



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**OPTIMIZACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO CON BIOADSORBENTE DE
PLÁTANO PARA LA REMOCIÓN DE CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES
DE CURTIEMBRE, LIMA 2024**

**Línea de investigación:
Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autora

Sáenz Mejía, Naki Gabriela

Asesor

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

ORCID: 0000-0002-4623-4713

Jurado

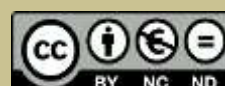
Aylas Humareda, María del Carmen

Gonzales Alarcón, Angelino Oscar

Rivera Murillo, Jhoana Juliana

Lima - Perú

2025



OPTIMIZACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO CON BIOADSORBENTE DE PLÁTANO PARA LA REMOCIÓN DE CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES DE CURTIEMBRE, LIMA 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

27%	26%	5%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe	10%
	Fuente de Internet	
2	hdl.handle.net	3%
	Fuente de Internet	
3	dspace.esPOCH.edu.ec	2%
	Fuente de Internet	
4	repositoriousco.co	1%
	Fuente de Internet	
5	doaj.org	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.unbosque.edu.co	1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.iberopuebla.mx	1%
	Fuente de Internet	
8	civil.udenar.edu.co	<1%
	Fuente de Internet	



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

OPTIMIZACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO CON BIOADSORBENTE DE PLÁTANO
PARA LA REMOCIÓN DE CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES DE CURTIEMBRE,
LIMA 2024

Línea de Investigación:

Tecnología para residuos y pasivos ambientales. Bioremediación

Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Ambiental

Autora:

Sáenz Mejía, Naki Gabriela

Asesor:

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

ORCID: 0000-0002-4623-4713

Jurado:

Aylas Humareda, María del Carmen

Gonzales Alarcón, Angelino Oscar

Rivera Murillo, Jhoana Juliana

Lima - Perú

2025

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir cada día con la fuerza necesaria para seguir creciendo profesional e íntegramente, especialmente en los momentos más desafiantes.

A mis amados padres, Naki y Germán, por ser mi mayor fuente de amor y apoyo incondicional en cada paso que doy. Y a mi adorada conejita “Charlotte”, quien, con su presencia silenciosa y llena de ternura, me acompañó en este proceso.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que, con su constante apoyo, han sido pilares fundamentales en mi crecimiento profesional y personal a lo largo de estos años, mi más sincero agradecimiento.

A mi Universidad Nacional Federico Villarreal, por haberme brindado los conocimientos y los valores para una formación.

A mi asesor de tesis, Mg. Braulio Valdivia, así como a los revisores Dr. Eberardo Osorio y Dr. Omar Vásquez, por sus observaciones y su disposición para enriquecer este trabajo. Asimismo, a los jurados por su rol en el proceso de evaluación y aprobación de la presente investigación.

ÍNDICE

Resumen.....	8
Abstract.....	9
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Descripción y formulación del problema.....	11
1.1.1 Descripción del problema	11
1.1.2 Formulación del Problema	12
1.2 Antecedentes	13
1.2.1 Antecedentes Nacionales	13
1.2.2 Antecedentes Internacionales.....	16
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos específicos	20
1.4 Justificación	21
1.5 Hipótesis	22
1.5.1 Hipótesis general.....	22
1.5.2 Hipótesis específicas.....	22
II. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Bases Teóricas sobre el tema de investigación	23
2.1.1 La Industria de la curtiembre	23
2.1.2 Curtido de cromo	27
2.1.3 Metales pesados en efluentes	28
2.1.4 Técnicas de remoción de metales pesados en efluentes.....	28
2.1.5 Bioabsorción	29
2.1.6 Floculantes	29
2.1.7 Cromo	30
2.1.8 Hidróxido de calcio.....	31
2.1.9 Cáscara de plátano	32
III. MÉTODO	36
3.1 Tipo de investigación.....	36
3.2 Ámbito temporal y espacial	36

