



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“REMOCIÓN DE CROMO HEXVALENTE EN LODOS
RESIDUALES MEDIANTE EL USO DE CÁSCARAS DE
CAMARÓN Y CACAO, EN LA CASA HACIENDA DE
SALACHE 2024-2025”**

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

Autora:

Tucumbi Tipantuña Juana Maribel

Tutor:

Agreda Oña Jose Luis

LATACUNGA - ECUADOR

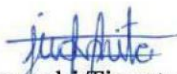
Febrero 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Tucumbi Tipantufia Juana Maribel, con cédula de ciudadanía 055014124-6, declaro ser autora del presente proyecto de investigación: **“REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN LODOS RESIDUALES MEDIANTE EL USO DE CÁSCARAS DE CAMARÓN Y CACAO, EN LA CASA HACIENDA DE SALACHE 2024-2025”**, siendo el Ingeniero Jose Luis Agreda Oña tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 13 febrero de 2025



Tucumbi Tipantufia Juana Maribel

C.C: 055014124-6

ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **TUCUMBI TIPANTUÑA JUANA MARIBEL**, identificada con cédula de ciudadanía No **0550141246-6**, de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigsilema, en calidad de Rectora y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN LODOS RESIDUALES MEDIANTE EL USO DE CÁSCARAS DE CAMARÓN Y CACAO, EN LA CASA HACIENDA DE SALACHE 2024-2025**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico

Inicio de la carrera: Octubre 2020- Marzo 2021

Finalización de la carrera: Octubre 2024-Marzo 2025 **Aprobación en Consejo Directivo:** 12 Diciembre 2024

Tutor: Ing. Jose Luis Agreda Oña

Tema: “Remoción de Cromo Hexavalente en Lodos Residuales mediante el uso de Cáscaras de Camarón y Cacao, en la Casa Hacienda de Salache 2024-2025”.

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

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA**

CESIONARIA a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin. b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

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

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

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

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

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 13 días del mes de febrero del 2025.


Tucumbi Tipantuña Juana Maribel

LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigsilema.

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN LODOS RESIDUALES MEDIANTE EL USO DE CÁSCARAS DE CAMARÓN Y CACAO, EN LA CASA HACIENDA DE SALACHE 2024-2025”, de Tucumbi Tipantuña Juana Maribel, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 13 de febrero del 2025



Ing. Agreda Oña Jose Luis, Mg.

CC: 0401332101


DOCENTE TUTOR

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Tucumbi Tipantuña Juana Maribel, con el título del Proyecto de Investigación: “REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN LODOS RESIDUALES MEDIANTE EL USO DE CÁSCARAS DE CAMARÓN Y CACAO, EN LA CASA HACIENDA DE SALACHE 2024-2025”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Latacunga 13 de febrero del 2025



Ing. Ortiz Bustamante Vladimir Marconi, Mg.
C.C: 0502188451
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Moreno Ávila Andrés Sebastián, Mg.
C.C: 0503220063
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Lic. Fonseca Largo Kalina Marcela, MSc.
C.C: 1723534457
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios y la Virgen de Baños por permitirme llegar hasta este momento tan anhelado a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por senderos correctos, de igual manera agradezco a mis padres Kleber y Nancy por estar en cada etapa de mi vida ofreciéndome apoyo incondicional, a mis hermanas Katherine, Jhoselyn, Gissela que fueron la motivación diaria para seguir escalando hacia la cima, de igual manera dar gracias a mi bis abuelito Juan Cayancela y mis abuelitos Juana Pallo y Reinaldo Tucumbi quienes fueron mi mayor motivación quien con sus consejos me guiaban y animaban a seguir adelante, doy gracias a todas las personas que me han apoyado incondicionalmente en especial a mis tias/os, Celia, Lourdes, Williams, Rosita , Carlos, Diego, Gladys y a mis primas/os , Leonel, Samir, Briana, Jair, Adelyn, Moises , no ha sido fácil el camino hasta ahora pero gracias a sus aportes, a su inmenso amor, a su inmensa bondad y apoyo, hago presente mi gran afecto hacia ustedes.

Gracias por no soltarme nunca por siempre ser quienes son y por creer en mí.

Juana Maribel Tucumbi Tipantuña

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a con tanto cariño a mis abuelitos, bis abuelito, mis tias/os, sé que estoy segura que se sentirán orgullosos de verme cumpliendo mis metas. A mi Adelyn Aitana, por ser el pilar más importante en mi vida y por demostrarme cariño, amor a tan corta edad quien en mis momentos malos estuvo aquí pendiente de mi te quiero mi vida. A mis padres Kleber y Nancy por apoyo incondicional que día a día me brindaron por no abandonarme en ningún momento son mi mayor inspiración. Esto va dedicado a ustedes quienes me enseñaron que la familia es lo único verdadera que tenemos en nuestras vidas.

Juana Maribel Tucumbi Tipantuña

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN LODOS RESIDUALES MEDIANTE EL USO DE CÁSCARAS DE CAMARÓN Y CACAO, EN LA CASA HACIENDA DE SALACHE 2024-2025”

Autora:

Tucumbi Tipantuña Juana Maribel

RESUMEN

La presencia de metales pesados en lodos de aguas residuales genera una problemática ambiental y sanitaria, ya que pueden contaminar suelos, aguas superficiales y subterráneas, afectando la salud humana, la biodiversidad y limitando el uso agrícola y recreativo de los lodos tratados. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar las eficiencias y absorciones de los residuos de cacao y camarón, para la remoción de cromo hexavalente en lodos residuales con implementación de biorremediación en la Hacienda Salache, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi 2024 - 2025. Se aplicó una metodología cuantitativa, mediante la cual se llevó a cabo la recolección, el tratamiento y la cuantificación de cromo hexavalente presente en tres muestras de lodo residual de 50, 100, y 150 gramos respectivamente antes de la adsorción del metal pesado por medio del kit HI3846 químico de pruebas colorimétricas para la concentración de cromo en muestras que contengan de 0.0 a 1.0 mg/L (ppm) de Cr (VI). Cada muestra de lodo fue tratada con ambos absorbentes (camarón y cacao) para probar su efectividad. En ambos casos, se utilizó proporciones de 25, 50 y 100 gramos de absorbentes. Los resultados obtenidos por la identificación de la concentración de cromo hexavalente indicaron un valor menor a 1,75 mg/kg. En la evaluación de la eficiencia de remoción del metal pesado en 100gr de lodo y 25gr de cáscaras de camarón se alcanzó la mayor concentración con 0,53 mg/L. A su vez, en 150gr de lodo, 100 gramos de cáscaras de cacao removieron 0,71 mg/L. En conclusión, se observó una mayor capacidad de adsorción por parte de las cáscaras de cacao, evidenciando su utilidad en la implementación de biorremediación de lodo de agua residual.

Palabras claves: Problemática ambiental, kit HI3846, adsorción, metales pesados, cáscaras de camarón, cáscaras de cacao.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

Author:

Tucumbi Tipantuña Juana Maribel

ABSTRACT

The presence of heavy metals in wastewater sludge generates an environmental and sanitary problem, since they can contaminate soils, surface and groundwater, affecting human health, biodiversity and limiting the agricultural and recreational use of the treated sludge. The objective of this research was to evaluate the efficiency and absorption of cocoa and shrimp waste for the removal of hexavalent chromium in wastewater sludge with the implementation of bioremediation at Hacienda Salache, Latacunga canton, Cotopaxi province 2024 - 2025. A quantitative methodology was applied, through which the collection, treatment and quantification of hexavalent chromium present in three samples of wastewater sludge of 50, 100, and 150 grams respectively before adsorption of the heavy metal was carried out using the HI3846 chemical colorimetric test kit for chromium concentration in samples containing from 0.0 to 1.0 mg/L (ppm) of Cr (VI). Each sludge sample was treated with both adsorbents (shrimp and cocoa) to test their effectiveness. In both cases, proportions of 25, 50 and 100 grams of adsorbents were used. The results obtained from the identification of the hexavalent chromium concentration indicated a value of less than 1.75 mg/kg. In the evaluation of the removal efficiency of the heavy metal in 100 grams of sludge and 25 grams of shrimp shells, the highest concentration was reached with 0.53 mg/L. In turn, in 150 grams of sludge, 100 grams of cocoa shells removed 0.71 mg/L. In conclusion, a higher adsorption capacity of cocoa shells was observed, evidencing their usefulness in the implementation of bioremediation of wastewater sludge.

Keywords: environmental problem, HI3846 kit, adsorption, heavy metals, shrimp shells, cocoa shells.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vi
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
ÍNDICE DE CONTENIDO	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
1. INFORMACIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
4. PROBLEMÁTICA	4
5. OBJETIVOS	6

6.	ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS		
	7		
7.	FUNDAMENTACIÓN	CIENTÍFICO	TÉCNICA
	9		
8.	PREGUNTA		CIENTÍFICA
	18		
9.	METODOLOGÍA		
	18		
10.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		
	28		
11.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)		
	38		
12.	CONCLUSIONES		
	39		
13.	RECOMENDACIONES		
	39		

14.	BIBLIOGRAFÍA	40
15.	ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i>	<i>Beneficiarios del proyecto</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 2.</i>	<i>Actividades y sistemas de tareas de los objetivos</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 3</i>	<i>Criterios de calidad del suelo – TULSMA AM 028</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 4</i>	<i>Tratamientos aplicados en la remoción de cromo VI utilizando diferentes cantidades de cáscaras de cacao y camarón</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5</i>	<i>Concentración de Cr (VI) en suelo inicial, tratado con cáscaras de cacao y cáscaras de camarón</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 6</i>	<i>Concentración de Cr (VI) en L50, L100 y L150 con cáscaras de camarón (mg/L)</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 7</i>	<i>Concentración de cromo hexavalente en L50, L100 y L150 con cáscaras de cacao (mg/L)</i>	<i>32</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	<i>Ubicación de la casa hacienda de Salache</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2</i>	<i>Fases de investigación</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3</i>	<i>Box plot de remoción de cromo absorbente de cáscaras de camarón.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4</i>	<i>Box plot de remoción de cromo absorbente de cáscaras de cacao</i>	<i>34</i>

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título

“Remoción de Cromo Hexavalente en Lodos Residuales mediante el uso de Cáscaras de Camarón y Cacao, en la Casa Hacienda de Salache 2024-2025”.

Fecha de inicio: Noviembre 2024.

Fecha de finalización: Octubre 2024 -Marzo 2025.

Lugar de ejecución

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia: Carrera de Ambiente.

Proyecto de investigación vinculado: “REMOCION DE CROMO HEXAVALENTE EN LODOS RESIDUALES MEDIANTE EL USO DE CÀSCARAS DE CAMARÒN Y CACAO, EN LA CASA HACIENDA DE SALACHE 2024-2025.”

Equipo de trabajo

- **Tutor de titulación:** Ing. Jose Luis Agreda Oña
- **Investigador 1:** Juana Maribel Tucumbi Tipantuña

Área de conocimiento: Medio ambiente

Línea de investigación: Análisis, conservación y aprovechamiento del ecosistema.

Línea de vinculación de la carrera: Sostenibilidad Ambiental, Manejo y conservación del recurso suelo.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los subproductos generados posteriormente de los tratamientos biológicos en las plantas de tratamiento de agua residual son un resultado del proceso que termina siendo un residuo sin un uso aparente. Estos lodos representan hasta 45 millones de toneladas anuales de sólidos secos (Romero, Calderón, & Armijos, 2022). Es así como surge como necesidad una opción para ser eliminados de manera técnica, ambiental y económicamente viable, ya que, a futuro se espera que la población llegue hasta 9.7 millones de personas, con lo que la gestión de lodos residuales requiere de acciones para su gestión (Cortes, Contreras, Camacho, & Guzmán, 2024; Ceballos, Pous, Bañeras, Balaguer, & Puig, 2024).

En varios países los lodos provenientes de las aguas residuales se consideran como un desecho que no cuentan con un uso específico o que pueden ser un recurso. Esto devela que es posible darle una utilidad aplicando un tratamiento posterior. En el caso de Estados Unidos (EE. UU.) y la mayoría de los países de la Unión Europea (UE), la aplicación terrestre de lodos de depuradora es una práctica común. Sin embargo, países como Austria, Bélgica, Alemania y los Países Bajos favorecen la incineración debido a restricciones regulatorias o prohibiciones sobre la aplicación en la tierra (Yesil, Molaey, Calli, & Tugtas, 2021). De esta manera la gestión de lodos es posible, si se da una utilidad.

