

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**EFICIENCIA DE BIOADSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO  
(*Theobroma cacao* L.) EN LA REMOCIÓN DE PLOMO Y ALUMINIO  
DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR”**

**AUTORES:**

**BRYAN ISIDRO CEDEÑO ZAMBRANO  
ARGENIS JAVIER VÁSQUEZ VERA**

**TUTOR:**

**ING. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS, Mgtr.**

**CALCETA, FEBRERO 2024**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

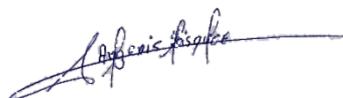
Bryan Isidro Cedeño Zambrano y Argenis Javier Vásquez Vera, con cédula de ciudadanía 131370038-5 y 131543577-4 respectivamente, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: EFICIENCIA DE BIOADSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA REMOCIÓN DE PLOMO Y ALUMINIO DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR” es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



---

**Bryan Isidro Cedeño Zambrano**  
C.C: 131370038-5

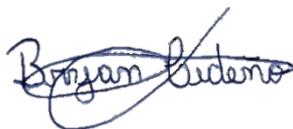


---

**Argenis Javier Vásquez Vera**  
C.C: 131543577-4

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Bryan Isidro Cedeño Zambrano y Argenis Javier Vásquez Vera, con cédula de ciudadanía 131370038-5 y 131543577-4 respectivamente, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Investigación Curricular titulado: EFICIENCIA DE BIOADSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA REMOCIÓN DE PLOMO Y ALUMINIO DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



---

**Bryan Isidro Cedeño Zambrano**  
C.C: 131370038-5



---

**Argenis Javier Vásquez Vera**  
C.C: 131543577-4

## **CERTIFICACIÓN DE TUTOR**

MG. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: EFICIENCIA DE BIOADSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA REMOCIÓN DE PLOMO Y ALUMINIO DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR”, que ha sido desarrollado por Bryan Isidro Cedeño Zambrano y Argenis Javier Vásquez Vera, previa a la obtención del título de Ingeniero Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López.

---

**ING. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS, Mgtr.**  
**C.C: 131317515-8**  
**TUTORA**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: EFICIENCIA DE BIOADSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA REMOCIÓN DE PLOMO Y ALUMINIO DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR”, que ha sido desarrollado, por Bryan Isidro Cedeño Zambrano y Argenis Javier Vásquez Vera, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental de acuerdo, al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. VERONICA M. VERA VILLAMIL, Mgtr.**  
**C.C: 131020148-6**  
**PRESIDENTA DEL TRIBUNAL**

---

**ING. CARLOS A. VILLAFUERTE VÉLEZ,**  
**Mgtr.**  
**C.C: 130760554-1**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

**ING. JOAN P. COBEÑA CEBALLOS, Ph. D.**  
**C.C: 130761288-5**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

A Dios por darme la fortaleza y salud para seguir adelante, a mis papas, la Sra. Carmen Zambrano y el Sr. Isidro Cedeño por siempre apoyarme incondicionalmente tanto económicamente como emocionalmente, a mi hermana la Sra. Josselyn Cedeño por estar siempre presente, a mi abuelita la Sra. Targelia Valencia (†) por su apoyo incondicional hasta el último día de su vida, a mi familia por siempre darme buenos consejos e inspirarme a superarme día a día, a la Ing. Holanda Teresa Vivas Saltos por acogerme como su tutorado y apoyarme durante todo el proceso de titulación, al Ing. Fabián Peñarrieta por su apoyo y consejos en el desarrollo de la investigación, a mi compañera y gran amiga Jamilex Hernández por su apoyo incondicional en todo momento.

**Bryan Isidro Cedeño Zambrano**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me brindó la oportunidad de crecer como un profesional a través de una educación superior de calidad, en el cual he forjado mis conocimientos profesionales.

Todo el trabajo realizado fue posible gracias al apoyo incondicional de mi madre, abuela y novia, que estuvieron a mi lado en los momentos difíciles.

Agradezco a nuestra tutora del proyecto de Integración Curricular, la Ing. Holanda Teresa Vivas Saltos y al Ing. Fabián Peñarrieta por su guía, comprensión, paciencia, entrega y valiosos consejos a lo largo del proceso de investigación.

**Argenis Javier Vásquez Vera**

## **DEDICATORIA**

Dedico con todo mi corazón este trabajo de Integración Curricular a mi madre y a mi padre, pues con su amor, sus bendiciones, sus consejos y aliento en todos los momentos de mi vida han hecho posible mi titulación; me es satisfactorio y me enorgullece dedicarles este trabajo con el cual los tres juntos hemos luchado para sacarlo adelante, gracias por todo papás.

**Bryan Isidro Cedeño Zambrano**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mi madre y abuela, porque todo lo que soy se lo debo a ellas y por inculcar en mí la importancia de estudiar la importancia de ser un buen profesional, el apoyo incondicional en todo momento, ellas me inspiran para finalizar este proyecto.

**Argenis Javier Vásquez Vera**

## CONTENIDO GENERAL

CARÁTULA .....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
CONTENIDO GENERAL.....	x
CONTENIDO DE TABLAS .....	xiv
CONTENIDO DE FIGURAS .....	xv
CONTENIDO DE GRÁFICOS Y FÓRMULAS .....	xv
RESUMEN .....	xvi
PALABRAS CLAVE.....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.4. HIPÓTESIS.....	4

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. CACAO ( <i>THEOBROMA CACAO L.</i> ) .....	5
2.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL CACAO .....	5
2.1.2. CÁSCARA DE CACAO .....	5
2.1.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA CÁSCARA DE CACAO .....	6
2.1.4. APROVECHAMIENTO AMBIENTAL DE LA CÁSCARA DE CACAO ...	7
2.1.5. CÁSCARA DE CACAO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	8
2.1.6. ESTUDIOS EXISTENTES SOBRE BIOADSORCIÓN UTILIZANDO CÁSCARA DE CACAO .....	9
2.2 AGUAS RESIDUALES .....	9
2.2.1 CONTAMINACIÓN POR AGUAS RESIDUALES .....	9
2.2.2 AGUAS RESIDUALES DE LUBRICADORAS .....	11
2.2.3. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES .....	12
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	14
3.1 UBICACIÓN .....	14
3.2 DURACIÓN .....	14
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	15
3.4 MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	15
3.4.1 MÉTODO ANALÍTICO SINTÉTICO .....	15
3.4.2 MÉTODO INDUCTIVO .....	15

3.4.3 MÉTODO DEDUCTIVO .....	16
3.4.4 TÉCNICA DE MUESTREO .....	16
3.4.5 TÉCNICA DE TAMIZADO .....	16
3.4.6 FACTOR DE ESTUDIO.....	16
3.5 NIVELES.....	17
3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	17
3.7 UNIDAD EXPERIMENTAL .....	18
3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	19
3.9 VARIABLES DE ESTUDIO .....	19
3.9.1 VARIABLE INDEPENDIENTE .....	19
3.9.2 VARIABLE DEPENDIENTE .....	19
3.10 MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	20
3.10.1 FASE 1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR” .....	21
3.10.2 FASE 2 ESTABLECIMIENTO DE LOS TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA RESIDUAL DE LUBRICADORA “LA SIN PAR” A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO .....	22
3.10.3 FASE 3 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BIOADSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO.....	23
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR” .....	24

4.2 ESTABLECIMIENTO DE LOS TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y ALUMINIO EN EL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR” A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO .....	25
4.3 EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE METALES DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR” .....	26
4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	32
4.5 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS .....	35
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	36
5.1 CONCLUSIONES .....	36
5.2 RECOMENDACIONES.....	36
BIBLIOGRAFÍA .....	37
ANEXOS .....	46

## CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Caracterización de la cáscara de cacao. ....	6
<b>Tabla 2.2.</b> Caracterización de aguas residuales en lubricadoras.....	11
<b>Tabla 3.1.</b> Niveles y factores de estudio. ....	17
<b>Tabla 3.2.</b> Planteamiento del diseño experimental con las variables y niveles determinados.....	17
<b>Tabla 3.3.</b> Fuente de variación.....	19
<b>Tabla 4.1.</b> Resultados de la caracterización de metales pesados sin tratamiento. ....	24
<b>Tabla 4.2.</b> Resultados de plomo y aluminio en los tratamientos. ....	25
<b>Tabla 4.3.</b> Resultados de porcentajes de remoción de plomo por tratamiento. ...	26
<b>Tabla 4.4.</b> Comparación de resultados con los límites permisibles del TULSMA. 29	
<b>Tabla 4.5</b> Resultados de remoción de aluminio por tratamiento. ....	30
<b>Tabla 4.6.</b> Comparación de resultados con los límites permisibles del TULSMA. 32	
<b>Tabla 4.7.</b> Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de interacción entre el factor A y B para plomo. ....	33
<b>Tabla 4.8.</b> Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de interacción entre el factor A y B para aluminio. ....	34

## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b> Mapa de ubicación de la Lubricadora “La Sin Par”.....	14
<b>Figura 3.2.</b> Construcción de sistema de bioadsorción. ....	18
<b>Figura 3.3.</b> Fases de la investigación. ....	20

## CONTENIDO DE GRÁFICOS Y FÓRMULAS

<b>Gráfico 4.1.</b> Porcentaje de remoción de plomo por tratamiento. ....	28
<b>Gráfico 4.2.</b> Porcentaje de remoción de aluminio por tratamiento.....	31
<b>Gráfico 4.3.</b> Pruebas múltiples de media entre tratamientos.....	33
<b>Gráfico 4.4.</b> Pruebas múltiples de media entre tratamientos.....	34
<b>Ecuación 3.1.</b> Cálculo de porcentaje de remoción. ....	23

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de bioadsorción de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la remoción de plomo y aluminio en las aguas residuales provenientes de la lubricadora de autos “La Sin Par”. Para llevar a cabo el estudio se utilizó 400 g de cáscara de cacao como materia elemental, la cual se sometió a un proceso de deshidratación, molienda y tamizado; obteniendo harina de cáscara de cacao en diámetros de 850  $\mu\text{m}$  y 1 mm. Inicialmente se realizó la caracterización del agua residual donde se obtuvo una concentración de plomo de 0.017 ppm y aluminio un valor de 1.016 ppm. El esquema experimental utilizado fue un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial de  $2^2$ , donde se aplicaron cuatro tratamientos y tres repeticiones, obteniendo un total de 12 unidades experimentales a las que se combinó el diámetro de partículas (850  $\mu\text{m}$  y 1 mm) y cantidad de cáscara de cacao (10 y 15 g), se ajustó el pH del agua residual a 4 y un tiempo de contacto del material con el agua residual de 6 h. Los resultados obtenidos demostraron la remoción de plomo y aluminio en todos los tratamientos. Sin embargo, el tratamiento T2 (15 g de harina de cacao de 850  $\mu\text{m}$ ) presentó mejores características de bioadsorción en ambos metales, con un 94.12% de remoción en plomo y un 46.49% para aluminio.