3.2.1.	Ámbito temporal	36
3.2.2.	Ámbito espacial.....	37
3.3.	Variables	37
3.3.1	Variable Independiente	37
3.3.2	Variable Dependiente.....	37
3.4.	Población y muestra.....	39
3.4.1.	Población.....	39
3.4.2.	Muestra	39
3.5.	Instrumentos.....	39
3.5.1	Técnicas	39
3.5.2	Instrumentos.....	39
3.5.3	Validación y Confiabilidad del Instrumento	40
3.5.4	Equipos y materiales	40
3.6	Procedimientos.....	42
3.6.1.	Caracterización del Efluente	42
3.6.2.	Preparación del Bioadsorbente de plátano e Hidróxido de calcio.....	43
3.6.3.	Ensayos de Jar Test.....	43
3.6.4.	Determinación del Cromo total.....	44
3.6.5.	Análisis Final	45
3.7	Análisis de datos	45
3.8	Consideraciones éticas	45
IV	RESULTADOS.....	47
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
VI.	CONCLUSIONES	66
VII.	RECOMENDACIONES.....	67
VIII.	REFERENCIAS.....	68
IX.	ANEXOS	74

Índice de tablas

Tabla 1 Propiedades Físicoquímicas del Cromo.....	30
Tabla 2 Operacionalización de variables	38
Tabla 3 Caracterización del efluente de Curtiembre.....	47
Tabla 4 Resultados de Cr Total con 30 minutos de agitación con bioadsorbente	48
Tabla 5 Resultados de Cr Total con 60 minutos de agitación con bioadsorbente	49
Tabla 6 Resultados de Cr Total con 120 minutos de agitación con bioadsorbente.....	51
Tabla 7 Resultados de Cr Total al 5% de Hidróxido de Calcio.....	52
Tabla 8 Resultados de Cr Total al 10% de Hidróxido de Calcio.....	54
Tabla 9 Resultados de Cr Total al 15% de Hidróxido de Calcio.....	55
Tabla 10 Resultados de Cr Total al 20% de Hidróxido de Calcio.....	56
Tabla 11 Resultados de las eficiencias de Cr Total con 30 minutos de agitación con bioadsorbente.....	58
Tabla 12 Resultados de las eficiencias de Cr Total con 60 minutos de agitación con bioadsorbente.....	59
Tabla 13 Resultados de las eficiencias de Cr Total con 120 minutos de agitación con bioadsorbente.....	59
Tabla 14 Resultados de las eficiencias de Cr Total al 5% de Hidróxido de Calcio.....	60
Tabla 15 Resultados de las eficiencias de Cr Total al 10% de Hidróxido de Calcio.....	61
Tabla 16 Resultados de las eficiencias de Cr Total al 15% de Hidróxido de Calcio.....	61
Tabla 17 Resultados de las eficiencias de Cr Total al 20% de Hidróxido de Calcio.....	62

Índice de figuras

Figura 1. Evolución del sector cuero y calzado frente del sector manufacturero (1998 - 2018) ..	24
Figura 2. Esquema del proceso de producción de cuero.....	26
Figura 3. Esquema de funcionamiento de la industria curtiembre.....	27
Figura 4. Comportamiento del Cr Total con 30 minutos de agitación.....	49
Figura 5. Comportamiento del Cr Total con 60 minutos de agitación.....	50
Figura 6. Comportamiento del Cr Total con 120 minutos de agitación.....	51
Figura 7. Comportamiento del Cr Total al 5% de Hidróxido de Calcio.....	53
Figura 8. Comportamiento del Cr Total al 10% de Hidróxido de Calcio.....	54
Figura 9. Comportamiento del Cr Total al 15% de Hidróxido de Calcio.....	56
Figura 10. Comportamiento del Cr Total al 20% de Hidróxido de Calcio.....	57