En los últimos años, China ha implementado cambios significativos en la gestión de lodos de depuradora (Rosero, 2021). Los datos actuales indican que aproximadamente el 13 % de los lodos de depuradora se utilizan para materiales de construcción, el 22 % se incineran, el 27 % se entierran en vertederos y poco menos del 40 % se utilizan para la aplicación en la tierra o se vierten de forma inadecuada, ya que distinguir entre estas prácticas sigue siendo un desafío (Steele, Meng, Venkatesan, & Halden, 2022). En el caso de Ecuador, los lodos se emplean como subproductos dentro de la agricultura, y construcción (León & Viera, 2022).

A nivel de país, Ecuador no cuenta con información exacta de la generación de lodos de aguas residuales, pero depende de varios factores, como el tamaño de la población, el nivel de industrialización y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales. Ante esto Caiza y Pujota (2022) de reutilización de aguas grises de uso doméstico en el cantón Latacunga menciona que se puede considerar un promedio de 150 ton/mes proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Entre los tratamientos que pueden aplicarse a los lodos de depuradora, se encuentra la deshidratación, la estabilización y el tratamiento térmico. En el primero se reduce el contenido

de agua para disminuir su volumen y peso, el segundo se basa en la reducción de materia orgánica por medio de procesos biológicos o químicos en lo que incluye la digestión anaerobia donde los microorganismos descomponen la materia y producen gas. En el tratamiento térmico, se emplean altas temperaturas para deshidratar y estabilizar los lodos y se genera energía (Ibañez, 2024). Estos tratamientos convencionales, se ven limitados cuando es necesario remover metales pesados, en donde la literatura sugiere que el método más viable es el uso de adsorbentes debido a su costo, sostenibilidad, eficiencia y versatilidad (Zegarra, 2022). El proceso de adsorción se basa en la atracción del adsorbente sobre las cargas opuestas. por medio de la atracción física de esta manera captura iones metálicos dentro de su estructura (Tejada, Villabona, Caballero, Paternina, & Granados, 2019).

Es así como, se evidencia que existen tratamientos para los lodos de depuradora, pero la presencia de metales pesados en los lodos dificulta su uso directo para otros fines como su uso agrícola. El contenido total de metales pesados de los lodos de depuradora es de alrededor de 0,5-2% (sobre la base del peso seco). En su mayoría los metales presentes son tóxicos, por lo que, surge como necesidad encontrar nuevos tratamientos con la tecnología disponible para la remoción de metales pesados en los lodos de depuradora, siendo este un paso primordial para darles una utilidad.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

La remoción del cromo hexavalente mediante el uso de cáscaras de camarón y cacao es un medio para reducir y/o eliminar la concentración de este metal en los lodos residuales. Es por ello, que esta tecnología resulta ser beneficiosa para toda la población que busca emplear este residuo como un subproducto sin que este resulte perjudicial por la presencia del metal pesado, con lo que se protege la salud humana y el medio ambiente.

Tabla 1. *Beneficiarios del proyecto*

Beneficiarios	
Directos	Moradores de Salache • 2160 habitantes

Indirectos	El cantón Latacunga
	• 69055 habitantes

Fuente: PDOT Latacunga (2020).

4. PROBLEMÁTICA

El problema de la presente investigación se centra en el estudio de un método de gestión para remover MP por medio de biomasa, con lo cual es posible retirar este MP. La información recopilada en el documento centra su atención en la adsorción como método para la remoción de Cr (VI). Esto debido a que la presencia de este metal es peligrosa para la salud humana y es necesario contar con información documentada para que sea posible continuar innovando en la eliminación de metales de lodos residuales.

Es así que iniciamos con el medio ambiente es el entorno donde viven o trabajan los seres humanos, las plantas, los animales y los microorganismos (del Pino, 2024). Está compuesto por la tierra, la atmósfera terrestre y el agua. El sistema de la Tierra está definido por las cuatro esferas: la biosfera (seres vivos), la atmósfera (aire), la litosfera (tierra) y la hidrosfera (agua), que trabajan juntas en armonía (Calle, Rivera, & Lalvay, 2021). Los contaminantes, son sustancias químicas que se encuentran de manera natural en el planeta para la variación de su concentración puede ocasionar problemas al ambiente como a la población humana (Quispe, Silva, Ticona, Sarmiento, & Tumi, 2021).

Los metales pesados (MP) se caracterizan por diversas propiedades, ya que, son elementos químicos con alta densidad y peso atómico. Se destacan por sus propiedades químicas y toxicidad. Pueden ser peligrosos para la salud y el medio ambiente. Ejemplos incluyen el mercurio, el plomo y el cadmio. Se utilizan en diversas industrias, pero requieren manejo cuidadoso (Razzak, et al., 2022). Estos metales, pueden acumularse en el medio ambiente tanto por causas naturales como por actividades humanas. En el caso de la acumulación natural, esta ocurre en hábitats terrestres, marinos y de aguas dulces (Moreno, Vázquez, Cordero, & González, 2022).

La contaminación por MP de los lodos de depuradora es una de las preocupaciones que impiden su aplicación en la tierra (Rubí, Soto, & Acosta, 2022). Los procesos tradicionales aplicados para la estabilización de los lodos de depuradora aún son inadecuados para ofrecer soluciones sostenibles al problema de los metales pesados (Yesil, Molaey, Calli, & Tugtas, 2021). Esto ya que, provienen de las actividades tanto industriales como domésticas, por lo que, su disposición

directa a los cursos de agua no debería realizarse, pero su presencia en el ambiente es notoria (Arqueros, Morales, Roco, & Gonzalez, 2023).

Los MP son elementos naturales con pesos atómicos relativamente altos, números atómicos y densidades mayores a $>5 \text{ g/cm}^3$. El arsénico (As), el cadmio (Cd), el cromo (Cr), el plomo (Pb) y el mercurio (Hg) son metales pesados prioritarios debido a sus importantes implicaciones para la salud pública, y muchos de ellos están clasificados como carcinógenos potenciales (Dey, et al., 2021). Las concentraciones beneficiosas varían según el metal pesado específico y el tipo de microorganismos. Sin embargo, debido a su acumulación, los metales se acumulan con el tiempo y pueden ser perjudiciales para todo el ciclo de vida, en especial el Cromo (Siddiqui, Rameez, Farooqi, & Basheer, 2023).

La presencia del cromo (VI) en el suelo, es un indicador de contaminación, con lo que afecta la calidad de este, así como la salud de las plantas (Mamani & Mendoza, 2022). Este metal puede ser absorbido por la vegetación y de esta manera ingresar en la cadena trófica por efectos de bioacumulación y biomagnificación (Núñez & Tipantuña, 2024). En especial se encuentra dentro de los lodos residuales que proviene de fuentes industriales como la galvanoplastia, la fabricación de productos químicos y la industria de acero (Posada, 2023). Los efluentes de estas actividades presentan altas concentraciones de Cromo (VI), por esta razón previo al descargo requieren de un tratamiento adicional (Panesso, 2023).

Se ha evidenciado que la exposición al cromo hexavalente puede ocasionarse debido a la inhalación de distintos aerosoles, ingerir agua o alimentos contaminados y por la dermis (Reina, et al., 2023). En la salud humana los efectos de la exposición a cromo incluyen cáncer de pulmón, enfermedades hepáticas, renales, y daños a la piel, siendo perjudicial si la exposición es periódica (Lagua, 2021). De esta manera la contaminación de lodos residuales debido a la concentración de cromo hexavalente es una amenaza para el ambiente y la salud humana (Vanegas, 2022).

En la actualidad existen diversos métodos y tecnologías para la remoción de los iones metálicos, como la precipitación química, intercambio iónico, membranas, osmosis inversa, entre otras (Boukarma, et al., 2024). Entre los procesos estudiados se encuentra la adsorción ha surgido como un enfoque destacado para la eliminación de metales de las aguas residuales debido a su flexibilidad operativa, adaptabilidad del diseño, impacto notable en la toxicidad, disponibilidad biológica, rentabilidad, asequibilidad y eficacia (Wang & Guo, 2023).

La eliminación adsorptiva de MP consta de tres etapas principales: la fabricación de materiales adsorbentes, la mezcla de adsorbentes con muestras contaminadas por metales pesados y la

acumulación del metal en la superficie exterior o dentro de los poros del material utilizado como adsorbente (Zapien, et al., 2023). Además, el proceso implica la recuperación y reciclaje del adsorbente gastado (Mena & Perez, 2021). Por lo tanto, el desarrollo de adsorbentes con propiedades de adsorción específicas juega un papel crucial en la eliminación efectiva de HM mediante técnicas de adsorción (Al-Amrani & Onaizi, 2024).

Con base en lo expuesto, la búsqueda e investigación de métodos de adsorción es una temática interesante e innovadora con lo cual el presente estudio utilizara como adsorbente los residuos agrícolas para remover o eliminar metales pesados de lodos de aguas residuales (Reina, et al., 2023). Esto deleva una oportunidad para establecer la eficacia de la remoción de cáscara de cacao y camarón, con lo cual generar conocimiento acerca de esta temática (de Souza, Becker, & Vieira, 2024).

5. OBJETIVOS

5.1. General

- Evaluar las eficiencias y absorciones de los residuos de cacao y camarón, para la remoción de cromo hexavalente en lodos residuales con implementación de biorremediación.

5.2. Específicos

- Identificar químicamente la presencia de cromo hexavalente en los lodos activos mediante la caracterización fisicoquímica para evaluar perfiles de remediación.
- Realizar un programa de remediación de suelos mediante biomasa orgánica proveniente de cacao y camarón para adsorción de contaminantes.
- Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes basados en estrategias que utilizan la cascara de cacao y de camarón como técnica de remediación de cromo hexavalente.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS

OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2. *Actividades y sistemas de tareas de los objetivos*

Objetivos Específicos	Actividades (tareas)	Metodología	Resultados de la actividad
<ul style="list-style-type: none"> Identificar químicamente la presencia de cromo hexavalente en los lodos activos mediante la caracterización fisicoquímica para evaluar perfiles de remediación. 	Recolección de muestras de lodos provenientes de aguas residuales y análisis de laboratorio	Extracción con agua Y7190	Informe de laboratorio de la concentración de Cromo
<ul style="list-style-type: none"> Realizar un programa de remediación de suelos mediante biomasa orgánica proveniente de cacao y camarón para adsorción de contaminantes. 	Redacción de la información de los resultados con los adsorbentes y la remoción de cromo.	Análisis estadístico de la remediación de suelos con biomasa	Informe final de tesis
<ul style="list-style-type: none"> Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes basados en estrategias que utilizan la cascara de cacao y de camarón como técnica de remediación de cromo hexavalente. 	Recolección de muestras de cáscaras de cacao y cáscaras de camarón para emplearse como adsorbentes Aplicación de los adsorbentes sobre los lodos de depuradora.	Kit químico HI3846 de pruebas colorimétricas para la concentración de cromo en muestras	Obtención de datos numéricos para cuantificar la concentración de cromo en los adsorbentes

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Lodos de aguas residuales

Los lodos son el resultado de una gran acumulación de agregados que se constituyen de compuestos como microorganismos, nutrientes, así como sustancias poliméricas que son producto de aguas residuales. Estos remanentes como desecho del tratamiento de aguas residuales cuentan con un alto contenido de materia orgánica que no pueden ser descompuesta por los procesos de biodegradación y que pueden albergar compuestos tóxicos, sales e inclusive metales (Ibañez, 2024).

Con el gran desarrollo de la productividad, las demandas de la vida humana en todos los aspectos aumentan constantemente y también se han desarrollado rápidamente una variedad de industrias altamente contaminantes. Una gran cantidad de aguas residuales industriales transportan una gran variedad de contaminantes al entorno acuático, lo que supone una gran amenaza para el medio ambiente ecológico y la salud humana. Las aguas residuales han ganado preocupación mundial debido a sus graves efectos sobre el medio ambiente. Entre las fuentes de contaminación del agua, los iones de metales pesados han sido clasificados como uno de los contaminantes más tóxicos (Li, et al., 2022).

7.1.1. Compuestos de los lodos activos

Ibañez (2024) indica que la composición de lodos activos presenta parámetros físicos químicos como sólidos totales, demanda química de oxígeno, patógenos, y metales pesados. En lo que concierne al pH este se acerca a valores de 6, el DQO en rangos cercanos a los 450 mg/Kg, sólidos totales, entre los patógenos se hallaron Coliformes de hasta 100 NPM/g. Finalmente en lo que concierne a metales es posible encontrar Cromo (10 mg/Kg), Mercurio (1,68 mg/Kg) y Arsénico (< 5mg/kg).