## PALABRAS CLAVE

Bioadsorción, aluminio, plomo, contaminación.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the bioadsorption efficiency of cocoa shell (*Theobroma cacao L.*) in the removal of lead and aluminum in wastewater from the "La Sin Par" car lubricant. To carry out the study, 400 g of cocoa shell was used as elemental material, which was subjected to a dehydration, grinding and sieving process; obtaining cocoa shell flour in diameters of 850  $\mu\text{m}$  and 1 mm. Initially, the characterization of the wastewater was carried out where a lead concentration of 0.017 ppm and aluminum a value of 1.016 ppm was obtained. The experimental scheme used was a Completely Randomized Design (DCA) with a factorial arrangement of  $2^2$ , where four treatments and three repetitions were applied, obtaining a total of 12 experimental units to which the particle diameter (850  $\mu\text{m}$ ) was combined and 1 mm) and amount of cocoa shell (10 and 15 g), the pH of the residual water was adjusted to 4 and a contact time of the material with the residual water of 6 h. The results obtained demonstrated the removal of lead and aluminum in all treatments. However, treatment T2 (15 g of 850  $\mu\text{m}$  cocoa flour) presented better bioadsorption characteristics in both metals, with 94.12% removal for lead and 46.49% for aluminum.

## KEY WORDS

Bioadsorption, aluminum, lead, pollution.

# **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

## **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El agua residual de lubricadoras constituye un peligro y cuya gestión inadecuada puede provocar daños graves al medio ambiente, siendo este un problema crítico a nivel mundial debido al progreso tecnológico y el acelerado crecimiento demográfico (Govea y Delgado, 2019). Por otra parte, en el mundo se utilizan alrededor de 30.000 millones de toneladas de crudo de petróleo y para el sector vehicular se utilizan de 38 a 40 millones de toneladas las cuales son destinadas a aceites lubricantes de automotores y otros usos industriales (Guilcamaigua et al., 2019 Pág. 16).

Teniendo presente que las principales sustancias químicas son consideradas potencialmente tóxicas, estas se encuentran presentes en los desfogues acuosos de las lubricadoras; en este sentido, los efectos provocados por los metales contenidos en estas aguas, se evidencian en diversos ámbitos como el ambiental, social y de salud pública. Entre los contaminantes presentes en las aguas residuales vertidas por las lubricadoras se encuentra el plomo, cadmio, cromo y zinc (Sánchez, 2018, pág. 1).

En esta línea, en Ecuador la mayor parte de instalaciones que funcionan como negocios de lubricadoras y lavadoras de autos no realizan un manejo adecuado en el tratamiento de las aguas contaminadas que se generan en él, al prestar servicios en estos establecimientos, provocando severos daños a las redes de alcantarillado urbano (Guilcamaigua et al., 2019, pág. 16). Como lo manifiesta Morales (2018) “Las lavadoras y lubricadoras de autos generan efluentes con aceites y grasas; las concentraciones oscilan desde 300 mg/L hasta 600 mg/L” (pág. 171).

Asimismo, en Manabí existe un incremento de la cantidad de negocios de lubricadoras de vehículo tanto en zonas rurales y urbanas, se sigue vertiendo las aguas residuales en las redes de alcantarillado de las ciudades, cuyo destino son los cuerpos de agua y zonas abiertas aledañas a las locaciones de los habitantes

de la zona. Donde actualmente es muy común observar enfermedades relacionadas con las toxinas de los desechos contaminantes (Escalona, 2014).

En Calceta, ciudad cabecera del cantón Bolívar perteneciente a Manabí, se presenta el problema detallado anteriormente. De acuerdo con López y Pincay (2020) "Los efluentes de aguas residuales pasan por un sistema de captación de grasa para luego ser desechadas en el alcantarillado público sin considerar la vigente normativa ambiental".

Se considera que los desechos generados por las lubricadoras como aceites y grasas a los que se adhiere detergente incrementan la concentración de elementos tóxicos para el medio ambiente, tales como el cobre, el plomo, cadmio e incluso arsénico, entre otros. Actualmente se están investigando variedades de métodos para disminuir las concentraciones de elementos tóxicos en los efluentes de aguas residuales, tales como los métodos químicos y convencionales, siendo en este último los que destacan la oxidación (mediante éter etílico) y la reducción mediante tensioactivos (Carcavallo, 2021, pág. 47).

Actualmente existen alternativas más simples, económicas y eficientes para absorber y remover los contaminantes en el agua, entre ellas las más novedosas son las unidades absorción (López y Pincay, 2020). La eficacia de estas depende de las propiedades del material absorbente que reduce la biodisponibilidad del contaminante (Oggero, et al., 2021, pág. 104).

Por lo expuesto la cáscara de cacao al ser un desecho agrícola que posee contenido celulósico, presenta la capacidad de absorber metales u otros contaminantes, siendo eficiente a la hora de remover iones de plomo y otros metales pesados; esto se debe a sus moléculas ligninas que tienen gran afinidad con los iones metálicos, por lo que puede ser utilizada en la absorción de metales pesados como el plomo, cadmio, níquel y zinc, en el tratamiento de aguas residuales (Pérez et al., 2020).

Con base a lo detallado anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la eficiencia de bioadsorción de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) para la remoción de contaminantes en aguas residuales de lubricadoras?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, es notable la necesidad de superar los problemas de contaminación en los recursos hídricos en las ciudades, principalmente la contaminación de las fuentes hídricas que atraviesan las mismas. Estas son contaminadas día a día, a través de los efluentes residuales producto de las actividades domésticas industriales de la población, como lo son las realizadas por empresas lubricadoras ubicadas en el centro y en las afueras de las ciudades (Barros y Salazar, 2016, pág. 43).

Desde la base legal y ambiental, la presente investigación cumple con la normativa constitucional vigente en materia de derecho ambiental, estipula que es prioritario respetar el medio ambiente. En este sentido, el proyecto se enmarca en el objetivo décimo segundo que corresponde al eje ambiental plasmado en el Plan de Desarrollo Nacional 2021-2025, diseñado por la Secretaría de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). Por medio de este trabajo de investigación, se busca aprovechar los beneficios que otorgan las propiedades de la cáscara de cacao, como unidades de bioadsorción, en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales de lubricadoras.

De acuerdo a lo mencionado por Sánchez (2018) se desprende que la cáscara de cacao es un residuo capaz de absorber elementos tóxicos como el plomo, arsénico, antimonio, entre otros; esta característica se debe a la composición dada por ejemplo por el oxígeno, potasio y carbono, otorgándole una capacidad de adsorción de metales pesados superior al promedio de otros biorresiduos.

Ecuador es uno de los principales exportadores de cacao, generando abundante desecho de cáscara de cacao. Estos materiales pueden ser usados como en la alimentación humana ya que presenta grandes cantidades de fibra dietética, proteínas y polifenoles, además de ser usadas como bioadsorbentes gracias a su capacidad absorber ciertos metales, siendo factible su aplicación por su bajo costo.

En este sentido, se busca ofrecer una alternativa para aprovechar el residuo de la cáscara de cacao y de ese modo promover la sostenibilidad ambiental, permitiendo conocer su efectividad en el mejoramiento de la calidad de agua residual proveniente de las lubricadoras, debido a su viabilidad económica y estudios que respaldan los beneficios de su uso como bioadsorbentes.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia de la bioadsorción de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) para la remoción de metales pesados en el agua residual de la lubricadora “La Sin Par”

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el agua residual de la lubricadora “La Sin Par”
- Establecer los tratamientos para la remoción de metales pesados en agua residual de lubricadora “La Sin Par” a partir de la cáscara de cacao
- Evaluar la eficiencia de bioadsorción de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*)

### **1.4. HIPÓTESIS**

#### **1.4.1. HIPÓTESIS NULA**

Ninguno de los tratamientos de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) mostrará eficiencia en la remoción de metales pesados en aguas de la lubricadora “La Sin Par”

#### **1.4.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA**

Al menos uno de los tratamientos de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) mostrará eficiencia en la remoción de metales pesados en aguas de la lubricadora “La Sin Par”.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. CACAO (*THEOBROMA CACAO L.*)**

#### **2.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL CACAO**

El cacao se originó en regiones tropicales, por lo tanto, su cultivo prospera mejor en áreas con una temperatura promedio anual que oscila alrededor de los 21°C y los 28°C. Los rangos óptimos de temperatura, se dan entre los 23°C a 24°C, sin embargo, temperaturas extremas menores a los 20°C y superiores a los 30°C influyen negativamente en el cultivo, provocando desórdenes fisiológicos en el árbol. En áreas donde la temperatura máxima se acerca a los 30°C, se requiere resguardar la plantación con sombra, ya que la temperatura influye en el proceso de formación de flores, especialmente cuando desciende por debajo de los 21°C, la floración es menor; cuando alcanza los 25°C, la floración es normal y abundante (Barros y Salazar, 2016, pág. 11).

Actualmente, la continua contaminación de las aguas superficiales por la actividad humana, ha llevado a realizar una diversidad de investigaciones que han referido resultados satisfactorios del uso del carbón activado obtenido a partir de la cáscara de cacao como un recurso de gran interés y aplicabilidad en los procesos para depurar y desodorizar contaminantes presentes en el agua (Macías, 2021, pág. 7).

#### **2.1.2. CÁSCARA DE CACAO**

La cáscara de cacao se suele ver como un subproducto o residuo abundante de la industria del cacao, ya que se considera un trabajo agrícola con una importante cantidad de celulosa, esta característica le otorga la capacidad para atrapar contaminantes en soluciones acuosas, lo que la convierte en un eficiente agente adsorbente. Diversas investigaciones de sus propiedades mencionan las cualidades como su capacidad de absorción y retención de agua, como por ejemplo, la alta concentración de grupos OH está principalmente vinculada a la existencia de celulosas y ligninas, además, posee una destacada capacidad biodegradabilidad (Freire, 2018).

En estudios realizados se comprobó que la cáscara de cacao presenta una buena capacidad de adsorción de iones Pb (II) en agua sintética, estas lograron remover porcentajes de 91.32% de plomo divalente y 87.80% para el Cadmio, manteniendo la densidad del lecho constante en un valor de 0.0365 g/cm<sup>3</sup> (Lara, et al., 2016, pág. 122).

La cáscara del cacao contiene una abundante cantidad de fibra, que se puede emplear como un agente adsorbente para capturar metales pesados, especialmente cuando se ajusta un tamaño específicamente para el proceso de adsorción, posee una porosidad en el lecho adsorbente, característica muy similar a la del carbón activado (Moya, 2018, pág. 39).

### 2.1.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA CÁSCARA DE CACAO

Dentro de las características fisicoquímicas de la cáscara de cacao, se ha comprobado que esta funciona muy bien como adsorbente para la eliminación de contaminantes en aguas residuales. Generalmente poseen grandes cantidades de lignina y celulosa y también otros grupos funcionales polares de la lignina como alcoholes, aldehídos, etc.

**Tabla 2.1.** Caracterización de la cáscara de cacao.

Parámetros	Nacional	CCN-51
	Media / DS	Media / DS
Humedad (%)	8.74 / 0.05	6.43 / 0.05
Cenizas (%)	5.54 / 0.11	5.54 / 0.11
Fibra dietética (%)	41.96 / 0.85	40.14 / 0.23
Grasa (%)	2.25 / 0.18	1.56 / 0.27
Proteínas (%)	8.75 / 0.49	8.48 / 0.59
Carbohidratos (%)	35.24 / 0.11	26.38 / 0.13
Acidez (%)	0.14 / 0.05	0.11 / 0.02

**Fuente.** Adaptado de Vivanco et al. (2018).

A partir de las cáscaras de cacao se pueden obtener pectinas con características químicas que podrían ser de interés para uso industrial, sin embargo, es necesario optimizar los parámetros de extracción para aumentar el rendimiento. Los niveles de pH y temperatura de extracción utilizados influyen significativamente en las características químicas de las pectinas de cáscaras de cacao y a pH 4 y temperatura de 90°C se extrae la pectina de mejor calidad (Barazarte et al., 2008).

