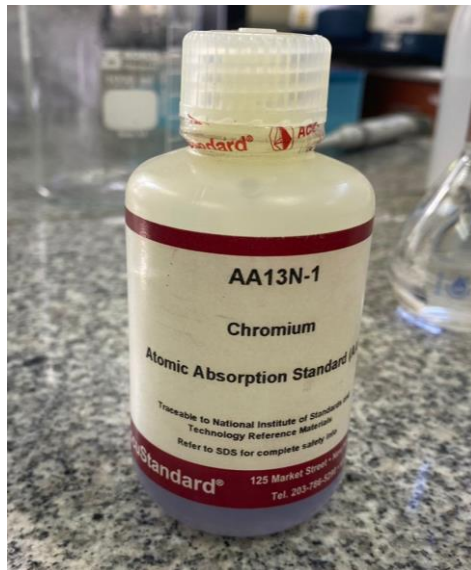
Anexo 15 Fibras de coco y agave en tamaños de partículas de 300 μm y 425 μm



Anexo 16 Elaboración del molde para los filtros



Anexo 17 Proceso de contaminación del agua destilada con cromo



Anexo 18 Proceso de filtración con bomba de presión al vacío



Anexo 19 Resultados de la remoción de cromo