El cromo hexavalente Cr (VI) es un tipo de iones metálicos tóxicos típicos producidos en varias actividades industriales relacionadas con el uso de cromo, que puede inducir muchas enfermedades graves como alergia cutánea, daño renal, cáncer e incluso defectos genéticos. El Cr (VI) y el cromo trivalente (Cr (III)) son dos especies principales de cromo existentes en las aguas residuales, mientras que el Cr (III) es aproximadamente 1000 veces menos tóxico que el Cr (VI) (Rosero, 2021).

7.1.2. Metales pesados en lodos residuales

Los metales pesados (MP) son elementos naturales con pesos atómicos relativamente altos, números atómicos y densidades mayores (Boukarma, et al., 2024). El arsénico (As), el cadmio (Cd), el cromo (Cr), el plomo (Pb) y el mercurio (Hg) son metales pesados prioritarios debido

a sus importantes implicaciones para la salud pública, y muchos de ellos están clasificados como carcinógenos potenciales (Liu, et al., 2024). Las industrias como el procesamiento de metales, las refinerías y la fabricación son los principales contribuyentes a las emisiones de MP (Wang & Guo, 2023). Los estudios han demostrado que las ciudades de tamaño mediano con mayor actividad industrial exhiben mayores concentraciones de HM en lodos de depuradora en comparación con las ciudades más grandes (Molaey, Appels, Yesil, Tugtas, & Çalli, 2024).

La acumulación de metales pesados en lodos de depuradora se atribuye principalmente a la descarga de aguas residuales industriales en los sistemas municipales, el deterioro de la infraestructura de alcantarillado y la escorrentía superficial (Li, et al., 2022). Una gran cantidad de aguas residuales industriales transportan una gran variedad de contaminantes al entorno acuático, lo que supone una gran amenaza para el medio ambiente ecológico y la salud humana (Boukarma, et al., 2024). Los metales pesados son los elementos metálicos cuya densidad es superior a 5 g/cm³ y el plomo, el cadmio, el cromo, el mercurio y el cobre son los metales pesados tóxicos más comunes en las aguas residuales industriales (de Souza, Becker, & Vieira, 2024).

La concentración de metales en los lodos de depuradora no es el único determinante de los riesgos ambientales de la aplicación en el suelo (Arqueros, Morales, Roco, & Gonzalez, 2023). La especiación de HM en los lodos de depuradora desempeña el papel más importante en la toxicidad de los metales, ya que la absorción de metales por parte de las plantas depende tanto de la concentración de metales como de la biodisponibilidad (Liu, et al., 2024). La biodisponibilidad de los metales está regida por varios procesos químicos y bioquímicos, que incluyen precipitación-disolución, sorción-desorción, complejación-disociación y oxidación-reducción (Li, et al., 2022). Si bien la importancia de estos procesos puede diferir para cada elemento, todos están influenciados por el pH del suelo y las actividades biológicas (Dong, et al., 2022).

Las especies metálicas difieren en su solubilidad y partición según la composición isotópica, el estado de oxidación y la estructura compleja/molecular (Mendoza, Bes, Luján, & Ferrer, 2021). Los metales en los lodos de depuradora se dividen en fracciones solubles/intercambiables en ácido (F1), reducibles (F2), oxidables (F3) y residuales (F4) (Al-Amrani & Onaizi, 2024). Las fracciones intercambiables y reducibles exhiben mayor movilidad y biodisponibilidad en comparación con las otras tres formas que son relativamente estables. Por lo tanto, estas fracciones (F1 y F2) pueden migrar y causar toxicidad directa. Además, los metales como Cu y Zn que están presentes en la fracción oxidable (F3), pueden volverse biodisponibles

indirectamente durante la aplicación en la tierra y pueden solubilizarse en un ambiente oxidante (Razzak, et al., 2022).

7.1.3. Tratamientos de lodos residuales

El tratamiento de los lodos se da por separado de las aguas residuales, con la finalidad de estos sean estabilizados, desinfectados y espesados. Todo esto para ser llevados a un nuevo uso que comúnmente es destinado a fertilizar el sector agrícola. Esto con regulaciones de sus propiedades para que el uso que se dé sea de calidad a diferencia de las aguas residuales de donde provinieron (Caiza & Pujota, 2022).

El tratamiento inicia con el espesamiento en donde se reduce el volumen del lodo para que este elimine el contenido de agua y así incrementar la cantidad de sólidos (Caiza & Pujota, 2022). En este caso se emplean técnicas por gravedad, flotación y centrifugación, aplicadas para lodos primarios, lodos biológicos y filtración de estos, respectivamente (Mendoza, Bes, Luján, & Ferrer, 2021). En el caso de la estabilización, esta se realiza con el fin de eliminar olores y reducir partículas que pueden contener patógenos (Posada, 2023). Además, se emplea el compostaje para descomponer toda la carga biológica, así como la deshidratación para que, de manera natural o mecánica, se reduzca la humedad de lodo para que exista más material seco (Mendoza, Bes, Luján, & Ferrer, 2021).

Es así como luego de revisar el tratamiento en sí, se aprecia que existen varios métodos, hasta ahora todo enfocados en reducir distintos parámetros, pero muchos son preliminares como el tratamiento biológico, el proceso de electrocoagulación, la separación por membrana, el fotocatalítico, el intercambio iónico, y la adsorción se desarrollaron para eliminar las especies de Cr (VI) de las aguas residuales (Razzak, et al., 2022).

7.2. Presencia de Cr (VI) en el ambiente

En general, el Cr (VI) suele existir como aniones metaloides en agua contaminada. Según la ley de cargas eléctricas, las cargas opuestas pueden atraerse entre sí. Por lo tanto, los grupos amino fácilmente protonados pueden seleccionarse como el sitio adecuado para capturar especies de Cr (VI) y transformar Cr (VI) en Cr (III) a través de la reacción de reducción (Al-Amrani & Onaizi, 2024).

El agua es un recurso valioso cuya demanda en todo el mundo es cada vez mayor y está expuesta a numerosas fuentes de contaminación. Industrias como la minería, el acero y la galvanoplastia vierten efluentes acuosos que contienen niveles relativamente altos de metales pesados como plata, cadmio, cobre, cobalto, cromo, zinc, hierro y plomo (Caiza & Pujota, 2022). Los efluentes

no tratados de estos procesos de fabricación tienen un impacto adverso en el medio ambiente (Reina, et al., 2023).

Una amplia gama de factores geológicos como la deposición de azufre, el cambio climático global, etc. y modificadores antropogénicos como el lavado ácido de los metales en las industrias de galvanoplastia, otras descargas calentadas, la eliminación de la vegetación ribereña, las modificaciones del flujo, etc. influyen en el entorno térmico contribuyendo al aumento de las concentraciones de metales disueltos (Dong, et al., 2022).

7.2.1. Origen del cromo en el ambiente

Los contaminantes de metales pesados (por ejemplo, Hg, Pb, Cr, Cd y As) de las aguas residuales industriales son altamente peligrosos para el sistema biológico y el sistema ambiental, incluso para los seres humanos (Mamani & Mendoza, 2022). Entre varios metales pesados, el Cr (VI) es un carcinógeno altamente tóxico, que podría contaminar gravemente el agua y el suelo (Li, et al., 2022). La contaminación de Cr (VI) causada por actividades productivas humanas se discute científicamente ampliamente, como en los campos de las curtidurías de cuero, las industrias textiles, del cemento y de la galvanoplastia (Rajapaksha, et al., 2022).

7.2.2. Efectos del cromo en el ambiente

En los últimos años, la contaminación por metales pesados nocivos (Cr, As, Hg, Cu, Pb, Ni y Cd) ha atraído una enorme cantidad de interés debido a su genotoxicidad, nefrotoxicidad, oncogenicidad y bioacumulación en toda la cadena alimentaria, provocando graves problemas ecológicos ambientales y de salud humana (Lagua, 2021). El Cr (VI), es uno de los metales pesados más dañinos, proviene principalmente de la minería, el acabado de metales, el curtido del cuero, la producción de pigmentos, la galvanoplastia, la conservación de la madera, etc. La concentración máxima admisible de Cr (VI) descargada al sistema acuático superficial se identifica como $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ según las directrices de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) (Panesso, 2023).

En general, el Cr tiene dos estados de oxidación familiares en la naturaleza, el Cr(VI) y el Cr(III). Se informa que los compuestos de Cr(VI) son de 10 a 100 veces más venenosos que sus contrapartes de Cr(III) a través de la administración oral, que pueden acumularse en el cuerpo humano de forma permanente (Lagua, 2021). La exposición a Cr(VI) durante un tiempo prolongado puede causar alergia en la piel, cáncer de pulmón, corrosión de los órganos

respiratorios, anomalías cromosómicas y lesiones en el ADN debido a su carcinogenicidad y mutagenicidad (Posada, 2023).

7.3. La adsorción

La absorción y la dispersión son dos conceptos fundamentales en física y química que se refieren a la interacción entre la radiación electromagnética (como la luz) y la materia (Mena & Perez, 2021). La adsorción de metales pesados es un proceso ecológico que utiliza materiales biológicos, como algas, hongos, bacterias y residuos vegetales, para capturar y retener metales tóxicos presentes en el medio ambiente (Dong, et al., 2022). Estos organismos poseen superficies con propiedades específicas que atraen y fijan iones metálicos, lo que reduce la concentración de contaminantes en su entorno. Este método es especialmente eficaz debido a su bajo costo, sostenibilidad y capacidad para tratar suelo contaminados. Además, es un enfoque más amigable con el medio ambiente para la descontaminación (Cayo, Montalvo, & Pampa, 2023).

La adsorción química de metales en biomasa es un proceso que permite la captación activa o pasiva de iones metálicos debido a la propiedad que diversas biomásas vivas o muertas poseen para enlazar y acumular estos contaminantes por diferentes mecanismos (Kuppan, Padman, Mahadeva, Srinivasan, & Devarajan, 2024). La aplicación de materiales de bajo costo obtenidos a partir de diferentes biomásas, como la flora microbiana, algas y residuos agroindustriales, ha sido investigada para reemplazar el uso de métodos convencionales en la remoción de contaminantes, tales como los metales pesados (Reina, et al., 2023). Este proceso es una alternativa eficaz y sostenible para la descontaminación de aguas residuales, evitando problemas subsecuentes como la generación de lodos químicos (Boukarma, et al., 2024).

La adsorción física de metales en biomasa es un proceso en el que las partículas de biomasa actúan como adsorbentes naturales, atrapando y reteniendo iones metálicos en su superficie mediante fuerzas físicas como la van der Waals y las fuerzas electrostáticas (Rajapaksha, et al., 2022). Este método es particularmente útil para la eliminación de metales pesados de aguas residuales o fangos, ya que, es una alternativa económica y sostenible a los métodos convencionales¹. La eficiencia de la adsorción puede ser influenciada por factores como el pH de la solución, la temperatura, y la concentración de metales presentes (Reina, et al., 2023).

7.3.1. Adsorción de metales pesados

La integración de tecnologías de vanguardia ofrece soluciones prometedoras para abordar desafíos ambientales críticos (Layme, 2021). En la actualidad, se han propuesto varias técnicas

para eliminar los MP de las aguas residuales, incluyendo adsorción, precipitación, separación por membranas, intercambio iónico, etc. (Zhang, et al., 2020). Entre las técnicas para eliminar metales pesados, la adsorción se considera como el método más rentable debido a su bajo consumo de energía, operación simple y alta efectividad (Reina, et al., 2023). En los últimos años, los adsorbentes basados en polímeros naturales (por ejemplo, quitosano, celulosa, quitina y alginato) se han estudiado ampliamente por su renovabilidad natural, biodegradación, abundancia y naturaleza liviana (Rajapaksha, et al., 2022).

7.4. Bioadsorción

Entre las diversas técnicas (por ejemplo, reducción química, adsorción, separación por membrana, deposición electroquímica, etc.), la adsorción se utiliza con frecuencia para la remediación y atenuación de Cr (VI) (Reina, et al., 2023). debido a su gran capacidad de procesamiento industrial, bajo coste y fácil operación. En consecuencia, se ha hecho mayor hincapié en la preparación de adsorbentes de alta eficiencia y solo se pueden aplicar adsorbentes rentables (Milić, Avdalović, & Knudsen, 2024).

Además, el paso crucial de la tecnología de adsorción es elegir un adsorbente de bajo costo y efectivo (Reina, et al., 2023). Los materiales de carbono derivados de biomasa son uno de los adsorbentes con mayor potencial para eliminar metales pesados en las aguas residuales por sus ventajas de bajo costo, renovabilidad, diversidad estructural, estabilidad química superior y la posibilidad de introducir diversas funcionalidades (Rajapaksha, et al., 2022).