La investigación realizada por Vivanco et al. (2018) demostró la existencia de azúcares reductores, compuestos fenólicos, flavonoides y una capacidad para neutralizar el radical libre 2,2-difenil-1-picril hidrazilo (DPPH). Adicionalmente, se cuantificó la presencia de teobromina 0.61 % en Nacional y 0.71 % en CCN-51, así como el porcentaje de vitamina C 0.04 mg/100 g y 0.03 mg/100 g para la cascarilla de Cacao Nacional y CCN-51, respectivamente; se encontraron niveles más altos de compuestos fenólicos con una concentración mayor en la variedad CCN-51 (2028 mg EAG/100 g) en comparación con el Cacao Nacional (1020 mg EAG /100 g), no obstante, la actividad secuestradora del radical libre (DPPH), resultó ser ligeramente inferior en la variedad CCN-51 (73.82 %); Nacional (87.28%).

#### **2.1.4. APROVECHAMIENTO AMBIENTAL DE LA CÁSCARA DE CACAO**

La producción de cacao genera biomasa en forma de desechos, específicamente las cáscaras de las mazorcas de cacao, mismas que pueden aprovecharse como fuente de energía, alimentación de animales, materia prima de biodigestores o en la remediación de suelos y fuentes acuíferas contaminadas con metales pesados, mediante su transformación en Biochar y posterior utilización en suelos o aguas (Escalante et al., 2016).

El carbón activado obtenido a partir de cáscara de cacao mediante activación química con ácido ortofosfórico ejerce notable influencia en la disminución de los elementos presentes en el agua contaminadas lo cual constituye una forma de aprovechamiento y remediación ambiental (Macías, 2021, pág. 69).

Los desechos agrícolas, particularmente los que provienen de la cáscara de cacao, muestran capacidad de adsorción de metales y otros contaminantes. Los residuos

agrícolas consisten principalmente en lignina y celulosa, y también pueden contener otros componentes polares de la lignina, como alcoholes, aldehídos, fenoles y otros grupos químicos. Los metales pesados donan un par de electrones a estos grupos funcionales para formar complejos con los iones metálicos en solución, permitiendo el proceso de adsorción (Pagnanelli et al., 2003).

### **2.1.5. CÁSCARA DE CACAO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

La cáscara del cacao contiene una elevada concentración de fibra, que incluye (celulosa, hemicelulosa, pectinas), junto con lignina. La fibra ha sido el factor más importante en el proceso de adsorción de metales pesados, siendo los mecanismos para la captación de los iones metálicos, muy variados y dependientes, en el caso del metal de interés, es necesario la experimentación con bioadsorbentes que incluyan la fibra, ya que estos materiales son una opción económica tanto en términos de implementación como en mantenimiento, esto en relación a los tratamientos tradicionales de recuperación de metales pesados en efluentes acuosos (Moya, 2018, pág. 16).

La cáscara de cacao se considera como un subproducto en la cadena de producción agrícola del cacao, y en la industria cacaotera, solo se obtiene un beneficio económico de la semilla, que constituye aproximadamente un 10% del peso del fruto fresco, desechándose el otro 90%. La labor de remediación ambiental consiste en utilizar la cáscara de la mazorca de cacao para desarrollar un material adsorbente, mediante un tratamiento termoquímico de la cáscara. Con el adsorbente obtenido, se fabrican filtros para aguas contaminadas, como un sistema de tratamiento terciario de aguas (Sánchez, 2014, pág. 2).

Utilizar el carbón activado obtenido a partir de cáscara de cacao para absorber mejor los elementos contaminantes en aguas residuales. Para tal efecto, se recomienda utilizar el filtro compuesto con algodón, grava gruesa, grava fina, arena gruesa y carbón activado en zonas urbano marginales, ya que mantienen mejores resultados con materiales accesibles y de bajo costo (Macías, 2021, pág. 70).

## **2.1.6. ESTUDIOS EXISTENTES SOBRE BIOADSORCIÓN UTILIZANDO CÁSCARA DE CACAO**

Una de las principales características que evidencia la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L*) es capaz de remover la turbiedad y sólidos suspendidos en las aguas contaminadas del río Chillón como coagulante natural. Se concluye que la concentración de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) como coagulante natural es un coagulante biodegradable, están fácilmente disponibles y remueve la turbiedad y sólidos suspendidos (Daviran, 2021, pág. 69).

En este apartado se hace una revisión de diversos estudios relacionados con la temática de la investigación y tiene como finalidad orientar la misma en función de los objetivos planteados. En este sentido, en la investigación realizada por Moya y Maya (2018) se señala los siguientes resultados:

- Los análisis de laboratorio de agua cruda o agua sin filtrar de aceites y grasas fueron de 287.14 mg/lit, es visible la reducción del valor de este parámetro en un 10% aproximadamente, pero aun así no se encuentran estos resultados bajo el límite de descarga permitido.
- El Biofiltro de cáscara de cacao cumplió con su objetivo la reducción de los parámetros planteados concluyendo con eficiencias promedio de (86.70% en la DBO5, 85.27% en la DQO y 33.54% en aceites y grasas), indicador positivo para seguir con investigaciones de este material filtrante.
- La cáscara de cacao ayudó a disminuir la contaminación, puesto que a lo largo de los 90 días de prueba se redujo los parámetros considerablemente además que se obtuvo con esta filtración un promedio de índice de Biodegradabilidad de 0.47 lo que indica que el vertido es totalmente orgánico y puede ser utilizada en tratamientos primarios posteriores (pág. 26).

## **2.2 AGUAS RESIDUALES**

### **2.2.1 CONTAMINACIÓN POR AGUAS RESIDUALES**

La contaminación de las fuentes del recurso hídrico se está dando de manera creciente por las distintas actividades económicas, como es el caso las lubricadoras siendo una actividad que viene abordando conflictos socio ambientales en relación al recurso hídrico que es derivado al consumo humano. Esta situación se ha intensificado por una falta de control de las autoridades evidenciando un inadecuado manejo ambiental (Morales, 2018, p. 1).

Reynolds (2007) menciona que:

Las aguas residuales se componen de dos elementos principales; un flujo líquido y una fracción sólida, denominada lodo. Por lo general se emplean dos enfoques fundamentales para el tratamiento de las aguas residuales, una de ellas consiste en utilizar la población bacteriana para degradar la materia orgánica, requiere el abastecimiento de oxígeno a los microbios de las aguas residuales para realizar su metabolismo y el otro método consiste en la decantación de los sólidos, para después tratar la corriente superficial con químicos. Los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales incluyen pretratamiento, remoción física de sedimentos grandes, deposición primaria (sedimentación por gravedad), tratamiento secundario (digestión biológica) y tratamiento terciario o tratamientos químicos (pág. 4).

Según Rojas (2002) considera que la composición de los residuos de las aguas residuales en sus diversos constituyentes tiene los siguientes porcentajes:

- Materia orgánica 50% mineral 50%
- Materia sedimentable 20%, no sedimentable 80%
- Materia sedimentable orgánica 67%, mineral 33%
- Materia no sedimentable orgánica 50%, mineral 50% (pág. 6).

En la publicación realizada por Rojas (2002) se señala que los principales contaminantes que contiene el agua residual y que pueden estar disueltos o suspendidos, se agrupan en:

- Materia orgánica con niveles variables de capacidad para descomponerse de forma natural.
- Compuestos nitrogenados de origen orgánico o mineral.
- Compuestos fosforados de origen mineral.
- Microorganismos compuestos por organismos saprófitos y patógenos tales como helmintos, protozoos, bacterias y virus (pág. 6).

## 2.2.2 AGUAS RESIDUALES DE LUBRICADORAS

Las aguas residuales son aquellas que, debido a la actividad antropogénica, constituyen una amenaza y deben ser eliminadas debido a su alto contenido de sustancias y microorganismos. Proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos (Espigares y Pérez, 2005, pág. 2).

Por otra parte, las aguas residuales tienen una composición variada, derivadas de las descargas de usos industriales y/o de otra índole; que requieren de un tratamiento adecuado antes de verterla a un sistema de alcantarillado o cuerpo receptor (Paredes y Torres, 2018, pág. 8).

**Tabla 2.2.** Caracterización de aguas residuales en lubricadoras.

Detalle	Unidad	Análisis	Límites aceptables
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg.l-1	<80	250.0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg.l-1	751.32	500.0
Aceites y Grasas	mg.l-1	04.00	70
Ph		7.20	6-9
Tensoactivos	mg.l-1	5.78	2.0
Hidrocarburos totales de Petróleo (TPH)	mg.l-1	38.30*	20.0
Sólidos totales	mg.l-1	244.30	1600.0
Cloro Activo	mg.l-1	0.01	0.5
Cromo Hexavalente	mg.l-1	<0.05	0.5
Cadmio	mg.l-1	<0.01	0.02
Sulfatos	mg.l-1	76.00	400.0

Detalle	Unidad	Análisis	Límites aceptables
Plomo	mg.l-1	<0.40	0.5
Zinc	mg.l-1	0.31	10.0
Aluminio	mg.l-1	1.20	5.0

**Fuente.** Adaptado de caracterización de aguas residuales en lubricadoras.

Los resultados del análisis muestran que se incumplen con los parámetros de DQO, aceites y grasas, tensoactivos y TPH (Tabla 1). Estos elementos son comunes en los efluentes residuales de este tipo de industria, debido a que en sus operaciones tecnológicas como: lavado, cambio de aceite, engrasado y, abrillantado, se utilizan como materias primas fundamentales en agua, aceites, lubricantes y detergentes. Además, los lubricantes presentan aditivos para mejorar sus propiedades, aplicando de un 15 % - 25 % que implica una composición adicional de polímeros, como son: Polimetacrilato, Copolímeros de Hidrocarburos Etilénicos, derivados de isopreno, de isopreno - estireno hidrogenado, Alquil Aril-sulfonato, Alquil fenato, alquilo salicilato, entre otros (Albarracín, 2006).

### 2.2.3. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

En general, las aguas residuales se constituyen por dos componentes, un efluente líquido y un constituyente sólido, conocido como lodo. Al día de hoy existen dos formas generales de tratar las aguas residuales, siendo el método más consistente el de utilizar la población bacteriana para degradar la materia orgánica. Este método, conocido como tratamiento de lodos activados, requiere el abastecimiento de oxígeno a los microbios de las aguas residuales para realzar su metabolismo (Reynolds, 2007).

Existen tres categorías para realizar procesos biotecnológicos para el tratamiento de aguas residuales que contengan metales tóxicos como son: La captación, adsorción y precipitación mediante biopolímeros purificados. Las eliminaciones de los metales pesados por procesos biológicos son de menor costo y altamente eficientes (Soto, 2019, pág. 28).