Resumen

En el Perú la industria de curtiembre se ha convertido en un foco contaminante capaz de impactar negativamente en ambiente, sobre todo en los recursos hídricos, resaltando que los efluentes derivados de este proceso presentan sustancias altamente tóxicas, situación que ha ameritado la creación de investigaciones con respecto al tratamiento de estas. Es por ese motivo que se planteó llevar a cabo la presente investigación, cuyo objetivo principal fue el evaluar la eficacia del hidróxido de calcio optimizado con bioadsorbente de plátano para la remoción de cromo total en el efluente de una industria de curtiembre y la metodología fue de tipo aplicada con un diseño experimental. Encontrándose los siguientes resultados: En primer lugar, la caracterización del efluente muestra niveles que exceden los LMP en relación al pH, SST, DQO y cromo. En la primera fase del tratamiento se halló que el tiempo óptimo de contacto del biosorbente fue de 120 minutos con dosis de 1.5 g reduciendo de 15.1 a 3.83 mg Cr/l, mientras que en la segunda fase complementaria con Hidróxido de Calcio al 20%, se logró reducir con las dosis de 40 y 50 ml a 0.49 y 0.48 mg Cr/l respectivamente permitiendo alcanzar los LMP. En tercer lugar, la eficiencia máxima del bioadsorbente fue de 74.6%, mientras que para la fase complementaria con el Hidróxido de Calcio para las 2 dosis antes indicadas fue de 88.4 y 89.6%. La conclusión del estudio fue que el bioadsorbente por sí mismo no puede alcanzar los LMP, por lo cual, debe ser usado con un complemento inorgánico.

Palabras claves: bioadsorbente, hidróxido de calcio, remoción de cromo.

Abstract

In Peru, the tanning industry has become a polluting source capable of negatively impacting the environment, especially water resources. For this reason, the present investigation was proposed, whose main objective was to evaluate the effectiveness of calcium hydroxide optimized with banana bioadsorbent for the removal of total chromium in the effluent of a tanning industry and the methodology was applied with an experimental design. The results found were the following: First, the characterization of the effluent shows levels that exceed the LMP in relation to pH, TSS, COD and chromium. In the first phase of the treatment, it was found that the optimal contact time of the biosorbent was 120 minutes with a dose of 1.5 g, reducing from 15.1 to 3.83 mg Cr/l, while in the second complementary phase with 20% Calcium Oxide, It was possible to reduce the doses of 40 and 50 ml to 0.49 and 0.48 mg Cr/l respectively, allowing the LMP to be achieved. Thirdly, the maximum efficiency of the bioadsorbent was 74.6%, while for the complementary phase with Calcium Oxide for the 2 doses indicated above it was 88.4 and 89.6%. The conclusion of the study was that the bioadsorbent by itself cannot reach the LMP, therefore, it must be used with an inorganic supplement.

Keywords: bioadsorbent, calcium hydroxide, chromium removal

I. INTRODUCCIÓN

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO, 2017) ha señalado que en las últimas décadas la industria de curtiembre se ha convertido en el foco de interés en relación a la temática de contaminación del agua, ello debido a que, en el proceso de limpieza y conservación de pieles de los animales pueden emplearse 452 kg de productos químicos, así como dejar 31 m³ de agua residual y 637 kg de residuos sólidos. Esta misma organización menciona que los principales parámetros que son excedidos suelen ser el DBO, DQO, sólidos totales disueltos, sólidos suspendidos, sulfuros, cloruros, sulfato (SO₄) y cromo (Cr). En el Perú esta situación se repite considerando que los principales residuos de esta industria son sustancias tóxicas, virutas y trozos de piel con cromo (Huamán, 2022).