Hasta ahora, los materiales de carbono derivados de biomasa para su uso como adsorbentes en la purificación de aguas residuales que contienen Cr (VI) se han explotado a partir de fuentes con una variedad (Rajapaksha, et al., 2022). Además, algunos adsorbentes de tamaño nanométrico siempre enfrentan el problema de ser difíciles de separar completamente de la solución acuosa, lo que causa una contaminación secundaria indeseable y niveles tóxicos poco claros (Yesil, Molaey, Calli, & Tugtas, 2021).

El proceso de bioadsorción se fundamenta en la absorción de diversas especies químicas por una biomasa, mediante procesos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Este procedimiento consta de una etapa sólida -biomasa- (sorbente o adsorbente) y una etapa líquida (solvente) que alberga las especies disueltas (adsorbatos) que serán retenidas por la masa. Para que este proceso ocurra, es necesario que haya afinidad entre el adsorbente y los adsorbatos, para que estos últimos sean trasladados al sólido donde serán retenidos por diversos mecanismos. Esta operación se prolonga hasta que se logra un balance entre el adsorbato disuelto y el adsorbato ligado al sólido (Rosero, 2021).

7.5. Normativa legal

La Constitución de la República del Ecuador 2008, la cual declara en el Art. 22 – 27 “El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza”. De igual forma en el Art 276 – 4, establece que “recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural”. El Art. 397, “establece que en caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental”. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a: literal 2 “Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales”. El Art 411 por su parte “establece que el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua”

En tal sentido, el Código Orgánico de Organización Territorial Autónomo Descentralizado (COOTAD), reseña en el Artículo 136 que “los gobiernos autónomos descentralizados municipales establecerán, en forma progresiva, sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado.

La Ley de Gestión Ambiental establece en su Artículo 40 que “toda persona natural o jurídica que, en el curso de sus actividades empresariales o industriales estableciere que las mismas pueden producir o están produciendo daños ambientales a los ecosistemas, está obligada a informar sobre ello al Ministerio del ramo o a las instituciones del régimen seccional autónomo”. La información se presentará a la brevedad posible y las autoridades competentes deberán adoptar las medidas necesarias para solucionar los problemas detectados. En caso de incumplimiento de la presente disposición, el infractor será sancionado con una multa de veinte a doscientos salarios mínimos vitales generales. Igualmente establece esta Ley en su Art. 41

norma que, “con el fin de proteger los derechos ambientales individuales o colectivos, concédase acción pública a las personas naturales, jurídicas o grupo humano para denunciar la violación de las normas de medio ambiente, sin perjuicio de la acción de amparo constitucional previsto en la Constitución Política de la República.

La reforma al Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro Vi, Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2, 31/03/2003 en su Anexo 2 Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, en el Art 3.2 indica como adsorción “a fijación de una especie molecular o iónica (adsorbato) sobre la superficie de una sustancia sólida (adsorbente). Es un fenómeno de superficie complejo, en el que se produce fuerzas de interacción molecular fisicoquímicas, entre el adsorbato y el adsorbente.”, Art 3.14 el contaminante de suelo como “Sustancia que, en cualquier estado físico o formas, que al incorporarse o interactuar en el suelo, altere o modifique su composición natural y degrade su calidad ambiental”. De igual forma la norma establece criterios de calidad del suelo, que el Cr (VI) no puede sobrepasar el 0,4 mg/Kg (Tabla 3).

Tabla 3 *Criterios de calidad del suelo – TULSMA AM 028*

Parámetro	Unidades (Concentración en peso seco de suelo)	Valor
Conductividad	uS/m	200
pH	-	6 - 8
Relación de adsorción de Sodio (índice SAR)	-	4
Arsénico (inorgánico)	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Cromo Total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0.4

Fuente: TULSMA (2015).

8. PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Qué tipo de material adsorbente las cáscaras de cacao o las cascarás de camarón, remueve la mayor concentración de cromo hexavalente proveniente de los lodos de aguas residuales?

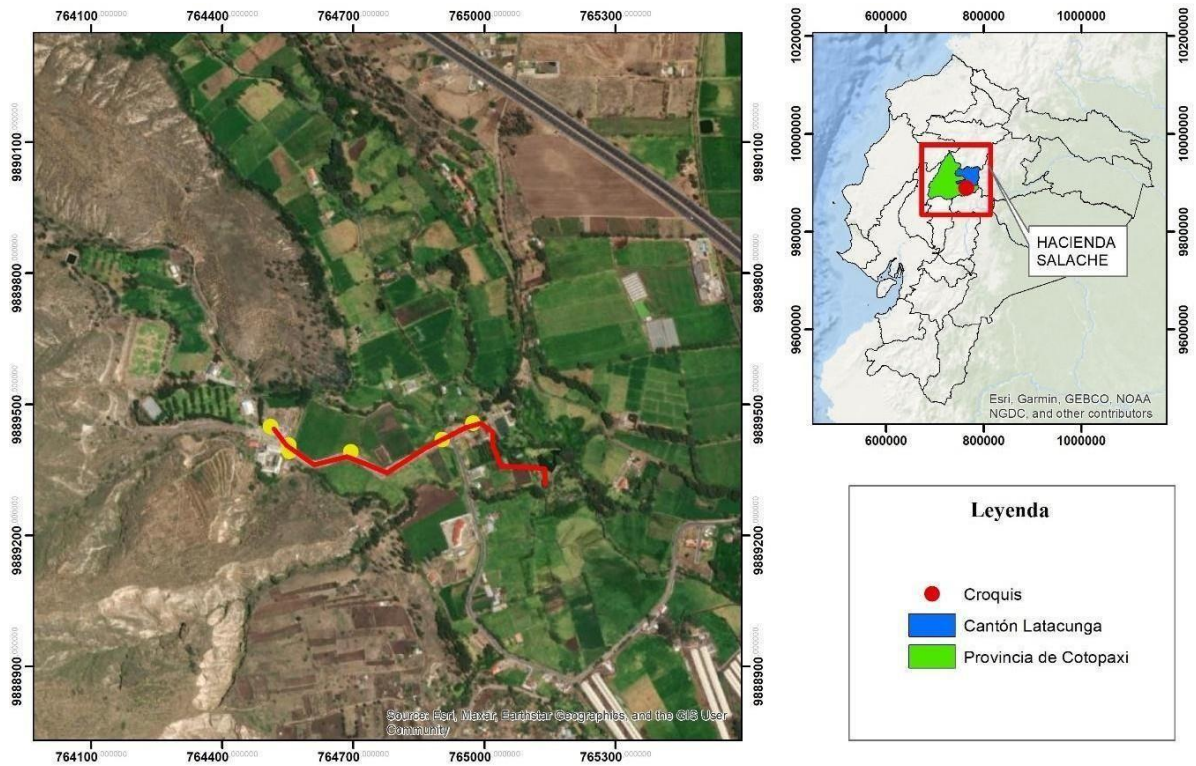
9. METODOLOGÍA

Para la realización de la investigación se aplicó un ensayo en laboratorio, siendo la primera parte la identificación de la concentración de cromo hexavalente por medio del Kit químico de pruebas para Cromo VI. Luego de ello se ejecutó el experimento de distintas proporciones de Lodos residuales y absorbentes (Cáscaras de camarón y cacao), por lo que al final se estableció el mejor resultado para la remoción de Cromo. Toda la investigación se realizó en condiciones idénticas en lo relacionado con la ubicación, el material de adsorción, el manejo del ensayo y las variables de remoción de cromo hexavalente en lodos residuales de la hacienda de Salache y la Bioadsorción de cáscaras de cacao y camarón.

9.1. Área de estudio

La investigación se desarrolló en la provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, sector Salache, siendo este espacio en donde realizaron los ensayos, y se ubica geográficamente como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Ubicación de la casa hacienda de Salache



Fuente: Elaboración propia.

9.2. Tipo de investigación

9.2.1. Experimental

La investigación realizada manipulo las variables por lo que, la convierte en experimental con un enfoque cuantitativo. Esto a raíz de que, al emplear absorbentes para la remoción del metal, se cambiaron las propiedades químicas de los lodos, siendo para ello necesario la utilización de métodos de laboratorio en un entorno controlado. El estudio se fundamenta en la toma de datos para ser tabulados, realizar un análisis estadístico y contrarrestar esta información con la bibliografía disponible.

9.2.2. Exploratorio

Debido a que los hallazgos resultantes de la investigación realizada pueden servir como antecedente para futuras investigaciones y sentar una base para que incrementen los estudios relacionados con la temática, este trabajo es exploratorio.

9.3. Métodos

La metodología empleada fue la siguiente, científico y experimental, es así que el primero fue utilizado recopilando información científica relacionada con la identificación de cromo con lo cual contar con herramientas confiables para el desarrollo del trabajo, conforme a información establecida y que pueda ser replicada por cualquier investigador en cualquier sitio. En el caso del método experimental, se evaluaron las distintas composiciones de biomasa para la remoción de cromo hexavalente. Es así que por medio de la estadística se estructuró un DCA (Diseño Completamente al Azar).

9.4. Técnicas

En la presente investigación se utilizarán las técnicas de: observación, experimentación o comparación, y el registro de datos.

9.4.1. Observación

Por medio de la observación permitió de manera visual la revisión del avance de cada tratamiento durante la ejecución de la investigación. Desde el inicio del experimento se observó una notable capacidad de adsorción de estos materiales para capturar y eliminar metales pesados de soluciones acuosas. Las cáscaras de cacao, ricas en compuestos fenólicos, y las cáscaras de camarón, compuestas principalmente de quitina.

9.4.2. Comparación

Por medio de esta técnica se revisó y evaluó la capacidad de remoción de Cromo en cada tratamiento tanto para la cáscara de camarón como de cacao. Al comparar la eficacia de la remoción de metales utilizando cáscaras de cacao y camarón, se encontró que ambos materiales presentan capacidades notables pero diferenciadas. Es esencial comparar los tratamientos de un experimento para evaluar la eficacia, identificar diferencias, optimizar recursos y la validez científica del trabajo.

9.4.3. Toma de datos

Durante la toma de datos para el estudio de la remoción de metales utilizando cáscaras de cacao y camarón, se llevaron a cabo varios experimentos controlados para evaluar la capacidad de adsorción de estos materiales, considerando que todo experimento debe registrar la información

para su posterior análisis, la toma de datos fue de gran importancia para expresar los resultados obtenidos. Se tomaron muestras periódicas para medir la concentración de metales remanentes en las soluciones utilizando técnicas analíticas como la espectrometría de absorción atómica.

9.5. Procedimiento

9.5.1. Secado de las cascaras

Empezamos el día 13 noviembre del 2024 con el secado de las cascaras de cacao y camarón, para su respectivo secado se colocó unas pequeñas mallas en el piso se procedió a secar dos días bajo el sol. Después de estos dos días de secado al sol se procede de a colocarlo a un horno a 30 grados para obtener un correcto secado dándonos una humedad de 8% (Camacho, 2021).

9.5.2. Triturado de las cascaras

Para empezar con este paso de triturado del cacao y camarón se empieza del día 17 de noviembre del 2024, se procede con la trituración después de un buen secado procedemos a meterlo en un molino de mano para así moler, según (Camacho, 2021) esto conlleva 10 días de poder terminar con toda la trituración en esos días se pudo terminar tanto con la cascara del cacao y camarón.

9.5.3. Tamizado de las cascaras

El tamizado empezó el día 28 noviembre del 2024, Después de ya tener lo triturado pasamos a tamizar, en mi caso para poder tamizar utilicé un pequeño colador o comúnmente conocido como cernidor, lo tamice en un mantel blanco, después de estar listo el tamizado, lo pase a una funda de marca ziploc para mayor seguridad y fácil traslado al lugar de implementación. Esto se realizó tanto con la cascara de cacao y camarón.

9.5.4. Levantamiento del experimento

La implementación se realizó el día 3 diciembre del 2024, empezando por sacar el lodo del tanque de desechos finales con la ayuda de un colador, ubicándolo en un pequeño plástico para solo obtener la mayor concentración de lodo, como consiguiente procedemos a pesar y ponerlo en un táper, también pesamos las cascaras de cacao y camarón y los ubicamos adecuadamente como el diseño lo indica obteniendo así un total de 54 muestras realizadas.

9.5.5. Traslado de las muestras al laboratorio

Para el traslado de la muestra al laboratorio se tuvo que esperar un lapso de 41 días, desde el día que se implementó las muestras, después que se ha cumplido la fecha establecida se procedió a ponerlos en fundas de ziploc, de acuerdo con cada tratamiento con su respectiva etiquetado, para su fácil manejo en laboratorio y no haya confusiones.