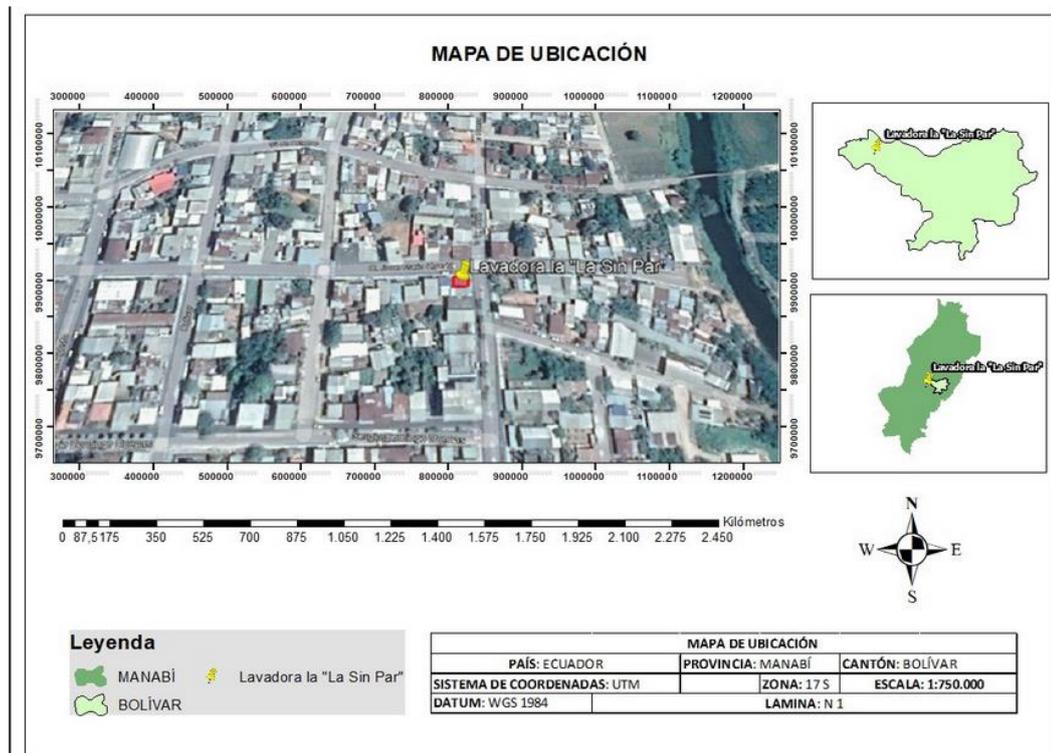
El tratamiento de agua residual se realiza mediante tres fases, se inicia con una separación física de los sólidos que están en las aguas usadas, seguidamente la utilización de desarenadores y sedimentadores, para la eliminación de metales disueltos y finaliza en la utilización de reacciones de precipitación. El siguiente tratamiento es el biológico, separando y removiendo la materia biológica disuelta en el agua mediante la utilización de ciertos tipos de bacterias, una vez realizado esto se efectúa un proceso de sedimentación secundario, finalmente se realiza un proceso adicional que comprende desinfección y filtración (Morán y Guerrero, 2022, pág. 925

# CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

## 3.1 UBICACIÓN

La investigación se desarrolló en la ciudad de Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí, a una latitud de  $-0.842875$  y una longitud de  $-80.163534$ , a una altitud de 18 m.s.n.m.

Figura 3.1. Mapa de ubicación de la Lavadora "La Sin Par".



*Fuente.* Elaboración propia.

## 3.2 DURACIÓN

La investigación tuvo un tiempo estimado de 9 meses a partir de su aprobación, lapso en el cual se llevó a cabo las actividades correspondientes a los objetivos planteados.

### **3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación fue del tipo experimental y pretendió buscar respuestas sobre la problemática planteada, buscó resolver cuestiones de carácter metodológico que contribuyan a evaluar la eficiencia de bioadsorción de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) para la remoción de contaminantes en aguas residuales de lubricadoras.

La adopción de un enfoque cuantitativo, buscó evaluar la eficiencia de remoción de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) para remoción de contaminantes en aguas residuales de la lubricadora “La Sin Par”. De acuerdo con Hueso y Cascan (2012) “La metodología cuantitativa plantea una serie de pasos que permiten estudiar un fenómeno de forma estandarizada. Además, la comunicación de los resultados en forma de estadísticas y gráficos”.

### **3.4 MÉTODOS Y TÉCNICAS**

Los métodos que se implementaron en la presente investigación fueron:

#### **3.4.1 MÉTODO ANALÍTICO SINTÉTICO**

La metodología analítica sintética permitió desarrollar un proceso de análisis y la síntesis de la problemática respecto de la eficiencia de remoción de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) para remoción de contaminantes en aguas residuales de la lubricadora “La Sin Par”. De acuerdo con Rodríguez y Pérez (2017) “El análisis es un procedimiento que posibilita descomponer mentalmente un todo en sus partes y cualidades, en sus múltiples relaciones, propiedades y componentes. La síntesis es la operación inversa, que establece mentalmente la unión y posibilita descubrir relaciones” (Pág. 186).

#### **3.4.2 MÉTODO INDUCTIVO**

Según Alan y Cortez (2018) la metodología inductiva permitió fundamentar el trabajo desde un análisis particular hasta llegar a los aspectos generales. En este caso en particular corresponde evaluar la eficiencia de bioadsorción de la cáscara

de cacao (*Theobroma cacao L.*) para remoción de contaminantes en aguas residuales de la lubricadora “La Sin Par”.

### **3.4.3 MÉTODO DEDUCTIVO**

La metodología deductiva permitió realizar un análisis general de la problemática hasta llegar a lo particular, permitió también, establecer los tratamientos para la remoción de contaminantes en agua residual de la lubricadora “La Sin Par” ubicada en la ciudad de Calceta a partir de la cáscara de cacao. Alan y Cortez (2018) indican que “El método deductivo se fundamenta en el razonamiento que permite formular juicios partiendo de argumentos generales para demostrar, comprender o explicar los aspectos particulares de la realidad” (Pág.21).

Las técnicas empleadas fueron:

### **3.4.4 TÉCNICA DE MUESTREO**

El muestreo fue de gran utilidad para recabar datos y con estos se pudo realizar un muestreo basándose en los tipos de contaminantes que existen en el lugar, y el método estadístico descriptivo. De acuerdo con Gómez (2018), la técnica del muestreo ayuda a obtener información fiable a partir de una muestra de la que extraer inferencias estadísticas con un margen de error medido en términos de probabilidades.

### **3.4.5 TÉCNICA DE TAMIZADO**

La técnica de tamizado ayudó a reducir y separar por tamaño a los cuerpos que pasan por este proceso por los huecos del tamiz, disponiendo a los reactivos o a los solventes (Álvarez y Quilumba, 2018).

### **3.4.6 FACTOR DE ESTUDIO**

Los factores de estudio fueron la cantidad (g) de cáscara de cacao y tamaño de la partícula.

**Factor A:** Tamaño de partícula

**Factor B:** Cantidad de cáscara de cacao

### 3.5 NIVELES

**Tabla 3.1.** Niveles y factores de estudio.

FACTORES	NIVELES	RESPUESTA
Tamaño de la partícula (A)	A1: 850 $\mu$ m	Remoción de aluminio y plomo
	A2: 1 mm	
Cantidad de cáscara (B)	B1: 10 g	
	B2: 15 g	

*Fuente.* Elaboración propia.

### 3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA), el diseño presentado en la tabla 3.2. cuenta con un arreglo factorial  $2^2$ , es decir dos factores con dos niveles por cada factor, obteniendo cuatro tratamientos y en cada uno se realizaron tres repeticiones, dando un total de 12 unidades experimentales; en el experimento se controlaron los siguientes factores: el pH de 4 “debido a que los metales logran mejor adhesión en aguas ácidas” (Sánchez, 2018), el tiempo de agitación de la muestra fue de 6 minutos a 100 rpm, dejando en reposo la muestra en un tiempo contacto de 6 h; el arreglo fue seleccionado por la necesidad de la investigación de conocer si es posible encontrar interacción entre los factores establecidos con un nivel de significancia de 0.05.

**Tabla 3.2.** Planteamiento del diseño experimental con las variables y niveles determinados.

Tratamientos	Nomenclatura	Tamaño de la partícula ( $\mu$ m-mm)	Cantidad de cáscara (g)	Tiempo de contacto (h)	pH	Agua a tratar (L)
T1R1						
T1R2	A1B1	850 $\mu$ m	10	6	4	1000
T1R2						
T2R1	A1B2	850 $\mu$ m	15			

---

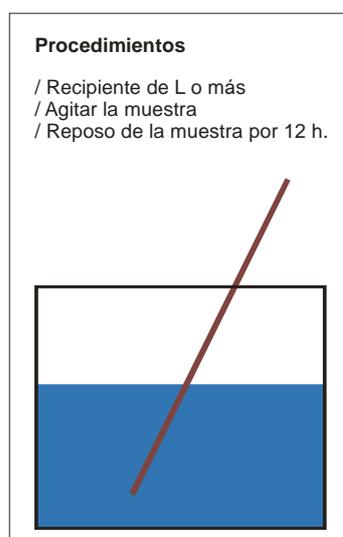
T2R2			
T2R3			
T3R1			
T3R2	A2B1	1 mm	10
T3R3			
T4R1			
T4R2	A2B2	1 mm	15
T4R3			

---

*Fuente.* Elaboración propia.

### 3.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

De acuerdo a la Figura 3.2, se determinaron los diferentes procesos por medio de los cuales se elaboró el sistema de bioadsorción de la cáscara de cacao para la remoción de contaminantes en aguas residuales de lubricadoras. En este sentido, la unidad experimental estuvo constituida por un vaso de precipitación y contuvo 1000 ml de agua residual de lubricadora; esta recibió la cáscara de cacao con su dosis de tratamiento respectivo con un pH del agua de 4, se agitó la sustancia a una velocidad de 100 rpm y un tiempo de mezclado de 6 minutos, para posteriormente dejarse en reposo durante 6h (Banchón et al., 2017).



**Figura 3.2.** Sistema de bioadsorción.

*Fuente.* Elaboración propia.

### 3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicó el análisis de ANOVA, que permitió verificar si existe diferencia estadística significativa de las medias obtenidas en la aplicación de los tratamientos, posterior a ello se realizaron las pruebas múltiples de medias o pruebas de comparaciones múltiples (permite examinar cuáles medias son diferentes y estimar el grado de diferencia). Es importante mencionar que el ANOVA requiere cumplir con una distribución normal, y una homocedasticidad de las varianzas.

**Tabla 3.3.** Fuente de variación.

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	3
Error experimental	8
TOTAL	11

*Fuente.* Elaboración propia.

### 3.9 VARIABLES DE ESTUDIO

#### 3.9.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Bioadsorción de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*):

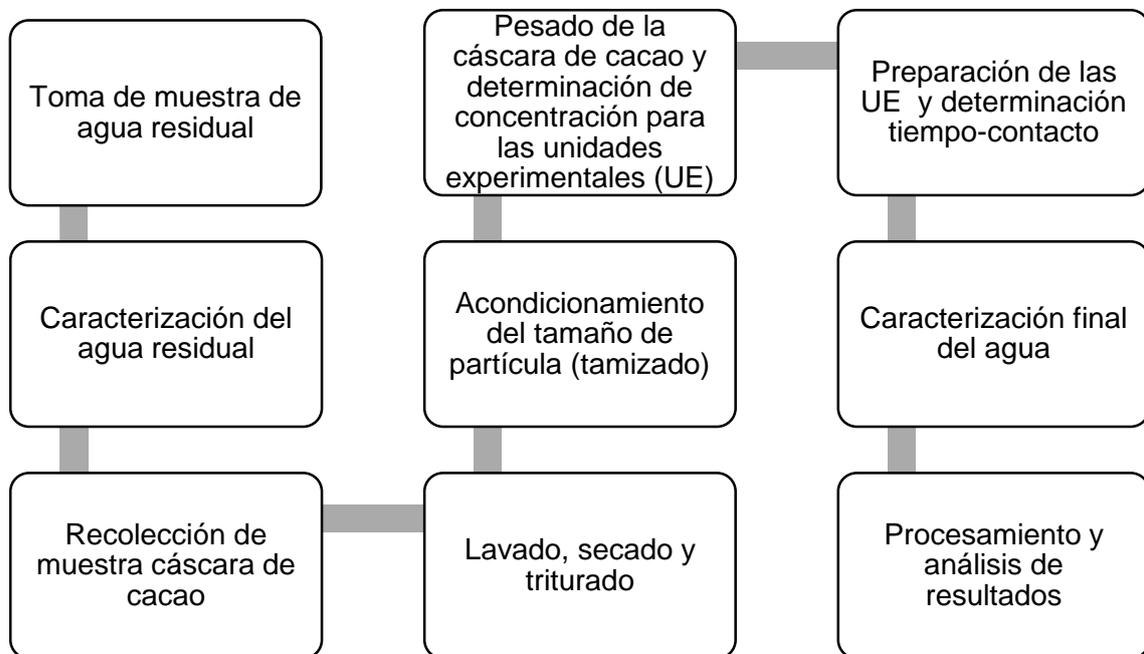
- Cantidad de cáscara
- Tamaño de partícula

#### 3.9.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Remoción de plomo y aluminio en aguas residuales de lubricadora “La Sin Par”

### 3.10 MANEJO DEL EXPERIMENTO

De acuerdo a la (Figura 3.3.) se determinaron las diferentes fases por medio de las cuales se evaluó la eficiencia de bioadsorción de la cáscara de cacao para la remoción de contaminantes en aguas residuales de lubricadoras.