Siguiendo esta línea, la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, 2012), menciona que el cromo es considerado una de las sustancias cuya toxicidad lo ubica como uno de los elementos más peligrosas en tanto a sus efectos en la salud y el medio ambiente por su liberación que en la mayoría de las veces conlleva a una exposición que resulta ser nociva. Es en este contexto en el cual los bioadsorbentes surgen como una opción para remover de manera parcial o completa la presencia de este elemento en la industria de curtiembre debido a su eficacia, por características tales como su mayor porosidad y área superficial, en cuanto a los contaminantes orgánicos y metales pesados (Redacción Interempresas, 2017).

Es así como resulta importante colaborar con investigaciones actualizadas sobre la remoción de contaminantes generadas por la industria curtiembre en el Perú; ya que, en el territorio nacional reside una necesidad de comparación con resultados de estudios experimentales previos

así como la investigación de los tipos de tratamientos empleados en estos (Gutiérrez y Varela, 2022).

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Descripción del problema

Las aguas residuales generadas por la industria de curtido se han constituido como la consecuencia del uso del agua para diversas actividades, lo cual lleva a variaciones significativas en sus características fisicoquímicas. Los insumos químicos utilizados durante el proceso, así como los residuos sólidos generados, si se vierten sin ningún tipo de tratamiento en el sistema de alcantarillado del área causa una grave contaminación del agua utilizada (Cifuentes y Fraile, 2021).

A nivel global, este tipo de industria ha logrado ser reconocida por ser una de las principales fuentes de contaminación, esto debido a que, diversas investigaciones señalan que los efluentes derivados de esta industria han presentado concentraciones exponenciales de compuestos tales como cromo trivalente, materia orgánica, sólidos suspendidos totales, DBO₅, DQO, sulfatos, hierro, níquel, sodio, grasas, entre otros contaminantes, que representan riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente (Reyes, 2019).

Ahora, el proceso de curtido implica la transformación de la piel de ganado vacuno u otros animales en cuero, una materia prima valiosa que se caracteriza por su resistencia, flexibilidad e inmunidad al ataque bacteriano. Este procedimiento suele ser realizado al utilizar taninos de origen vegetal, que usualmente requiere entre una y dos semanas, o sales de cromo (III), que se llevan a cabo en un período de 6 a 8 horas (Ortiz y Carmona, 2015).

Cabe mencionar que las sales de cromo logran ser fijadas en su totalidad, y, debido a ello, se disipan con el agua residual encontrándose como Cr^{6+} y Cr^{3+} . Aunque el Cr^{3+} es menos tóxico que el Cr^{6+} , en determinadas condiciones puede oxidarse a su forma hexavalente, lo que impacta

negativamente en el cuerpo receptor del efluente. Las concentraciones elevadas de cromo en las aguas superficiales afectan la fauna, como por ejemplo, el daño a las branquias de los peces así así como consecuencias perjudiciales en la salud humana tales como dificultades respiratorias, malformaciones congénitas, problemas de fertilidad y desarrollo de neoplasias. Además, la abundancia de cromo en las plantas impide su crecimiento y la germinación (Vicuña, 2023).

La contaminación causada por el vertido de residuos líquidos que contienen sustancias tóxicas como el cromo (Cr) en fuentes de agua ha llamado la atención de varias organizaciones ambientales que buscan abordar este problema de manera integral. El uso de sales de cromo en el curtido representa un desafío, ya que una parte significativa del curtiente no se fija y permanece en los efluentes y lodos de depuración, lo que impide la reutilización de los materiales residuales (Mosquera y Leal, 2018).

Por ende, el presente trabajo se enfoca en la optimización del hidróxido de calcio con la cáscara de plátano en la remoción del cromo de un efluente de curtiembre.

1.1.2 Formulación del Problema

Problema General

¿Cómo es la optimización del hidróxido de calcio con bioadsorbente de plátano para la remoción del cromo en efluente de la industria de curtiembre?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del efluente de curtiembre antes del inicio del tratamiento?
- ¿Cuál es la dosis óptima del bioadsorbente de plátano e hidróxido de calcio en la remoción de cromo total del efluente de curtiembre?