9.5.6. Comparación

Por medio de esta técnica se revisó y evaluó la capacidad de remoción de Cr (VI) en cada tratamiento tanto para la cáscara de camarón como de cacao. Al comparar la eficacia de la remoción de metales utilizando cáscaras de cacao y camarón, se encontró que ambos materiales presentan capacidades notables, como se pudo ir evidenciando mediante los días que se fueron pasando en el caso de camarón se pudo evidenciar que a los primeros 5 días de haber implementado el experimento se pudo observar que empezó a tener olores fuertes, así fue pasando por varios días donde se pudo evidenciar que lleno de moho y seguía con malos olores hasta el día 41 donde se precedió a la recolección para el laboratorio. Es esencial comparar los tratamientos de un experimento para evaluar la eficacia, identificar diferencias, optimizar recursos y la validez científica del trabajo.

9.6. Materiales y Equipos

9.6.1. Material vegetal

- Cáscaras de camarón
- Cáscaras de cacao

9.6.2. Material de campo

- 1 pala
- 54 unidades de platos con tapas
- Un colador mediano
- Guantes
- Cámara fotográfica
- Cuaderno de apuntes

9.6.3. *Material de laboratorio*

- Test de Cr VI
- Guantes
- Papel filtro
- Agua destilada
- Dos vasos de precipitación
- Bata de laboratorio
- Tubos de ensayo
- Gradillas
- Muestras de lodo (con cacao y camarón)

9.6.4. *Equipos*

- Espectrofotómetro
- Horno
- Computadora

9.7. **Diseño Experimental**

El diseño de la investigación fue un Diseño Completamente al Azar, con clasificación única, también conocido experimento de una vía. Este diseño tiene como condición que los tratamientos sean aplicados al azar en todas las unidades experimentales. El factor analizar, fue el nivel de remoción, por lo que, se obtuvieron tres tratamientos y cada uno consta de tres repeticiones, dando un total de 54 unidades experimentales.

Modelo matemático

$$x_{ij} - u = x_i + x_j + e_{ij}$$

Donde:

$X_{ij} - u = \text{total}$

X_i = tratamiento X_j

= repeticiones

e_{ij} = error experimental

Es así como se utilizó cuatro cantidades de Lodos de 50 gr, 100 gr, y 150 gr, probando cada una con ambos adsorbentes (camarón y cacao). En el primer caso, para la cáscara de camarón se utilizó proporciones de 25, 50, y 100 gramos; el segundo adsorbente de cáscara de cacao, también se aplicó las proporciones de 25, 50, y 100 gramos. En la siguiente tabla se expresan las proporciones.

Tabla 4. *Tratamientos aplicados en la remoción de cromo VI utilizando diferentes cantidades de cáscaras de cacao y camarón*

Lodos	Cáscara de camarón (gr)	Cáscara de cacao (gr)
50gr	25	25
	50	50
	100	100
100gr	25	25
	50	50
	100	100
150gr	25	25
	50	50
	100	100

9.8. Análisis Estadístico

Los datos de la investigación se analizaron por medio de un análisis de varianza empleando la comparación del grupo de medias y determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Este método es particularmente útil cuando se quiere estudiar el efecto de una o más variables independientes en una variable dependiente. Esto se realiza comparando los valores con indicador de significancia. Si el valor-p es menor que el nivel de significancia establecido (comúnmente 0.05), se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que al menos una de las medias de los grupos es diferente.

Para una visualización de los datos se empleó el gráfico de cajas, también conocido como diagrama de caja y bigotes (box plot), utilizado ampliamente en estadística para visualizar la distribución de un conjunto de datos. Es particularmente útil para identificar la mediana, los cuartiles, el rango intercuartílico y los valores atípicos. La caja mostró el rango intercuartílico (IQR), que es la distancia entre el primer cuartil (Q1) y el tercer cuartil (Q3). La línea dentro de la caja representa la mediana, los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores más extremos que no se consideran atípicos. Normalmente, los bigotes se extienden hasta 1.5 veces el rango intercuartílico y los valores atípicos son puntos que se encuentran fuera de los bigotes y representan datos anómalos o extremos.

9.8.1. Recolección y adsorción con cáscaras de camarón

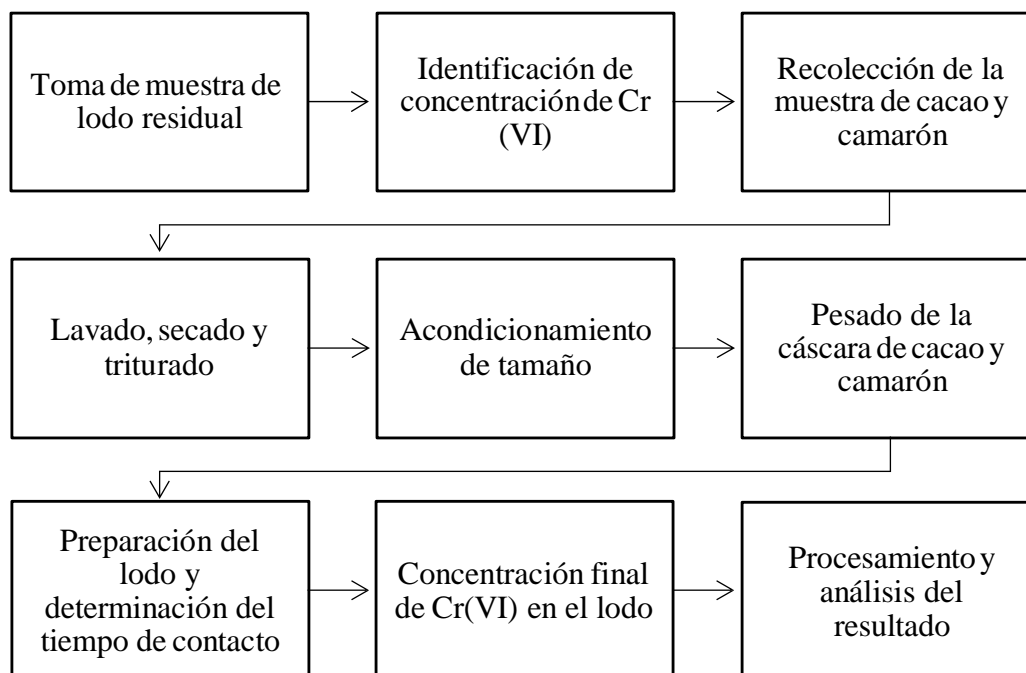
- Recolección de Muestras: se obtuvo cáscaras de camarón frescas y se procesaron para eliminar impurezas.
- Preparación del Adsorbente: se activó la cáscara de camarón por medio de procesos físicos (calentamiento) y químicos (tratamiento con ácidos).
- Preparación de Soluciones de Cr (VI): se preparó las soluciones acuosas con diferentes concentraciones de Cr (VI).
- Pruebas de Adsorción: se realizó pruebas de adsorción en condiciones controladas (Temperatura, pH, tiempo de contacto, concentración inicial de cromo).
- Análisis de resultados: se midió la concentración de Cr (VI) antes y después de la adsorción utilizando técnicas de espectroscopia UV-Vis y la espectrometría de masas.

9.8.2. Recolección y adsorción con cáscaras de cacao

- Recolección de Muestras: se obtuvo cáscaras de cacao frescas y se procesaron para eliminar impurezas.
- Preparación del Adsorbente: se activó la cáscara de cacao por medio de procesos físicos (calentamiento) y químicos (tratamiento con ácidos).
- Preparación de Soluciones de Cr (VI): se preparó las soluciones acuosas con diferentes concentraciones de Cr (VI).
- Pruebas de Adsorción: se realizó pruebas de adsorción en condiciones controladas (Temperatura, pH, tiempo de contacto, concentración inicial de cromo).
- Análisis de resultados: se midió la concentración de Cr (VI) antes y después de la adsorción utilizando técnicas de espectroscopia UV-Vis y la espectrometría de masas.

En general dentro de la siguiente Figura, se explican los pasos por los cuales se evaluó la eficiencia de bioadsorción de la cascara de cacao, así como de camarón para la remoción de metales pesados en lodos residuales.

Figura 2 Fases de investigación



Fuente: Elaboración propia.

9.8.3. Evaluación de parámetros

• Porcentaje de remoción de cromo:

La fórmula empleada para el cálculo del porcentaje de remoción se basa en la eficiencia de un proceso. En donde existen valores iniciales y un valor final siendo la diferencia de este resultado el valor que ya no está en su composición. La fórmula de porcentaje de remoción se utiliza para calcular la eficiencia con la que un proceso elimina un determinado contaminante. La fórmula es la siguiente:

$$\% \text{remoción} = \frac{v_{pi} - v_{pf}}{v_{pi}} \times 100\%$$

Donde:

v_{pi} = concentración inicial de Cr (VI)

v_{pf} = concentración final de Cr (VI)

%remoción = porcentaje de remoción.

• Toma de muestra final

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 (ppm) de Cr (VI). El HI3846 se suministra con todos los reactivos y accesorios necesarios para realizar el análisis.

10. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

10.1. Identificación de la concentración de cromo hexavalente en lodo

En lo concerniente a la concentración de cromo hexavalente en el lodo, los análisis de laboratorio se encuentran en los Anexos 1, 2 y 3. De acuerdo con la Tabla 5 el resultado de los análisis indico un valor menor a 1.75 mg/kg. Este valor significa que la concentración del Cr (VI) muestra una inferioridad a los 1.75 mg/kg en las muestras de suelo iniciales, así como las tratadas con cascaras de cacao y camarón. Esto en función a los límites permisibles puede tener diferentes implicaciones para la salud o el medio ambiente. En el caso de Ecuador la Norma Técnica Ambiental del Recurso Suelo indica que el límite de cromo en el suelo es de 0.4 mg/Kg (TULSMA, 2015). Por lo que, los resultados indican que se encuentran por encima de este límite regulado.

Tabla 5. *Análisis de la concentración de Cr (VI) en la muestra de suelo*

Suelo	Contenido de muestra	Resultado	Metodología
Inicial	500 gramos	<1.75 mg/kg	Extracción con agua Y7190
Tratado con cascaras de cacao	500 gramos	<1.75 mg/kg	Extracción con agua Y7190
Tratado con cascaras de camarón	500 gramos	<1.75 mg/kg	Extracción con agua Y7190

Fuente: Elaboración propia.

10.2. Evaluación de la eficiencia de remoción de la cascara de cacao y de camarón

10.2.1. Resultados con la cáscara de camarón

Los tres tratamientos de Lodos de 50, 100 y 150 gr, en los que se aplicó cascara de camarón obtuvieron los siguientes resultados expuestos en la Tabla 6 y Figura 3. Se aplicó la correlación de Pearson entre la cantidad de cáscaras de camarón empleado y la concentración obtenida de Cr (VI), obteniendo un valor de -0.05, por lo que, no existe correlación entre estas variables, siendo que, no se sigue una tendencia lineal, al momento de remover el metal.

De esta manera luego de las tres repeticiones realizadas, se evidencia que para los 50gr de cascara de camarón, la mayor cantidad de Cromo VI se concentró en 100gr del adsorbente con 0.54 mg/L Cr (VI). En el caso de Lodos de 100 gr fue 25gr del adsorbente con 0.56 mg/L Cr (VI) y L150 con CM2 con un valor de 0.11 mg/L Cr (VI). Esto indica que, la adsorción del metal es distinta en función a la cantidad Lodo y adsorbente, con la diferencia que para el L150 la aplicación de 50 gramos de cascara de camarón no existió gran variación en las repeticiones, siendo constante la cantidad de Cr (VI) absorbida. Sin embargo, la remoción máxima de cromo empleando cáscaras de camarón fue de 0.53 mg/L Cr (VI).