**Figura 3.3.** Fases de la investigación.

**Fuente.** Elaboración propia.

### **3.10.1 FASE 1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR”**

#### **ACTIVIDAD 1. TOMA Y ENVÍO DE LAS MUESTRAS DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR” DE LA CIUDAD DE CALCETA.**

Para la implementación de esta actividad se aplicó la técnica propuesta por el Instituto Ecuatoriano de Normalidad [INEN] (2013) para la toma de muestras compuestas de aguas residuales; la cual consistió en tomar una muestra diaria de la lubricadora “La Sin Par” con una botella de polipropileno esterilizada de cuatro L, al final de transcurrir los 6 días se formó una muestra homogénea de 24 L y se extrajo una muestra representativa de 13 L (necesarios para llevar a cabo la experimentación), se definió el punto de muestreo, se rotularon las muestras, se trasladaron al laboratorio de Química Ambiental y suelos ubicado en la carrera de Agroindustrias en la ESPAM MFL, donde permanecieron en congelación a 4 °C, luego de realizar la experimentación se trasladaron las muestras en un cooler al laboratorio de investigación acreditado de la Universidad de las Américas (UDLA) a la temperatura antes mencionada.

#### **ACTIVIDAD 2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR”**

La caracterización de la muestra de la lubricadora “La Sin Par” se realizó en la ciudad de Quito, en el laboratorio de investigación de la UDLA, el método y parámetros seleccionados de metales fueron los obtenidos de López y Pincay (2020) en su investigación, donde el método usado fue el de Plasma Inductivo Acoplado (ICP) y los parámetros fueron metales pesados, seleccionados explícitamente plomo y aluminio.

### **3.10.2 FASE 2 ESTABLECIMIENTO DE LOS TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA RESIDUAL DE LUBRICADORA “LA SIN PAR” A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO**

#### **ACTIVIDAD 3. RECOLECCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO (*THEOBROMA CACAO L.*) Y ELABORACIÓN DE LA BIOMASA**

Se recolectaron las cáscaras de cacao, cuyo origen fue de las áreas de cosecha de la ESPAM MFL, para la procesamiento de la biomasa se aplicó el método usado por Pérez et al. (2020) en el que se seleccionaron las cáscaras de cacao y se procedió a lavar con agua potable para retirar las impurezas, luego se le retiró el endocarpio con el propósito de reducir el mucílago que es característica propia del cacao (Tapia, 2015), se cortó en trozos de 5 mm aproximadamente y se sometió nuevamente a lavado con agua destilada, se procedió a deshidratar la cáscara de cacao durante 24 horas a 70 °C hasta disminuir el contenido de humedad, posteriormente esta fue sometida a molienda con un molino marca corona, con el objetivo de obtener la harina de cacao, al mismo tiempo la cáscara ya triturada fue pasada por los tamices de 1 mm y 850  $\mu\text{m}$ , de esta forma ser separada por diámetros, al final se obtuvieron en total 400 g de cáscara de cacao siendo 200 g de 1 mm y 200 g de 850  $\mu\text{m}$ .

#### **ACTIVIDAD 4. APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS**

Se aplicaron los tratamientos establecidos en el numeral 3.5 con el pH ajustado a 4 para lograr una mayor interacción entre las moléculas de acuerdo con Sánchez (2018), una vez transcurrido el tiempo de contacto con las muestras se procedió a filtrar el agua tratada siguiendo la metodología de (López y Pincay, 2020). Posteriormente se realizaron los análisis de caracterización final de los parámetros establecidos en la actividad 2 en el laboratorio de la UDLA.

### 3.10.3 FASE 3 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BIOADSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE CACAO.

#### ACTIVIDAD 5. EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR”

Se aplicó la metodología de Fernandez et al. (2020) para calcular el porcentaje de remoción de contaminantes de acuerdo a la fórmula 3.1.:

$$\%remoción = \frac{vpi-vpf}{vpi} \times 100 \quad [3.1.]$$

Dónde:

$VPi$  = Valor del Parámetro inicial

$VPf$  = Valor del Parámetro final

Una vez calculados los porcentajes de remoción de metales pesados presentes en el agua residual de la lubricadora “La Sin Par”, se realizaron los análisis estadísticos y gráficos estadísticos de barra, mediante análisis de varianza de factores (ANOVA), con ayuda del software InfoStat para probar la diferencia o indiferencia entre las medias de los tratamientos aplicados.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR”

Los resultados obtenidos de la muestra de agua sin tratar fueron los siguientes:

**Tabla 4.1.** Resultados de la caracterización de metales pesados sin tratamiento.

Metal pesado	Símbolo	pH	Resultado parcial (ppm)
Plomo	Pb	4	0.017
Aluminio	Al	4	1.016

La tabla 4.1. indica los resultados de la caracterización del agua residual de lubricadora sin tratamiento, donde se obtuvo un valor de 0.017 ppm de concentración de plomo, mientras que para aluminio el resultado fue de 1.016 ppm. Los resultados obtenidos de la caracterización inicial del agua se contrastan con el estudio realizado por Castillo (2015) en el cual se diseñó un tratamiento de aguas residuales de lubricado mediante bioadsorción y coagulación – floculación, en donde la caracterización del agua residual de lubricadora mostró un valor de 0.54 mg/L para plomo, mientras que, para aluminio arrojó un valor de 25.69 mg/L.

Asimismo, Aguas (2022) en su investigación sobre la caracterización del agua residual proveniente de la industria automotriz del cantón Ambato, registró la presencia de metales pesados, entre ellos el plomo con un valor de 0.00120 ppm de concentración. En este contexto, Quintana y Jaimes (2019) mencionan que las aguas residuales contaminadas con metales pesados representan un gran problema al ecosistema, ya que las concentraciones presentes de metales en estas aguas no son removidas por las PTAR, causando contaminación en los cuerpos hídricos y por lo consiguiente afectaciones severas el bioma acuático.

## 4.2 ESTABLECIMIENTO DE LOS TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y ALUMINIO EN EL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR” A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CACAO

La tabla 4.2. muestra los resultados obtenidos después de la aplicación de los tratamientos.

**Tabla 4.2.** Resultados de plomo y aluminio en los tratamientos.

TRATAMIENTO	PLOMO	ALUMINIO
T1 R1	ND	0.639
T1 R2	0.003	0.653
T1 R3	0.0015	0.65
T2 R1	0.001	0.464
T2 R2	ND	0.529
T2 R3	0.002	0.638
T3 R1	0.015	0.722
T3 R2	0.007	0.607
T3 R3	0.015	0.557
T4 R1	0.015	0.619
T4 R2	0.011	0.731
T4 R3	0.002	0.8

**Nota.** ND (No Detectable)

Se puede evidenciar que, el mejor tratamiento que respondió a la bioadsorción y el cual se ve reflejado en la remoción de plomo y aluminio fue el T2, donde los valores para R1, R2 y R3 arrojaron 0.001 - ND y 0.002 ppm respectivamente; y de aluminio valores para R1, R2 y R3 de 0.464 – 0.529 y 0.638 ppm de manera respectiva.

Los resultados obtenidos, concuerdan con Soto (2019) donde se investigó la capacidad de adsorción de la cáscara de cacao, tanto sin modificar como modificada químicamente, para adsorber metales presentes en aguas de relaves mineros contaminadas usando pH ácidos en el agua de estudio; los resultados de la caracterización del agua arrojaron un valor de 0.65 ppm para plomo, mientras que para aluminio un valor de 1.23 ppm.

Duany et al. (2022) en su investigación sobre los bioadsorbentes no convencionales entre ellos la cáscara de cacao empleados en la remoción metales pesados, concluyó que: en ambientes ácidos se obtiene mayor absorción de metales debido a que en niveles bajos de pH existe una alta concentración de protones (H<sup>+</sup>), lo que genera una competencia con los iones metálicos para ocupar los lugares de unión en el bioadsorbente. Esto concuerda y justifica el ajuste que se dio al pH del agua tratada en la investigación realizada.

#### 4.3 EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE METALES DEL AGUA RESIDUAL DE LA LUBRICADORA “LA SIN PAR”

La tabla 4.3. muestra los resultados obtenidos de los análisis de concentración de plomo, donde se aplicó la fórmula [3.1.] para calcular los porcentajes de remoción, luego estos resultados se promediaron para obtener un porcentaje de remoción general por tratamientos. Se debe tener presente que el resultado de la muestra previa de agua sin tratamiento es de 0.017 ppm.

**Tabla 4.3.** Resultados de porcentajes de remoción de plomo por tratamiento.

TRATAMIENTO	PLOMO (Pb)		% POR TRATAMIENTO	
	RESULTADOS	% REMOCIÓN		
T1 R1	0	100.00		
T1 R2	0.003	82.35	91.18	T1
T1 R3	0.0015	91.18		
T2 R1	0.001	94.12		
T2 R2	0	100.00	94.12	T2
T2 R3	0.002	88.24		
T3 R1	0.015	11.76		
T3 R2	0.007	58.82	27.45	T3
T3 R3	0.015	11.76		
T4 R1	0.015	11.76		
T4 R2	0.011	35.29	45.10	T4
T4 R3	0.002	88.24		

*Fuente.* Elaboración propia.

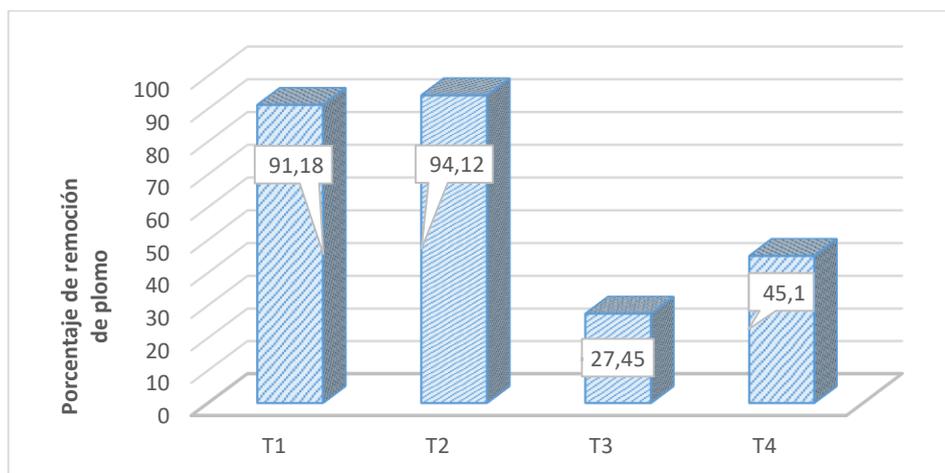
Los resultados ubican al T2 como el mejor tratamiento en la remoción de plomo con un porcentaje de remoción del 94.12 %, este tratamiento estaba constituido por 15 g de harina de cacao con un diámetro de 850  $\mu$ m, lo que indica que, con mayor

cantidad de cáscara de cacao y menor diámetro de partícula el plomo logra una mayor adhesión a la cáscara de cacao, alcanzando una mayor remoción del contaminante.