- ¿Cuál es la eficiencia del bioadsorbente de plátano e hidróxido de calcio en la remoción de cromo total del efluente de curtiembre?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes Nacionales

Vicuña (2023), en su investigación decidió llevar a cabo una evaluación sobre la eficiencia de la cáscara de papa y la borra de café como elementos bioadsorbentes para la eliminación de cromo trivalente en efluentes residuales de una industria de curtiembre. Es así que, para la metodología el autor optó por emplear una de tipología aplicada, con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental, es importante señalar que el nivel de la investigación fue correlacional. Para el procedimiento se decidió emplear una muestra de 20 litros de agua residual para ser sometidas a tratamiento mediante el método de jarras con un volumen constante de 0.5 litros y velocidad de agitación diferenciadas de 100 RPM para cáscara de papa y una velocidad de 250 RPM para la borra de café, en tiempos de 15, 30 y 60 minutos seguido de un periodo de sedimentación de 30 minutos. Ahora algunos de los hallazgos principales fueron los siguientes: las concentraciones iniciales de cromo de 56.54 mg/l (Tratamiento 1), 5.41 mg/l (Tratamiento 2) y 17.09 mg/l (Tratamiento 3), no se logró obtener una dosis óptima de tratamiento para el T1 que permitieran establecerlo dentro del LMP, pero sí se logró una remoción de 41.95% con la cáscara de papa, y, se lograron obtener dosis óptimas para los T2 y T3 con ambos floculantes que permitieron la remoción de hasta el 100% del cromo.

Durand y Tello (2019), plantearon investigar cómo el pH y la melaza afectan la capacidad estimulante de *Trichoderma* sp. para reducir el cromo en los efluentes de la etapa de curtido. Dentro de la metodología empleada se realizó un diseño experimental con variables independientes, como pH 4 y 6, concentraciones de melaza de 0.5% y 1%, y dos tiempos de incubación de 8 y 12 días.

Se decidió que las interacciones entre estas variables y su impacto en la reducción de cromo debía ser sometidas a un análisis en los efluentes de curtido, por lo cual, se decidió emplear un sistema de biorreactores a escala de laboratorio, en el cual se utilizaron matraces Erlenmeyer con una capacidad de 500 mL. Cada biorreactor contenía un 20% del efluente, una concentración específica de melaza (0.5% o 1% de melaza industrial, cabe resaltar que esto fue elegido en base al tratamiento) y un 10% de inóculo constante de *Trichoderma* sp. Siguiendo esta línea, se decidió evaluar los diferentes tratamientos a los 8 y 12 días, incluyendo el día cero. Se tomaron muestras de 50 mL de cada biorreactor para determinar la reducción de cromo. Los resultados indicaron que el tratamiento más eficiente fue el número 5, que consistía en una concentración de melaza del 1% y un pH de 4. La mayor reducción de cromo se observó en el día 12, alcanzando una reducción de 486 ppm o el 27.03% del cromo total. Estos resultados fueron respaldados estadísticamente utilizando el software SPSS versión 25.0.

Artica y Sierra (2019), plantearon como objetivo de su investigación determinar cuál de los bioadsorbentes (cáscara de castaña y limón) presentaba una considerable eficiencia en la erradicación de cromo (Cr^{+6}) y plomo (Pb) presentes en los efluentes de una industria curtidora. Siguiendo esta línea, los autores decidieron emplear una metodología con enfoque cuantitativo y un diseño experimental. En relación al procedimiento, este tuvo una población de estudio representada por los efluentes de esta industria mientras que la muestra fueron tres litros derivadas de la misma, al respecto de los instrumentos empleados en el estudio estos abarcaron desde fichas de muestreo, control del pH hasta porcentaje de eliminación de metales pesados. Además, los investigadores determinaron un pH óptimo para cada uno de los bioadsorbentes por medio de previa evaluación, siendo esos los siguientes: 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 y 6. Cabe resaltar que la adsorción de Cr y Pb logró ser verificada por medio del análisis de transformación infrarroja de