Tabla 6. Concentración de Cr (VI) en 50, 100 y 150 con cáscaras de camarón (mg/L)

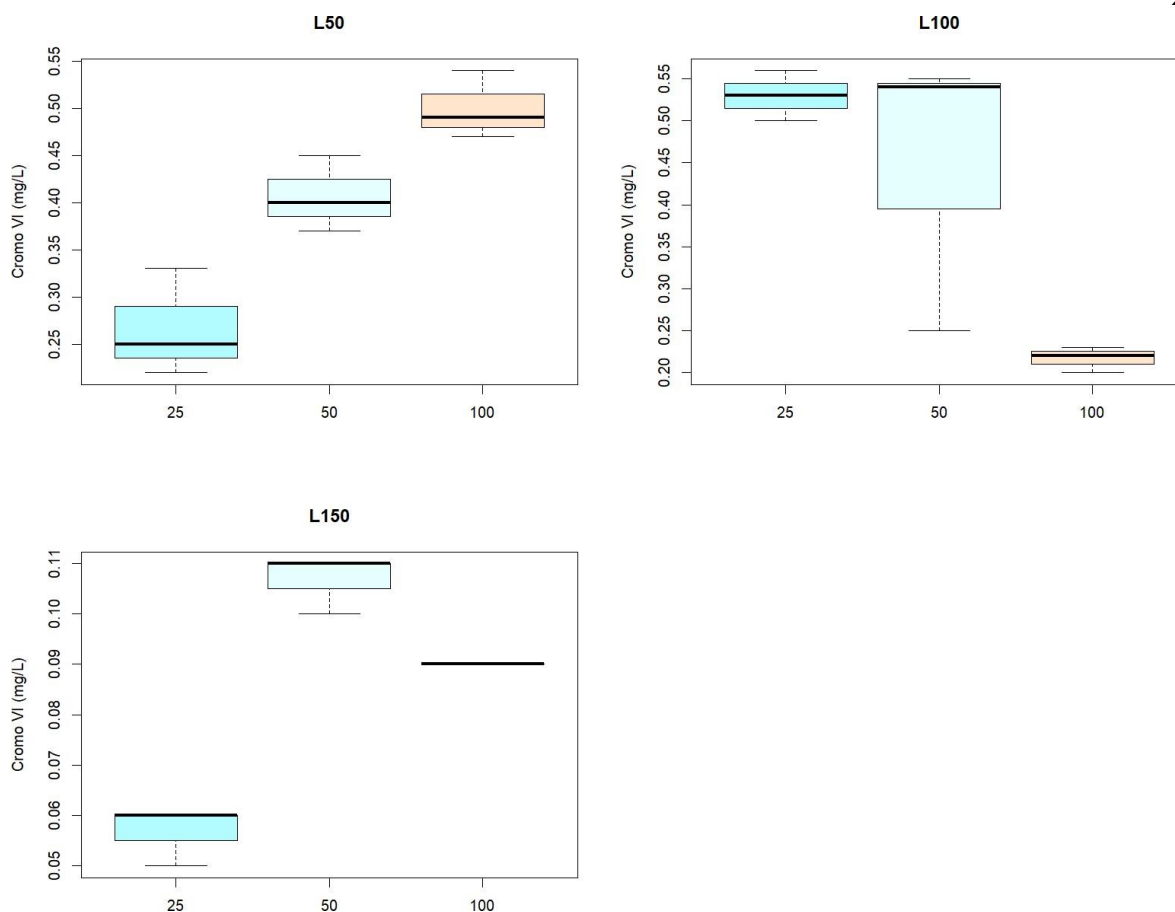
Lodos	Cáscaras de camarón	Repetición	Concentración
50gr	25	1	0.33
	50	1	0.45
	100	1	0.47
	25	2	0.25
	50	2	0.37
	100	2	0.49
	25	3	0.22
	50	3	0.40
	100	3	0.54
100gr	25	1	0.50
	50	1	0.25
	100	1	0.23
	25	2	0.53
	50	2	0.55
	100	2	0.20
	25	3	0.56
	50	3	0.54
	100	3	0.22
	25	1	0.06

150gr	50				1	0.11	
	100				1	0.09	
	25				2	0.05	
	50				2	0.10	
<hr/>							
<hr/>							
					100	2	0.09
	25	3	0.06	50	3	0.11	
		100				3	0.09

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 3, el gráfico de cajas presenta el comportamiento de cada una de las cantidades de cáscaras de camarón en los lodos (50, 100 y 150). En los lodos de 50gr, los valores más altos alcanzados son para 100 gr de adsorbente, en donde se puede observar una cantidad pequeña de variación entre los datos con una media de 0.50 mg/L Cr (VI), para 50 gr de adsorbente la media fue de 0.41 mg/L Cr (VI) y 25gr de adsorbente con 0.27 mg/L Cr (VI). En los lodos de 100gr, se presentan valores similares con 25 gr de adsorbente con 0.53 mg/L, 50 gr de adsorbente con 0.45 mg/L Cr (VI) y 100 gr de adsorbente con 0.28 mg/L Cr (VI). Finalmente, para los lodos de 150gr se alcanzaron valores de 0.06 mg/L Cr (VI) (25 gr camarón), 0,11 mg/L Cr (VI) (50 gr camarón) y 0,09 mg/L Cr (VI) (100 gr camarón). No se encontraron valores atípicos fuera de los rangos de las repeticiones, siendo evidente que la media con mayor cantidad de concentración de Cr (VI) en las cáscaras de camarón fue 25gr camarón en lodos con 100gr.

Figura 3. *Remoción de cromo adsorbente de cáscaras de camarón*



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2. Resultados con la cáscara de cacao

Se aplicó la correlación de Pearson entre la cantidad de cáscaras de cacao empleado y la concentración obtenida de Cr (VI), obteniendo un valor de -0.03, por lo que, no existe correlación entre estas variables, siendo que, no se sigue una tendencia lineal, al momento de remover el metal.

De acuerdo con la Tabla 7 la adsorción de Cr (VI) de lodo residual fue más alta con 150gr del mismo y la incorporación de 100 gr de cáscaras de cacao (0.73 mg/L Cr (VI)). En el caso del lodo de 50gr el valor máximo alcanzado fue de 0.25 mg/L Cr (VI) (50 gr cáscara de cacao). Para los lodos de 100gr se adsorbió hasta 0.66 mg/L Cr (VI) en distintas cantidades de cáscara de cacao (25 y 100 gr). Con esto se observa que existe una mayor concentración del metal con un menor aporte de masa del adsorbente, encontrando que con el valor máximo alcanzado de 0.72 mg/L Cr (VI) (Lodos 150 gr – 50gr adsorbente), por lo que, las cáscaras de cacao pueden remover una mayor cantidad del metal.

Tabla 7 Concentración de cromo hexavalente en L50, L100 y L150 con cáscaras de cacao (mg/L)

Lodos	Cáscaras de cacao	Repetición	Concentración
50gr	25	1	0.11
	50	1	0.10
	100	1	0.11
	25	2	0.25
	50	2	0.18
	100	2	0.14
	25	3	0.22
	50	3	0.16
	100	3	0.11
100gr	25	1	0.66
	50	1	0.60
	100	1	0.66
	25	2	0.53
	50	2	0.55
	100	2	0.46
	25	3	0.60
	50	3	0.54
	100	3	0.66
150gr	25	1	0.73
	50	1	0.71
	100	1	0.71
	25	2	0.70
	50	2	0.72
	100	2	0.71
	25	3	0.66
	50	3	0.67
	100	3	0.71

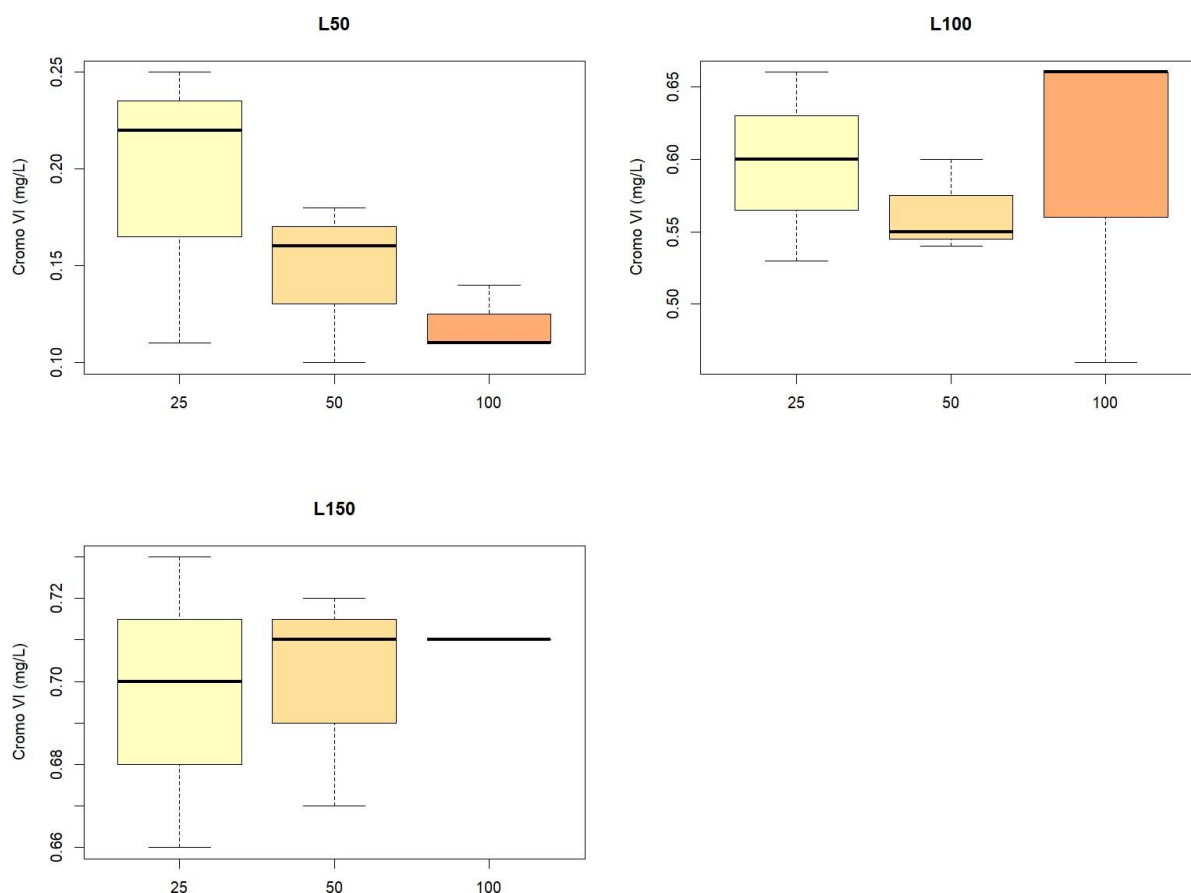
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 4, el gráfico de cajas presenta el comportamiento de cada una de las cantidades de cáscaras de cacao en los lodos (50, 100 y 150gr). En los lodos de 50gr, los valores más altos alcanzados son de 25gr de cáscaras de cacao en donde se puede observar una cantidad pequeña de variación entre los datos con una media de 0.193 mg/L Cr (VI), para 50gr cáscara de cacao la media fue de 0.15 mg/L Cr (VI) y 100gr de cáscara de cacao con 0.12 mg/L Cr (VI). En los lodos de 100 gr, se presentan valores distintos con 25gr de cáscara de cacao de 0.59 mg/L

Cr (VI), 50gr cáscara de cacao con 0.55 mg/L Cr (VI) y 100gr cáscara de cacao 0.66 mg/L Cr (VI). Finalmente, para los lodos de 105 gr se alcanzaron valores de 0.70 mg/L Cr (VI) (25gr cáscaras de cacao), 0.71 mg/L Cr (VI) (50gr cáscaras de cacao) y 0.71 mg/L Cr (VI) (100gr de cáscara de cacao). No se encontraron valores atípicos fuera de los rangos de las repeticiones, siendo evidente que la media con mayor cantidad de concentración de Cr (VI) en las cáscaras de cacao fue con 25gr de adsorbente en 100gr de lodos residuales.

En este caso, se puede observar una gran variación entre el primer cuartil, la media y el tercer cuartil, por lo que, existe una dispersión alta de los datos, por lo que estos están bastante distribuidos, evidenciando estos con las cajas grandes en las cantidades de cáscaras de camarón (25, 50 y 100gr de cáscara de cacao). Al no estar la media dentro del centro de la caja, no es equidistante del primer y tercer cuartil, por lo que la distribución de datos es asimétrica, y se tiende a la existencia de un sesgo en los datos. La alta dispersión sugiere una gran variabilidad y que los valores no reflejan una constancia en la adsorción de Cr (VI) por parte del adsorbente y no existe un valor central sino la respuesta es distinta en cada resultado obtenido.

Figura 4 *Box plot de remoción de cromo adsorbente de cáscaras de cacao*



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3. Porcentaje de remoción

Con base en los resultados de la investigación realizada, se estableció un valor inicial de Cr (VI) en el suelo inferior a 1.75 mg/kg. En los apartados dedicados a la capacidad de adsorción de las cáscaras de cacao y la cáscara de camarón se determinó que estos pueden remover 0.71 mg/Kg y 0.53 mg/Kg, respectivamente. Por lo tanto, se empleó la fórmula de la eficiencia para establecer en qué medida se realizó este proceso.

Tabla 8. *Porcentaje de remoción de cada adsorbente*

Adsorbente	Concentración inicial	Concentración final	Porcentaje de remoción
Cacao	1.75 mg/kg	0.71 mg/Kg	69%
Camarón	1.75 mg/kg	0.53 mg/Kg.	59%

Fuente: Elaboración propia.