Los resultados que se obtuvieron coinciden con la investigación realizada por Lara et al. (2016) en donde se evaluó la eficacia de la cáscara de cacao como adsorbente de plomo y cadmio en soluciones sintéticas mediante un sistema de lecho fijo, la altura del lecho afectó la eliminación de contaminantes, alcanzando una remoción del 91.32% para el plomo y el 87.80% para el cadmio después de 4.5 horas; se aplicaron modelos matemáticos para predecir el comportamiento de la columna, revelando que la cáscara de cacao es efectiva en la eliminación de metales pesados de aguas residuales.

Por su parte Soto (2019) en su investigación sobre la capacidad de adsorción de la cáscara de cacao sin modificar como modificada químicamente a un pH de 3, reveló que la cáscara de cacao modificada adsorbió un 97.076% de plomo, mientras que la no modificada adsorbió un 76.769%, estos hallazgos indican que la cáscara de cacao sin modificar también presenta una significativa capacidad de absorción de este contaminante. Mientras que Pariona (2019) en su investigación de remoción de plomo en soluciones acuosas con el residuo agrícola café (*Coffea arabica L.*) reporta porcentajes de absorción superiores al 90%.

Para un mayor análisis de los resultados que evidencian la diferencia entre tratamientos se muestra en el gráfico 4.1., en donde se observa claramente como el T1 y T2 alcanzaron un mayor porcentaje de remoción, pero diferenciándose el T2 del T1 como el mejor tratamiento para adsorber los iones metálicos de plomo presentes en el agua de la lubricadora.



**Gráfico 4.1.** Porcentaje de remoción de plomo por tratamiento.

**Fuente.** Elaboración propia.

De acuerdo con Moya (2018) la cáscara de cacao posee una gran cantidad de fibra (celulosa, hemicelulosa, pectinas y lignina); la fibra es el factor más importante en el proceso de adsorción de metales pesados. Los mecanismos para la captación de los iones son muy variados y dependientes en cada caso del metal de interés, es necesario la experimentación con los bioadsorbentes que contengan fibra, ya que estos materiales no solo representan un coste de implementación y mantenimiento considerablemente menor en comparación con los tratamientos tradicionales para la recuperación de metales pesados en aguas residuales, sino que también ofrecen una gran promesa en términos de eficacia.

Condor y Maza (2020) exploraron el potencial de reutilización de residuos agrícolas, incluida la cáscara de coco. Sus resultados demostraron una efectividad notable en la eliminación de plomo, alcanzando porcentajes de remoción que oscilaron entre el 94% y el 96.40%. Este logro se atribuye principalmente a la abundante presencia de lignina y celulosa en dichos residuos, características que guardan similitud con las propiedades de la cáscara de cacao. Para evaluar el cumplimiento con la normativa ambiental, se consideró como referencia el límite permisible para la descarga de plomo en agua, establecido en el Anexo I del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), detallado en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4.** Comparación de resultados con los límites permisibles del TULSMA.

Límite Permissible del TULSMA para plomo (Pb)			
Límite máximo permisible (mg/L)	Tratamiento	Resultado	Cumplimiento
0,5	T1 R1	ND	Si cumple
	T1 R2	0.003	Si cumple
	T1 R3	0.0015	Si cumple
	T2 R1	0.001	Si cumple
	T2 R2	ND	Si cumple
	T2 R3	0.002	Si cumple
	T3 R1	0.015	Si cumple
	T3 R2	0.007	Si cumple
	T3 R3	0.015	Si cumple
	T4 R1	0.015	Si cumple
	T4 R2	0.011	Si cumple
	T4 R3	0,002	Si cumple

Aunque el resultado parcial de la muestra de agua sin tratamiento indica un nivel de 0.017 ppm de plomo, manteniéndose dentro de los límites permisibles de descarga establecidos por el TULSMA, es innegable que la cáscara de cacao logró la remoción de este metal en la mayoría de las unidades experimentales, a excepción de dos tratamientos. En los demás casos, se evidenció una mejora significativa en la calidad del agua proveniente de la lubricadora, reduciendo la concentración de plomo en algunos casos hasta alcanzar niveles tan bajos como 0.002 ppm.

Dichos valores resultantes del cumplimiento de la normativa ambiental se respaldan con el estudio realizado por López y Pincay (2020) donde se evaluó la eficiencia de bioadsorción de la cáscara de banana (*Musa x paradisiaca*) para remover plomo en aguas de la lubricadora “LUBRIAUTOS MAFRISS”, en el cual se obtuvo cumplimiento total para límites permisibles de descarga de aguas residuales de acuerdo a los parámetros investigados.

En la tabla 4.5. se presentan los porcentajes de remoción de aluminio por tratamiento del agua de la lubricadora “La Sin Par”. Es importante recalcar que el valor inicial de la muestra de agua sin tratamiento es de 1.016 ppm.

**Tabla 4.5.** Resultados de remoción de aluminio por tratamiento.

TRATAMIENTO	ALUMINIO (Al)		% por tratamiento	
	RESULTADOS	% REMOCIÓN		
T1 R1	0.639	37.11		
T1 R2	0.653	35.73	36.29	T1
T1 R3	0.65	36.02		
T2 R1	0.464	54.33		
T2 R2	0.529	47.93	46.49	T2
T2 R3	0.638	37.20		
T3 R1	0.722	28.94		
T3 R2	0.607	40.26	38.12	T3
T3 R3	0.557	45.18		
T4 R1	0.619	39.07		
T4 R2	0.731	28.05	29.46	T4
T4 R3	0.8	21.26		

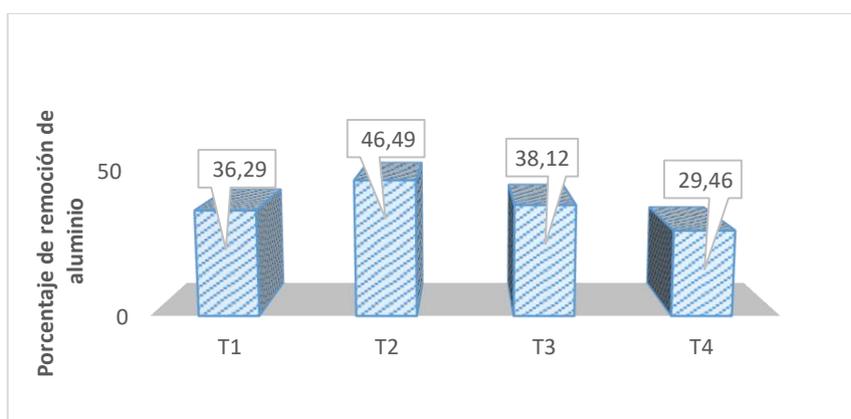
*Fuente.* Elaboración propia.

Entre los diferentes tratamientos evaluados para la remoción de aluminio en el agua de la lubricadora, se destacó el T2 con una eficiencia del 46.49%. Este tratamiento consistió en la adición de 15 gramos de cáscara de cacao por litro con un diámetro de partícula de 850  $\mu\text{m}$ . Los resultados sugieren que el incremento en la cantidad de biomasa y la reducción del tamaño de las partículas de cacao favorecen la adherencia de los metales al residuo de cacao, lo que se traduce en una mayor eliminación de estos contaminantes del agua. se adhieren mejor al residuo de cacao, logrando una mayor remoción de estos.

Los resultados obtenidos concuerdan con la investigación realizada por Meunier et al. (2003) donde se estudió la eficiencia de la cáscara de cacao para eliminar los metales pesados de las soluciones ácidas (pH 2) e investigar cómo influye la composición de estas soluciones con la eficiencia en la absorción de metales pesados; los resultados evidenciaron que la cáscara de cacao logró remover plomo y aluminio siguiendo esta secuencia "Pb > Cr > Cd  $\frac{1}{4}$  Cu  $\frac{1}{4}$  Fe > Zn  $\frac{1}{4}$  Co > Mn  $\frac{1}{4}$  Ni  $\frac{1}{4}$  Al". Así mismo, Álvarez et al. (2020) en su estudio comparativo de adsorción de aluminio en soluciones acuosas reportaron valores mayores al 95% de remoción de aluminio con ayuda de cascarilla de arroz y quitosano.

Por su parte, Gomez (2020) en su investigación sobre remoción de metales pesados de las aguas del río Santa mediante la aplicación de un biofiltro a partir de la cáscara de plátano reportó 88% de adsorción de aluminio. En añadidura Calderon (2023) estudió el uso de la pepa de aceituna para remover metales procedentes de efluentes de la Planta Industrial de Chorrillos, obteniendo un porcentaje de remoción de Cobre del 33%, 45% de Cromo y 47% de Aluminio. Por los antecedentes expuestos, la biomasa residual se presenta como una alternativa confiable, eficiente y económica para tratar las aguas contaminadas con metales pesados.

Para una mayor interpretación del resultado de remoción de aluminio en el agua residual de la lubricadora “La Sin Par” se expone el gráfico 4.2. donde lucidamente se verifica que el T2 alcanzó un mayor porcentaje de bioadsorción con respecto a los demás tratamientos.



**Gráfico 4.2.** Porcentaje de remoción de aluminio por tratamiento.

**Fuente.** Elaboración propia.

Según Cruz (2022) “Los desechos que provienen de la cáscara de cacao están conformados fundamentalmente por de lignina, celulosa, alcoholes, aldehídos, fenoles y otros grupos que facilita la absorción de elementos metálicos de alta densidad que se encuentran en las aguas residuales” (Pág. 40).

Por otro lado, la tabla 4.6. presenta la comparación de los resultados obtenidos de cada una de las unidades experimentales respecto al límite máximo permisible de descarga de agua con contenido de aluminio.

**Tabla 4.6.** Comparación de resultados con los límites permisibles del TULSMA.

Límite Permisible del TULSMA para aluminio (Al)			
Límite máximo permisible (mg/L)	Tratamiento	Resultado	Cumplimiento
5	T1 R1	0.639	Si cumple
	T1 R2	0.653	Si cumple
	T1 R3	0.65	Si cumple
	T2 R1	0.464	Si cumple
	T2 R2	0.529	Si cumple
	T2 R3	0.638	Si cumple
	T3 R1	0.722	Si cumple
	T3 R2	0.607	Si cumple
	T3 R3	0.557	Si cumple
	T4 R1	0.619	Si cumple
	T4 R2	0.731	Si cumple
	T4 R3	0.8	Si cumple

*Fuente.* Elaboración propia.

Teniendo en consideración que el resultado inicial del agua fue de 1.016 ppm y que este no sobrepasó el límite máximo de descargas de agua con contenido de aluminio, se puede verificar que el tratamiento con la cáscara de cacao ayudó a mejorar la calidad del agua de esta lubricadora, logrando reducir en algunos casos hasta un 0.464 del contenido de aluminio en el agua.