Fourier (FTIR) pre y post interacción. Es así como los hallazgos obtenidos mediante este estudio fueron los siguientes: la cáscara de limón mostró una eficiencia de remoción de Cr del 88.10% en condiciones de pH, dosis y tiempo de contacto de 5, 4.5 g/l y 3 horas respectivamente mientras que para el plomo fue una eficiencia de remoción del 91.35% a pH 5, dosis de 5 g/l y tiempo de contacto de 3 horas. Por otro lado, la cáscara de castaña logró una eficiencia de remoción de Cr del 87.78% en condiciones de pH, dosis y tiempo de contacto de 5, 5 g/l y 4 horas, mientras que para el plomo fue del 87.09% a pH 5, dosis de 4.5 g/l y tiempo de contacto de 4 horas. En conclusión, se determinó que ambos bioadsorbentes tienen un gran potencial en la adsorción de Cr^{+6} y Pb, y pueden ser aplicados en los efluentes de la industria curtidora.

Zamora (2018), planteó como objetivo remover la concentración de cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido en la industria de curtiembre, empleando polvo de cascara de plátano, dentro de la metodología empelada se consideró un diseño de tipo experimental para el tratamiento empelando polvo de cascara de plátano generada dentro del laboratorio para 2 niveles de estudio, en 4 pruebas donde se relacionaron 2 variable independientes (pH, concentración g/l), las 4 pruebas se hicieron por triplicado. Se ajustó el pH de 2 a 5 y 6. Como resultado se tiene que el mayor porcentaje de remoción de cromo total es de 20,15 % y se alcanzó con una concentración de 20 g/l de polvo de cascara de plátano, llegando a utilizar 2 gramos en 100 ml de efluente de la etapa de curtido de cuero.

Castro y Jave (2017), plantearon como objetivo estudiar la influencia del hidróxido de calcio para minimizar el cromo presente en las aguas residuales de las curtiembres. La metodología empelada de la precipitación del efluente con diversas dosis de hidróxido de calcio, se analizó el cromo total antes y después del tratamiento por el método de espectrofotometría ultravioleta (UV/VIS) en los sobrenadantes y el tratamiento se realizó mediante el método de jarras con 200

ml de efluente de curtido y dosis de Hidróxido de Calcio de 0.0075, 0.0125, 0.015 y 0.0175. Obteniéndose como resultado una remoción del 99.98 %, a una dosis de hidróxido de calcio de 0.0175g/ml en un rango de pH entre 9.1 y 9.4.

Rodríguez y Quezada (2019). El propósito de esta investigación fue evaluar la capacidad de un consorcio de levaduras compuesto por cepas de *Saccharomyces cerevisiae* (S) y *Pichia guilliermondi* (P) aisladas de residuos agroindustriales para remover cromo de los efluentes de la industria curtidora. Como parte de la metodología, los autores decidieron usar una dentro del enfoque cuantitativo y de diseño experimental, este consistió en cuatro biorreactores de 250 ml que contenían muestras de efluentes de la etapa de curtido, utilizando el consorcio de levaduras (S+P) como sorbente. Se controlaron los tiempos de 0, 6, 12 y 24 horas, y, las muestras fueron sometidas a un análisis por medio de espectrofotometría de absorción atómica a la flama. Los resultados mostraron una capacidad de remoción de cromo total del 57% y 54% a concentraciones de 50ppm y 100 ppm, respectivamente, utilizando el consorcio de levaduras. Además, el análisis estadístico con ANOVA demostró que no hay una diferencia significativa teniendo una probabilidad mayor a 0.05 ($p > 0.05$) al emplear ambas concentraciones, por lo que se recomienda utilizar la concentración más alta en el proceso de bioadsorción de efluentes de curtiembres. La aplicación de consorcios microbianos de levaduras se presenta como una alternativa viable en la biorremediación de los efluentes de la industria curtidora cuyo atractivo se encuentra en su costo e influencia en el medio ambiente. Se sugiere seguir investigando sobre esta tecnología de tratamiento.