En lo que concierne al porcentaje de remoción, dentro de la Tabla 8, se consideró al valor inicial menor a 1.75 mg/Kg como referencia para la concentración inicial. Luego de ello para cada adsorbente la concentración de cromo dentro de su estructura al final del experimente. En el cacao fue de 0.71 mg/Kg y para las cáscaras de camarón de 0.53 mg/Kg. Con estos datos, se obtuvo una remoción de 69 % para las cascaras de cacao y 59 % para las cascaras de camarón.

10.2.4. Propuesta de biorremediación

El presente estudio propone el uso de cáscaras de cacao y cáscaras de camarón como biorremediación, en la remoción de cromo hexavalente Cr VI en aguas contaminadas. Estos residuos agroindustriales contienen compuestos funcionales como celulosa, lignina, quitina y quitosano, que presentan una alta afinidad por metales pesados, ofreciendo una alternativa ecológica y de bajo costo para el tratamiento de lodos y aguas residuales. Las cáscaras de cacao y camarón presentan una alta capacidad de adsorción de Cr VI, debido a la presencia de grupos funcionales como hidroxilos, carboxilos y aminas.

10.3. Discusión de Resultados

En lo que concierne a estudios de Cr (VI) en Ecuador, se ha evidenciado que este puede alcanzar hasta 2.5 mg/Kg como menciona Viera, et al. (2018). De esta manera el contenido de Cr puede

esta influenciado por el pH, que puede oxidar este de III a VI, en especial debido a la naturaleza residual del metal, proveniente de industria metalúrgica, acabados metálicos y los productos de pigmentos en procesos industriales (Calle, Rivera, & Lalvay, 2021). El cromo hexavalente Cr VI es una forma del elemento cromo, que es uno de los elementos químicos más abundantes que se encuentran en la corteza terrestre. Hay dos fuentes potenciales de cromo hexavalente en el agua potable: fuentes naturales como rocas, minerales y otros elementos geológicos, y escorrentías industriales localizadas (Conneely, 2024)

Esto a consecuencia de la acumulación de este material dentro de los efluentes residuales y su concentración en los lodos provenientes de dicho proceso (Mendoza, Bes, Luján, & Ferrer, 2021). En el caso de caracterización de lodos residuales, Sánchez (2023) menciona que la concentración de Cr (VI) puede alcanzar hasta 64.53 mg/Kg, siendo su estudio en la planta de depuración de Ambato, demostrando que este metal puede alcanzar valores considerables a diferencia de la investigación realizada con una muestra de 500 gramos, pero que demuestra la presencia del metal pesado.

Es así también que el resultado de Cr (VI) en las muestras, al compararse con normativas como el Real Decreto 1310/1990 donde se establecen los límites máximos para la utilización de lodos de depuración, hasta un valor de 2 mg/kg, así como Agrocalidad (2020) en su Manual Técnico de Procedimientos para el Registro y Control de Agentes de Control Biológico, menciona que no debe superar los 2.5 mg/Kg. Por lo tanto, los valores encontrados no presentan un riesgo y pueden ser utilizados en actividades que consideren como un subproducto, siendo recomendable un tratamiento adicional para continuar con una depuración de estos lodos (Arqueros, Morales, Roco, & Gonzalez, 2023).

La presencia de Cromo (VI) en el suelo es notoria, debido a la transferencia de este metal hacia el adsorbente (Mamani & Mendoza, 2022). En los resultados evidenciados para las cáscaras de camarón se resalta la disponibilidad biológica de este material para que dentro de su materia se incorpore el cromo como menciona Wang y Guo (2023). De esa manera la eliminación adsortiva del metal pesado es posible, por los poros de la cascara de camarón en especial por el factor de quelación, que en conjunto con polifosfatos y polipéptidos formen enlaces con los iones metálicos y así los retienen en su cáscara (Al-Amrani & Onaizi, 2024). Es así como se evidencia la capacidad de adsorción debido al intercambio iónico y la estructura porosa para que se penetre el ion del metal y sea adsorbido. De esta manera se desataca 100gr de camarón como el

tratamiento con una capacidad de adsorción constante debido a la poca variación de sus datos como se observa en el box plot, y en diferentes concentraciones de lodo contaminado con cromo.

Es así como, las cáscaras de cacao en función a los resultados son consideradas más efectivas que las cáscaras de camarón para la remoción de cromo hexavalente debido a su alta capacidad de adsorción. Las cáscaras de cacao contienen compuestos naturales como fibra dietética, flavonoides y catequinas, que tienen propiedades antioxidantes y pueden unirse eficazmente con el cromo hexavalente, eliminándolo del agua (Ortiz, 2022).

En lo concerniente a la remoción de cromo con las cáscaras de cacao tiene una alta capacidad de absorber metales pesado debido a sus componentes naturales como la lignina, la celulosa y la hemicelulosa (Antolinez, Astudillo, Aldana, & Atuesta, 2020). En el estudio realizado se evidenció estas características de este adsorbente, siendo el que más cromo removió de los lodos de depuradora que puede deberse a los componentes de los grupos funcionales que favorecen la adsorción del metal pesado (Tejada, Villabona, Caballero, Paternina, & Granados, 2019). En lo que concierne a otros metales en estudios, se ha demostrado que la cáscara de cacao puede eliminar hasta un 91% de plomo y 90% de cadmio en soluciones sintéticas (Lara, Tejada, Villabona, Arrieta, & Granados, 2016).

En comparación, las cáscaras de camarón no poseen las mismas propiedades químicas que faciliten la adsorción del cromo hexavalente. Por lo tanto, las cáscaras de cacao son una opción más eficiente y sostenible para la remoción de este contaminante. Esto debido a la prueba de distintas cantidades de lodos que contienen cromo, siendo resultados distintos en que situaciones absorben más cromo cada adsorbente, ya que, las cáscaras de camarón concentraron mayor cantidad en lodos de 100gr y las cáscaras de cacao en lodos de 150gr.

Lara et al. (2016) establece que la capacidad de la biomasa para remover metales pesados es de hasta el 90 %. Esto concuerda con los resultados obtenidos en la investigación, debido a que las propiedades y características de cada adsorbente, si bien son distintas, representan una oportunidad para remover metales. A la par, Arqueros et al. (2023) indica que lodos tratados y que cumplan con los umbrales establecidos por la legislación ambiental, son de gran utilidad para los campos agrícolas y hasta la construcción. Con ello los resultados de la investigación develan una oportunidad para que los lodos contaminados puedan convertirse en un subproducto de utilidad para la población local.

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

11.1. Impacto Social

Socialmente los resultados de esta investigación se centran en generar información para la población. Esto con la finalidad de que exista colaboración comunitaria, ya que, este estudio científico devela un importante proyecto social para que se fomente la colaboración entre comunidades, instituciones académicas y empresas (Rosero, 2021). Lo que es de gran interés para esta tecnología pueda emplearse para remover metales pesados en los lodos residuales y estos dejen de ser un peligro de contaminación para el ambiente y la sociedad civil (Rosero, 2021). De esta manera la difusión de esta información científica es un hito para que sea replicada en lo que concierne en el tratamiento de lodos de agua residual (Ceballos, Pous, Bañeras, Balaguer, & Puig, 2024).

11.2. Impacto Ambiental

Desde el punto de vista ambiental las acciones que pueden desarrollarse a raíz de los resultados pueden enfocar esfuerzos para la existencia de sostenibilidad ambiental, al usar la cáscara de cacao como bio adsorbente natural para remover cromo de lodos residuales siendo esta una alternativa ecológica y sostenible a los métodos convencionales de depuración (Wang & Guo, 2023). Esto puede reducir significativamente la contaminación ambiental y promover prácticas más verdes (Cayo, Montalvo, & Pampa, 2023). A su vez, la depuración de lodos que contienen metales pesados ofrece una oportunidad para que, sean empleados como fertilizantes orgánicos, sustrato para reforestación, procesos para producción de biogás, y como materiales de construcción (Calle, Rivera, & Lalvay, 2021).

11.3. Impacto económico

En lo concerniente al impacto económico, el estudio realizado ofrece una oportunidad de economía circular, siendo vital la reutilización de subproductos agrícolas como la cáscara de cacao contribuye a la economía circular, donde los residuos se convierten en recursos valiosos (Zegarra, 2022). Esto puede generar nuevas oportunidades económicas y empleos en la industria agrícola y ambiental (Reina, et al., 2023). A su vez, en poblaciones que cuentan con tratamiento de aguas residuales con poca inversión el bio adsorbente de cáscaras de cacao ofrece una oportunidad para reducir los costes relacionados con el tratamiento biológico, así como la gestión de residuos (Lagua, 2021). Además, la venta de cáscaras de cacao tratadas y el carbón activado producido a partir de ellas puede generar ingresos adicionales para las empresas agrícolas y de tratamiento de residuos (Lagua, 2021).

12. CONCLUSIONES

Se realizó la evaluación de la eficiencia y adsorción de los residuos de cacao y camarón en función a la metodología establecida dentro del documento, analizando las muestras para la detección de Cr (VI) empleando el kit HI3846 y calculando la eficiencia por medio de la fórmula de porcentaje antes y después del experimento. En lo que concierne a los residuos de cacao pueden remover un 69 % y las cáscaras de camarón un 59 %. Por lo que indican ser una alternativa eficiente para la remoción de metales por medio de adsorbentes.

Se logró identificar dentro de los lodos activos, los análisis de laboratorio develaron que la concentración de cromo hexavalente en el lodo es inferior a 1.75 mg/kg, tanto en las muestras iniciales como en las tratadas con cáscaras de cacao y camarón. Sin embargo, estos valores superan el límite regulado de 0.4 mg/kg establecido por el TULSMA en 2015. Esto indica que, aunque el tratamiento con cáscaras de cacao y camarón pueden reducir la concentración de Cr (VI), las muestras siguen estando por encima de los límites permisibles, lo que podría tener implicaciones para la salud y el medio ambiente.

El uso de cáscaras de cacao y camarón puede representar una estrategia efectiva, económica y ecológica para la remediación de lodos con cromo hexavalente, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental. La biorremediación con cáscaras de cacao y camarón es una técnica efectiva para eliminar metales pesados de suelos contaminados. Se recomienda realizar más investigaciones para optimizar la proporción de cáscaras mezcladas con el suelo y el tiempo de incubación. Además, se debe evaluar la viabilidad económica y ambiental de esta técnica a gran escala.

13. RECOMENDACIONES

Se recomienda a las autoridades tanto locales, cantonales y nacionales que impulsen proyectos destinados a la remoción de metales pesados empleando adsorbentes como la cáscara de camarón, así como la cáscara de cacao, ya que se demostró su eficiencia para la remoción de metales.

La información de la capacidad de las cáscaras de cacao y camarón sin una oportunidad para que se cumpla lo establecido por el TULSMA con lo cual reducir la cantidad de metales pesados en lodos residuales para estos puedan ser utilizados como un subproducto en distintos ámbitos.

Es importante que las academias en conjunto con las universidades, se realicen más investigaciones relacionadas con la temática abordada, llevando esta investigación al siguiente nivel, realizando este

proyecto a una escala mayor, siendo de gran utilidad la implementación en una planta de tratamiento de aguas residuales.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Amrani, W., & Onaizi, S. (2024). Adsorptive removal of heavy metals from wastewater using emerging nanostructured materials: A state-of-the-art review. *Separation and Purification Technology*, 1(1), 127018. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.127018>
- Antolinez, L., Astudillo, I., Aldana, A., & Atuesta, G. (2020). Uso de cáscara de cacao (Theobroma cacao) para la remoción de cromo en solución acuosa. *Revista EIA*, 17(34), 259-271. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/v17n34/2463-0950-eia-17-34-259.pdf?form=MG0AV3>
- Arqueros, E., Morales, R., Roco, R., & Gonzalez, A. (2023). Utilización de lodos residuales en el compostaje de orujos y escobajo en la industria vitivinícola. *Web of Conferences*, 56(1), 01031. doi:<https://doi.org/10.1051/bioconf/20235601031>
- Boukarma, L., Aziam, R., Aboussabek, A., El Qdhy, S., Zerbet, M., Sinan, F., & Chiban, M. (2024). Novel insights into crystal violet dye adsorption onto various macroalgae: Comparative study, recyclability and overview of chromium (VI) removal. *Bioresource Technology*, 394(1), 130197. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.130197>
- Caiza, E., & Pujota, M. (2022). *Sistema de reutilización de aguas grises en un entorno doméstico rural para la recuperación de nutrientes en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Período 2021-2022*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi], Repositorio UTC. Retrieved from <https://repositorio.utc.edu.ec/items/1328cc61-b1db-481f-b2a8-e820094da9c4>
- Calle, O., Rivera, M., & Lalvay, X. (2021). La calidad del desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(9), 153-166. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8094540>
- Camacho, G. (2021). *Scielo*. Obtenido de [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000100003#:~:text=Al%20finalizar%20la%20fermentaci%C3%B3n%20del,et%20al.%2C%201994\)%2C](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000100003#:~:text=Al%20finalizar%20la%20fermentaci%C3%B3n%20del,et%20al.%2C%201994)%2C)
- Cayo, R., Montalvo, C., & Pampa, N. (2023). Cinética e isotermas de adsorción del arsénico (III) en solución acuosa mediante carbón activado con estructura nanoporosa obtenido de lodos orgánicos de aguas residuales. *Tecnología y ciencias del agua*, 14(6), 01-39. doi:<https://doi.org/10.24850/j-tyca-14-06-01>