#### 4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) se usó el Software InfoStat, con el cuál se obtuvieron las siguientes tablas y gráficos de resultados:

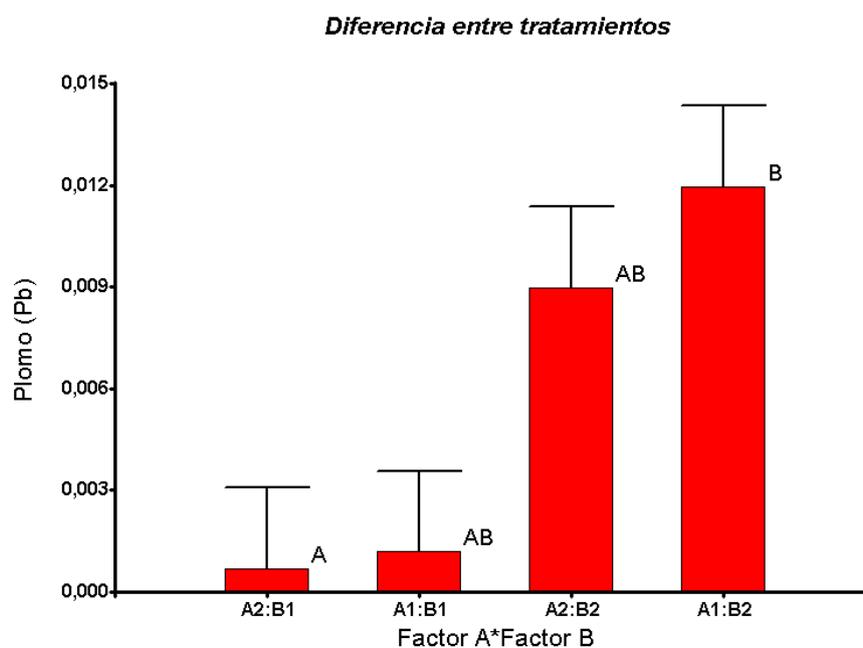
El análisis de la tabla 4.7. muestra que no existen diferencias significativas en el factor tamaño de partícula, al igual que la interacción del Factor A\*B. Daza et al. (2019) menciona que cuando el resultado de p-valor es mayor que 0.05 no existe diferencia significativa; mientras que para el factor cáscara de cacao se obtuvo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 4.7.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de interacción entre el factor A y B para plomo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.000289	3	0.00010	5.599	0.023
Tamaño de partícula (A)	0.000009	1	0.00001	0.533	0.486
Cantidad de cáscara de cacao (B)	0.000276	1	0.00028	15.992	0.004
Factor A*Factor B	0.000005	1	0.00001	0.272	0.616
Error	0.000138	8	0.00002		
Total	0.000427	11			

**Fuente.** Elaboración propia.

El gráfico de barras (4.3.) muestra el resultado de la prueba múltiple de medias entre tratamientos.

**Gráfico 4.3.** Pruebas múltiples de media entre tratamientos.

**Fuente.** Elaboración propia.

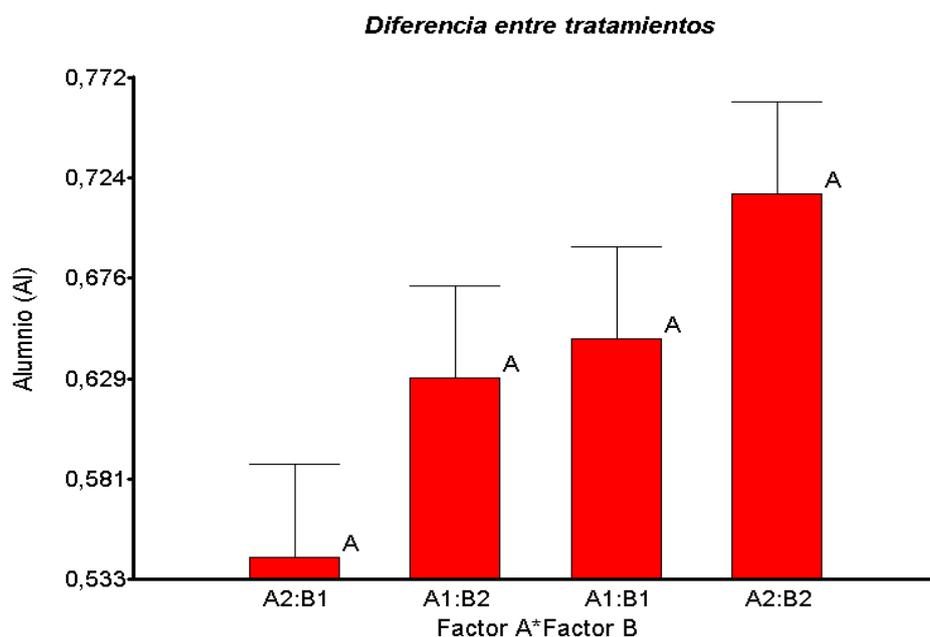
Como se evidencia en el gráfico de barras el mejor tratamiento fue el T2, con la interacción de 15 g de cáscara de cacao y un diámetro de 850  $\mu\text{m}$ . De acuerdo con Govea y Delgado (2019) la cáscara de cacao posee grandes cantidades de lignina y celulosa, también otros grupos funcionales polares de la lignina como alcoholes y aldehídos, los metales pesados donan un par de electrones a estos grupos funcionales para formar complejos con los iones metálicos en solución, permitiendo el proceso de adsorción.

**Tabla 4.8.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de interacción entre el factor A y B para aluminio.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.0456	3	0.0152	2.6109	0.124
Tamaño de partícula (A)	0.0002	1	0.0002	0.0316	0.863
Cantidad de cáscara de cacao (B)	0.0179	1	0.0179	3.0685	0.118
Factor A*Factor B	0.0276	1	0.0276	4.7325	0.061
Error	0.0466	8	0.0058		
Total	0.0922	11			

**Fuente.** Elaboración propia.

La tabla 4.8. muestra que todos los resultados de la prueba múltiple de medias son mayores al 0.05 por lo que se determina que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos debido a lo mencionado por Daza et al. (2019). La carencia de diferencia significativa refiere que los resultados de absorción para aluminio fueron similares, presentando valores cercanos tales como (0.639 – 0.619 – 0.638) mL/L entre otros; esto se respalda con el gráfico 4.4. de barras presentado a continuación:

**Gráfico 4.4.** Pruebas múltiples de media entre tratamientos.

**Fuente.** Elaboración propia.

Las respuestas que no presentan una diferencia estadísticamente significativa indican que los dos elementos bajo comparación no muestran variaciones

significativas en términos de tamaño de muestra, aunque esto no implica necesariamente que carezcan de importancia (Novales, 2010).

#### **4.5 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS**

De acuerdo a los resultados obtenidos se acepta la hipótesis alternativa debido a que el T2 (15 g de harina de cacao y 850  $\mu\text{m}$ ) mostró eficiencia en la remoción de plomo y aluminio con un porcentaje del 94.12% y el 46.49% respectivamente.

# **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

## **5.1 CONCLUSIONES**

- El agua residual de la lubricadora “La Sin Par” presentó inicialmente 0.017 ppm de plomo y 1.016 ppm de aluminio.
- El tratamiento más efectivo para la remoción de metales pesados a través de bioadsorción fue el T2, logrando una remoción del 94% de plomo y un 46.49% de aluminio. Este tratamiento consistió en la utilización de 15 g de harina de cacao con un diámetro de 850  $\mu\text{m}$ .
- El agua residual sometida al proceso de bioadsorción con harina de cáscara de cacao con condiciones controladas (15 g de harina de cacao, tamaño de partícula de 850  $\mu\text{m}$ , tiempo de contacto de 6h, medio ácido pH 4 a 100 rpm), alcanzó una concentración final de 0.001 ppm de plomo y 0.464 ppm de aluminio respectivamente.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda efectuar la deshidratación de la cáscara de cacao en condiciones controladas de tiempo y temperatura.
- Cuando se haya realizado el proceso de molienda y tamizaje de la cáscara de cacao, se recomienda lavar la harina con agua destilada y someterla nuevamente al proceso de deshidratación para eliminar la humedad.
- Para lograr la remoción de metales pesados en aguas contaminadas se recomienda experimentar con pH ácidos menor a 4.
- Realizar investigaciones para la recuperación de los metales que fueron adsorbidos por la biomasa residual

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguas, B. (2022). *Caracterización de agua residual proveniente de la industria automotriz del.* Obtenido de Repositorio de la UTA: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34957/1/BQ%20298.pdf>
- Alan, D. y Cortez, L. (2018). *Procesos y fundamentos de la investigación científica.* Obtenido de Archivo PDF: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12498/1/Procesos-y-FundamentosDeLainvestiagcionCientifica.pdf>
- Albarracín, P. (2006). *Tribología y Lubricacion Industrial y Automotriz* (4 ed.). Medellín: Colombia. Obtenido de Biblioteca epoch: <https://es.scribd.com/document/521262174/Libro-Tribologia-y-Lubricacion-Industrial-y-Automotriz-v2-2#>
- Álvarez, A., Blanco, V. y Benavente, M. (2020). *Estudio comparativo de la adsorción de.* Obtenido de Researchgate: [https://www.researchgate.net/profile/Martha-Benavente/publication/344943119\\_Estudio\\_comparativo\\_de\\_la\\_adsorcion\\_de\\_aluminio\\_de\\_soluciones\\_acuosas\\_usando\\_quitosano\\_y\\_cascarilla\\_de\\_arroz/links/5f99ea21a6fdccfd7b87e951/Estudio-comparativo-de-la-adsorcion-de-](https://www.researchgate.net/profile/Martha-Benavente/publication/344943119_Estudio_comparativo_de_la_adsorcion_de_aluminio_de_soluciones_acuosas_usando_quitosano_y_cascarilla_de_arroz/links/5f99ea21a6fdccfd7b87e951/Estudio-comparativo-de-la-adsorcion-de-)
- Álvarez, K. y Quilumba, F. (2018). *Aprovechamiento de la cascarilla de cacao (Theobroma cacao L.) para la elaboración de polvo y sus usos culinarios.* Obtenido de Repositorio Digital de la Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/35658>
- Banchón , C., Castillo, A. y Posligua , P. (2017). *Interacciones químicas para la limpieza de aguas residuales de estaciones de servicio de automóviles altamente contaminantes mediante bioadsorción- coagulación- floculación.* Obtenido de Journal of Ecological Engineering: [doi:https://doi.org/10.12911/22998993/66252](https://doi.org/10.12911/22998993/66252)

- Barazarte , H., Sangronis, E. y Unai, E. (2008). *La cáscara de cacao (Theobroma cacao L.): una posible fuente comercial de pectinas*. Obtenido de Scielo: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222008000100009](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222008000100009).
- Barros, M. y Salazar, J. (2016). *Rendimiento de biomasa y valoración nutrimental de residuos pos cosecha de cacao (Theobroma cacao L)*. Obtenido de Repositorio de la uta: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23699/1/tesis%20001%20Ingenier%c3%ada%20Agropecuaria%20-%20Alberto%20Salazar-%20cd%20001.pdf>
- Calderon, J. (2023). *Biosorción de Al, Cu, Cr empleando pepa de aceituna en efluentes de una industria flexográfica, Chorrillos, Lima - 2023*. Obtenido de Repositorio UCV: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/117196>
- Carcavallo, M. (2021). *Tratamiento de efluentes químicos para la planta productora de lubricantes y aditivos industriales*. Obtenido de Repositorio Institucional de la unsam: <https://ri.unsam.edu.ar/handle/123456789/1943>
- Castillo, A. (2015). *Diseño de un tratamiento de aguas residuales de lubricado mediante bio-adsorción y coagulación - floculación*. Obtenido de Repositorio LATINOAMERICANOS: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2785876>
- Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodriguez, D. y Sandoval, I. (2015). *Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales*. Obtenido de Archivo PDF: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432290>
- Condor, J. y Maza, D. (2020). *Remoción de plomo para mejorar el agua de Mórrope utilizando carbón activado del endocarpio de aceituna y cáscara de coco*.

- Obtenido de Repositorio UCV:  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/50262>
- Cruz, N. (2022). *Alternativa de aprovechamiento de la cáscara de cacao generada en unidades productivas del departamento del Casanare*. Obtenido de Repositorio Digital de la Universidad el Bosque:  
<https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/7854>
- Daviran, J. (2021). *Remoción de turbiedad y sólidos suspendidos totales con la utilización de la cáscara de cacao (theobroma cacao) como coagulante natural en las aguas del Río Chillón*. Obtenido de Repositorio Digital de la Universidad Nacional del Callao:  
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6368>
- Daza, L., González, R., Nicho, M. y Tolentino, G. (2019). *Eficiencia de remoción de As utilizando cáscara de naranja y tuna en aguas del río Rímac,*. Obtenido de Repositorio UCV:  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/62062/B\\_Daza\\_MLA-Gonz%  
 c3%a1lez\\_RR-Nicho\\_MMAR-Tolentino\\_MGE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/62062/B_Daza_MLA-Gonz%c3%a1lez_RR-Nicho_MMAR-Tolentino_MGE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Duany, S., Arias, T., Bessy, T. y Rodríguez, D. (2022). *Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales pesados*. Obtenido de Scielo: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852022000100094&script=sci\\_arttext#B22](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852022000100094&script=sci_arttext#B22)
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Valtierra, E. y Etchevers, J. (2016). *Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo*. Obtenido de Scielo: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Escalona, E. (2014). *Daños a la salud por mala disposición de residuales sólidos y líquidos en Dili, Timor Leste*. Obtenido de Scielo:

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032014000200011](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000200011)

Espigares, M. y Pérez, J. (2005). *Aguas residuales composición*. Obtenido de Archivo PDF: [https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

Fernandez, M., Florez, D., Yactayo, M., Lovera, D., Quispe, J., Landauro, C. y Pardave, W. (2020). Remoción de metales pesados desde efluentes mineros, mediante cáscaras de frutas. *Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 21-28. Obtenido de <https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/1639/1832>

Freire, P. (2018). *Remoción de paracetamol por biosorción en tanque agitado usando cáscara de cacao y bagazo de caña de azúcar*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29294>

Gómez, Á. (2018). *¿Qué es y para qué sirve el muestreo estadístico?* Obtenido de Archivo [Blog]: <https://isdfundacion.org/2018/10/10/que-es-y-para-que-sirve-el-muestreo-estadistico/>

Gomez, A. (2020). *Remoción de metales pesados de las aguas del Río Santa en el tramo Recuay Ticapampa mediante biofiltro con cáscara de plátano*. Obtenido de Repositorio USP: <http://publicaciones.usanpedro.edu.pe/handle/20.500.129076/20642>

Govea, M. y Delgado, D. (2019). *Implementación de un filtro mixto para la reducción de metales pesados en aguas residuales utilizando material vegetal (vástago de banano, cáscara de cacao) y litológico como medio filtrante*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/41589/1/T-2%20%281%29.pdf>

- Guilcamaigua, D., Quintero, N., Jiménez, M. y Muñoz, D. (2019). Absorción de aceites y grasas en aguas residuales de lavadoras y lubricadoras de vehículos utilizando absorbentes naturales. *3C*, 16. Obtenido de 3ciencias: [https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2019/09/13\\_09\\_art-1\\_3C-TECNO-ED.-31\\_VOL.-8\\_N%C2%BA-3-1.pdf](https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2019/09/13_09_art-1_3C-TECNO-ED.-31_VOL.-8_N%C2%BA-3-1.pdf)
- Gutierrez, L. (2023). *Remoción de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche mediante biopolímero quitosano comercial*. Obtenido de Repositorio Institucional UNITRU: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/20848>
- Hueso, A. y Cascan, M. (2012). *Metodología y técnicas cuantitativas de investigación*. Valencia: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. Obtenido de Archivo PDF: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17004/Metodolog%C3%ADa%20y%20t%C3%A9cnicas%20cuantitativas%20de%20investigaci%C3%B3n\\_6060.pdf](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17004/Metodolog%C3%ADa%20y%20t%C3%A9cnicas%20cuantitativas%20de%20investigaci%C3%B3n_6060.pdf)
- Instituto Ecuatoriano de Normalidad [INEN]. (2013). *Agua, calidad de agua, muestreo, manejo y conservación de muestras*. Obtenido de Archivo PDF: Normalizacion gob: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2169.pdf>
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, Á., Arrieta, A. y Granados, C. (2016). *Absorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342050982010.pdf>
- López, H. y Pincay, J. (2020). *Evaluación de la eficiencia de bioabsorción de cáscara de banana (Musa x paradisiaca) para la remoción de plomo en aguas residuales de la lubricadora "LUBRIAUTOS MAFRISS"*. Obtenido de Repositorio de la ESPAM: <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1319?mode=full>
- Macías, G. (2021). *Aprovechamiento de residuos de cáscara de cacao en la obtención de carbón activado para ser usado como medio filtrante*. Obtenido

de Repositorio de la uteq:  
<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/1382e6c6-fa8e-4f10-97a7-4038594bf622/content>

Meunier, N., Laroulandie, J., Blais, J. y Tyagi, R. (2003). *Cocoa shells for heavy metal removal from acidic solutions*. Obtenido de PubMed: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14575948/#:~:text=Cocoa%20shells%20are%20particularly%20efficient,T%3D22%20degrees%20C>).

Morales, V. (2018). *Aprovechamiento de los residuos de la cáscara de cacao como base de un filtro para reducir plomo de agua contaminada del río chirinos*. Obtenido de Repositorio de la ucv: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33360/Morales\\_DVJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33360/Morales_DVJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Morán, M. y Guerrero, J. (2022). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa, Manabí. *MQR Investigar*, 6(4), 925-943. Obtenido de <https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/150>

Moya, D. y Maya, K. (2018). *Análisis de la cáscara de cacao como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de las industrias de lácteos Salinerito de la ciudad de Guaranda*. Obtenido de Repositorio de la UTA: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27239>

Moya, K. (2018). *Remoción de plomo en aguas residuales procedentes de actividades mineras mediante la utilización de cáscara de cacao*. Obtenido de Repositorio Digital Universidad De Las Américas: <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10001>

Novales, A. (2010). *Análisis de regresión*. Obtenido de Archivo PDF: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf>

- Oggero, A., Nakayama, H., Ávalos, C., García, I., Benítez, J., Ayala, J. y Peralta, I. (2021). *Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por Typha domingensis*. Obtenido de Scielo: <http://scielo.iics.una.py/pdf/rscp/v26n2/2617-4731-rscp-26-02-100.pdf>
- Pagnanelli, F., Mainelli, S., Veglió, F. y Toro, L. (2003). Heavy metal removal by olive pomace: biosorbent characterisation and equilibrium modelling. *Chemical engineering science*, 58(20), 4709-4717. Obtenido de Sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0009250903003737>
- Paredes, B. y Torres, J. (2018). *Análisis del piroclasto volcánico como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la Lavadora y Lubricadora de Autos "Ambato" ubicada en la ciudad de Ambato provincia de Tungurahua*. Obtenido de Repositorio de la UTA: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27015>
- Pariona, J. (2019). *Remoción de plomo de soluciones acuosas utilizando la cascarilla de café (Coffea Arabica L.)*. Obtenido de Repositorio Científica: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1032/TB-Bariona%20J.%28Embargo%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez , L., Paz, I., Sandoval, A. y Peñaloza, G. (2020). *Uso de cáscara de cacao (Theobroma cacao) para la remoción de cromo en solución acuosa*. Obtenido de Scielo: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-12372020000200259](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372020000200259)
- Quintana, Y. y Jaimes, G. (2019). *Determinación de los índices de calidad del agua (ICA), índices de contaminación del agua (ICOs), metales pesados 50 metros aguas arriba (coordenadas 7°22'53.75" N-72°53'54.16" O) y 50 metros aguas abajo (coordenadas 7°22'50.60" N-72°53'54.79" O) de un pu.*

Obtenido de Repositorio de la UNAD:  
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34847>

Reynolds, K. (2007). *Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica*. Obtenido de Archivo PDF: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/10/Tratamiento-aguas-residuales-Latinoamerica.pdf>

Rodríguez, A. y Pérez, A. (2017). *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento*. Obtenido de Archivo PDF: <http://www.scielo.org.co/pdf/ean/n82/0120-8160-ean-82-00179.pdf>

Rojas, R. (2002). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Archivo PDF: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION\\_INTEGRAL\\_DE\\_L\\_TRATAMIENTO\\_AR-libre.pdf?1533264908=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCurso\\_Internacional\\_GETION\\_INTEGRAL\\_DE\\_T.pdf&Expires=1693680530&Signature=NTFKqQvj03qGSf2ehAWAKm5eaA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DE_L_TRATAMIENTO_AR-libre.pdf?1533264908=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCurso_Internacional_GETION_INTEGRAL_DE_T.pdf&Expires=1693680530&Signature=NTFKqQvj03qGSf2ehAWAKm5eaA)

Sánchez, E. (2014). *Propuesta de elaboración y comercialización de filtros adsorbentes para agua contaminadas a partir de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente en la ciudad de Guayaquil*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8057>

Sánchez, Y. (2018). *Absorción de Arsénico y Antimonio en soluciones acuosas mediante aplicación de biomasa Lignocelulósica de cáscara de cacao*. Obtenido de Repositorio Digital de la UTMACH: [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13286/1/T-2655\\_SANCHEZ%20CHICA%20YESENIA%20LISSETTE.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13286/1/T-2655_SANCHEZ%20CHICA%20YESENIA%20LISSETTE.pdf)

Soto, C. (2019). *Filtros de cáscara de cacao (Theobroma Cacao) para la adsorción de plomo (II) en aguas de relave minero - 2019*. Obtenido de Repositorio uap: <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/9010>

Tapia, C. (2015). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales, cascarilla de cacao (Theobroma cacao L.) variedad arriba y CCN51 para la elaboración de una infusión*. Obtenido de Repositorio UTA: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/11981/1/AL%20574.pdf>

Vivanco, E., Matute, L. y Campo, M. (2018). *Caracterización físico-química de la cascarilla de Theobroma cacao L, variedades Nacional y CCN-51*. Obtenido de Investigación de la UTMACH: <https://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/articloe/view/309>

# **ANEXOS**

**Anexo 1.** Recolección de muestra.**Anexo 2.** Lavado de mazorca.**Anexo 3.** Picado de mazorca.**Anexo 4.** Lavado de cáscara cortada.**Anexo 5.** Cáscara de cacao deshidratada.**Anexo 6.** Proceso de molido de la cáscara de cacao deshidratada.

**Anexo 7.** Tamizado de la cáscara de cacao.**Anexo 8.** Cáscara de cacao seca luego de post lavado.**Anexo 9.** Pesaje de la cáscara de cacao.**Anexo 10.** Medido del agua residual para aplicar tratamientos.**Anexo 11.** Rotulado de muestras de experimentación.**Anexo 12.** Proceso de acidificar pH.

**Anexo 13.** Proceso de agitación de las unidades experimentales.