- Ceballos, A., Pous, N., Bañeras, L., Balaguer, M., & Puig, S. (2024). Advancing towards electro-bioremediation scaling-up: On-site pilot plant for successful nitrate-contaminated groundwater treatment. *Water Research*, 256(1), 121618. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121618>
- Conneely, E. (2024). *Hexavalent Chromium*. Obtenido de [https://www.americanchemistry.com/chemistry-in-america/chemistries/hexavalent-chromium#:~:text=Hexavalent%20chromium%20\(Cr\(VI\)\),geology%2C%20and%20localized%20industrial%20runoff](https://www.americanchemistry.com/chemistry-in-america/chemistries/hexavalent-chromium#:~:text=Hexavalent%20chromium%20(Cr(VI)),geology%2C%20and%20localized%20industrial%20runoff).
- Cortes, D., Contreras, A., Camacho, J., & Guzmán, C. (2024). Adaptación de consorcios microbianos nativos presentes en lodos de depuradora para acumular polihidroxialcanoatos (PHA's). *Revista ION*, 37(1), 99-115. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-100X2024000100099&script=sci_arttext de Souza, E., Becker, B., & Vieira, O. J. (2024). Oil spill bioremediation strategies in Brazilian tropical seawater—The role of polycyclic aromatic hydrocarbons degradation. *CLEAN—Soil, Air, Water*, 52(2), 2300081. doi:<https://doi.org/10.1002/clen.202300081> del Pino, A. (2024). *Microplásticos en lodos de edar: evaluación de tecnologías para su eliminación y análisis de efectos tóxicos en el medio ambiente*. [Tesis de maestría, Universidad de Cádiz], Repositorio UC. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=343147>
- Dey, M., Akter, A., Islam, S., Dey, S., Choudhury, T., Fatema, K., & Begum, B. (2021). Assessment of contamination level, pollution risk and source apportionment of heavy metals in the Halda River water, Bangladesh. *Heliyon*, 7(12), 1-12. Retrieved from Heliyon
- Dong, L., Shan, C., Liu, Y., Sun, H., Yao, B., Gong, G., & Wang, S. (2022). Characterization and mechanistic study of heavy metal adsorption by facile synthesized magnetic xanthate-modified chitosan/polyacrylic acid hydrogels. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17), 11123. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph191711123>
- GAD Latacunga. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Latacunga 2020 - 2040*. Retrieved from Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Latacunga: https://www.latacunga.gob.ec/images/pdf/PDyOT/PDyOT_Latacunga2020-2040.pdf
- Ibañez, G. (2024). [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Cotopaxi], Repositorio UTC. Retrieved from <https://repositorio.utc.edu.ec/items/4df5c814-9afa-4cc5-972f-b674f48c2e56>
- Ibañez, G. (2024). *Caracterización y tratamiento de lodos en las lagunas de oxidación de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón La Maná, para la gestión sostenible. 2023*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi], Repositorio UTC. Retrieved from <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/12750>

- Kuppan, N., Padman, M., Mahadeva, M., Srinivasan, S., & Devarajan, R. (2024). A comprehensive review of sustainable bioremediation techniques: eco friendly solutions for waste and pollution management. *Waste Management Bulletin*.
- Lagua, W. (2021). *Evaluación de carbón activado de semillas de datura como material adsorbente de metales (cromo VI y plomo II)*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo], Repositorio ESPOCH. Retrieved from <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16908>
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, Á., Arrieta, A., & Granados, C. (2016). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Revista Ion*, 29(2), 113-124. doi:<https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016009>
- Layme, M. (2021). *Adsorción de metales pesados en suelos contaminados aplicando enmiendas para reducir su disponibilidad. Revisión sistemática 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo], Repositorio UCV . Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12692/65898>
- León, L., & Viera, V. (2022). *Reutilización de lodos del proceso de anodizado de aluminio, generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la fábrica CEDAL, como materia prima para la elaboración de material decorativo como fachaletas en la provincia de Cotopaxi en el per.* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi], Repositorio UTC. Retrieved from <https://repositorio.utc.edu.ec/items/7c290601-a855-4404-978a-f7ab23f0747a>
- Li, Q., Liu, G., Qi, L., Wang, H., Ye, Z., & Zhao, Q. (2022). Heavy metal-contained wastewater in China: Discharge, management and treatment. *Science of the Total Environment*, 808(1), 152091. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152091>
- Liu, J., Yao, J., Tang, C., Ma, B., Liu, X., Bashir, S., & Duran, R. (2024). A critical review on bioremediation technologies of metal (loid) tailings: Practice and policy. *Journal of Environmental Management*, 359(1), 121003. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121003>
- Mamani, M., & Mendoza, J. (2022). *Reducción de cromo (VI) a cromo (III) en suelos contaminados mediante la aplicación de materiales reductores: revisión sistemática*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo], Repositorio UCV. Retrieved from <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88135>
- Mena, M., & Perez, X. (2021). *Capacidad adsorbente de metales pesados utilizando materiales Lignocelulósicos en aguas contaminadas: Revisión sistemática*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo], Repositorio UCV. Retrieved from <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75447>
- Mendoza, J., Bes, M., Luján, M., & Ferrer, E. (2021). *Tratamiento de fangos de depuración de aguas residuales*. (1ra ed.). Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Milić, J., Avdalović, J., & Knudsen, T. (2024). Microbial bioremediation of the oil polluted environment and the sustainable development goals of pillar Planet of the Agenda 2030. *Environment*,

- Development and Sustainability*, 1(1), 1-23. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-024-04848-3>
- Molaey, R., Appels, L., Yesil, H., Tugtas, A., & Çalli, B. (2024). Sustainable heavy metal removal from sewage sludge: A review of bioleaching and other emerging technologies. *Science of The Total Environment*, 1(1), 177020. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177020>
- Moreno, L., Vázquez, L., Cordero, A., & González, J. (2022). Contaminación y hongos: resistencia a metales pesados. *Latam: revista latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 3(2), 16. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9585419>
- Núñez, N., & Tipantuña, K. (2024). *Evaluación de la zantedeschia aethiopica, como planta fitorremediadora de suelos contaminados con cromo*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo], Repositorio ESPOCH. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22176>
- Ortiz, L. (2022). *EFEECTO DEL SECADO AL SOL SOBRE LA CALIDAD*. Obtenido de [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000100003#:~:text=Al%20finalizar%20la%20fermentaci%C3%B3n%20del,et%20al.%2C%201994\)%2C](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000100003#:~:text=Al%20finalizar%20la%20fermentaci%C3%B3n%20del,et%20al.%2C%201994)%2C)
- Panesso, J. (2023). *Diseño de un electrocoagulador para la remoción de cromo (VI) de aguas residuales de una industria de recubrimientos metálicos*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia], Repositorio UNAL. Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/84561/1053814157.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Posada, D. A. (2023). Efecto de las concentraciones de cromo proveniente de lodos residuales sobre el crecimiento del vetiver en condiciones controladas. *Ciencia Inteligente*, 1(1), 1-15. Retrieved from <https://cienciainteligente.com/index.php/CIN/article/view/11/11>
- Quispe, J., Silva, M., Ticona, C., Sarmiento, Á., & Tumi, N. (2021). Conocimientos de la población de Puno-Perú sobre saneamiento y factores de contaminación del Lago Titicaca y su impacto en la salud humana y el ambiente. *Espacio abierto: cuaderno venezolano de sociología*, 30(3), 100-121. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8075206.pdf>
- Rajapaksha, A., Selvasembian, R., Ashiq, A., Gunarathne, V., Ekanayake, A., Perera, V., & Ok, Y. (2022). A systematic review on adsorptive removal of hexavalent chromium from aqueous solutions: Recent advances. *Science of the Total Environment*, 809(1), 152055. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152055>
- Razzak, S., Faruque, M., Alsheikh, Z., Alsheikhmohamad, L., Alkuroud, D., Alfayez, A., & Hossain, M. (2022). A comprehensive review on conventional and biological-driven heavy metals removal from industrial wastewater. *Environmental Advances*, 7(1), 100168.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100168>

- Reina, Y., Trejo, P., Herrera, R., Flores, T., Alatorre, G., & Hernández, J. (2023). Biosorbente a base de quitosán-cáscara de naranja, para la remoción de cromo hexavalente en agua. *Nova scientia*, 15(31), 13. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9573293>
- Romero, H., Calderón, B., & Armijos, J. (2022). Evaluación de la obtención de carbón activado a partir lodos de depuradoras de aguas residuales de la comunidad de Valencia: revisión bibliográfica. *Ingeniería Industrial*, 43(1), 137-158. doi:<https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.5959>
- Rosero, J. (2021). *Revisión bibliográfica de la ocurrencia y los métodos de remoción de cromo hexavalente en agua de efluentes industriales en los últimos 5 años*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca], Repositorio UCUENCA. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35644>
- Rubí, H., Soto, M., & Acosta, M. (2022). Electrocoagulación de iones de metales pesados en aguas residuales: Una revisión. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 19(2), 1-3. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8556662>
- Sánchez, A. (2023). *Caracterización del contenido en nutrientes y metales pesados en lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ambato (PTAR)*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato], Repositorio UTA. Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/37957>
- Siddiqui, M., Rameez, H., Farooqi, I., & Basheer, F. (2023). Recent advancement in commercial and other sustainable techniques for energy and material recovery from sewage sludge. *Water*, 15(5), 948. doi:<https://doi.org/10.3390/w15050948>
- Steele, J., Meng, X., Venkatesan, A., & Halden, R. (2022). Comparative meta-analysis of organic contaminants in sewage sludge from the United States and China. *Science of The Total Environment*, 821(1), 153423. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153423>
- Tejada, C., Villabona, Á., Caballero, V., Paternina, J., & Granados, C. (2019). Optimización de parámetros para la construcción de la curva de ruptura en la adsorción de Cr (VI) sobre cáscara de cacao. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 167-177. doi:<https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.675>
- TULSMA. (2015). *Libro VI de la Calidad Ambiental*. Retrieved from Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: <https://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/05/Libro-VI-Calidad-Ambiental.pdf>
- Vanegas, J. (2022). *Determinación de los parámetros de adsorción de cromo (VI) sobre residuos de mandarina (Citrus reticulata)*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo], Repositorio ESPOCH. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17709>
- Viera, M., Jami, L., Carrera, D., Masabanda, M., Merizalde, M., Mora, M., & Delgado, V. (2018). Caracterización

- físico-química del suelo del botadero de Portoviejo y análisis de la distribución espacial de cromo (VI), níquel, bromo y hierro. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 6(2), 10-19. Retrieved from <https://portal.amelica.org/ameli/journal/624/6243841001/6243841001.pdf>
- Wang, J., & Guo, X. (2023). Adsorption kinetics and isotherm models of heavy metals by various adsorbents: An overview. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(21), 1837-1865. doi:<https://doi.org/10.1080/10643389.2023.2221157>
- Yesil, H., Molaey, R., Calli, B., & Tugtas, A. (2021). Removal and recovery of heavy metals from sewage sludge via three-stage integrated process. *Chemosphere*, 280(1), 130650. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130650>
- Zapien, J., Vásquez, E., Pozuelo, M., Zorrilla, A., Flores, E., Guzmán, O., & Vázquez, E. (2023). Nanocompositos magnéticos (biochar+ magnetita y biochar+ magnetita/ZnO) para remover contaminantes en agua: Caso de estudio con Cr (VI). *Jóvenes en la ciencia*, 21(1), 1-9. Retrieved from <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/9447>
- Zegarra, G. (2022). *Revisión sistemática: Obtención de biocarbón a partir de residuos agrícolas para la adsorción de metales pesados en aguas residuales industriales*. [Universidad Cesar Vallejo], Repositorio UCV. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12692/104255>
- Zhang, P., Ouyang, S., Li, P., Sun, Z., Ding, N., & Huang, Y. (2020). Ultrahigh removal performance of lead from wastewater by tricalcium aluminate via precipitation combining flocculation with amorphous aluminum. *Journal of Cleaner Production*, 246(1), 118728. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118728>