1.2.2 Antecedentes Internacionales

Ameha et al. (2024), plantearon en su artículo científico como objetivo utilizar la cáscara de plátano como adsorbente para eliminar iones de cromo Cr (VI) de aguas residuales. La cáscara

de plátano en inglés, “banana peel” (BP) se activó en un horno durante 2 horas a 450 °C y 50% de humedad. Posteriormente, la cáscara de plátano activada se caracterizó mediante análisis proximal, análisis elemental, microscopía electrónica de barrido en inglés, "Scanning Electron Microscope" (SEM), difracción de rayos X (DRX), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), análisis Brunauer Emmett Teller (BET) y análisis termogravimétrico (TGA). Según los resultados de la caracterización, la cáscara de plátano presentó una superficie porosa y una superficie alta de 200 m²/g, así mismo se evaluó la eficiencia de eliminación de cromo hexavalente Cr (VI) en términos de pH, tiempo de contacto, concentración inicial y dosis de adsorbente. Obteniendo como resultado que las condiciones operativas óptimas para eliminar el 94% del Cr (VI) fue con un tiempo de adsorción de 92 min, con una dosis de adsorbente de 1,5 g/l, un pH de 3 y una concentración inicial de Cr (VI) de 38 mg/l. Concluyendo que la cáscara de plátano activada podía reutilizarse seis veces antes de que su eficiencia de eliminación se redujera a menos del 70%.

Dagnew y Bantie (2023), plantearon en su investigación optimizar la eliminación de cromo hexavalente Cr (VI) de una solución acuosa utilizando adsorbente de cáscara de naranja activado para el tratamiento de aguas residuales de curtiduría mediante el análisis de los efectos de la dosis de adsorbente, el pH y el tiempo de contacto. Dentro de la metodología los adsorbentes de naranja crudos y activados se caracterizaron mediante espectroscopia de transformación infrarroja de Fourier (FTIR), microscopio electrónico de barrido (SEM) y Brunauer-Emmett-Teller (BET), los experimentos de adsorción discontinua se llevaron a cabo a temperatura ambiente y la concentración residual de Cr (VI) se analizó mediante un espectrómetro ultravioleta (UV-VIS), así mismo se llevó a cabo la desorción del biosorbente para regenerar el bioadsorbente y recuperar el metal. De los resultados obtuvieron que la eliminación máxima fue de 94,74% a un pH de 2, a una

dosis de 2,5 g/l y un tiempo de contacto de 90 minutos. Los resultados de FTIR confirman que los grupos funcionales hidroxilo, que tienen una alta afinidad por los metales pesados, son responsables de la eliminación del Cr (VI). Los grupos metoxi, que se desmetilan para generar nuevos grupos hidroxilo después de la carbonización que confirma la oxidación, también desempeñan un papel importante en el proceso de adsorción. Los resultados de SEM indican que el adsorbente de cáscara de naranja activado tiene una superficie altamente porosa creada debido a la eliminación de compuestos viscosos durante la activación. Concluyendo que el uso de adsorbente de cáscara de naranja activado es prometedor para tratar efluentes de aguas residuales para la eliminación de Cr (VI).

Cifuentes y Fraile (2021) plantearon como finalidad de su estudio el evaluar el rendimiento de bioadsorbentes de cáscara de mandarina, cáscara de plátano y bagazo de caña de azúcar para la erradicación de cromo hexavalente Cr (VI) en soluciones acuosas. Como parte del procedimiento, los autores decidieron comenzar con una caracterización fisicoquímica de los biosorbentes, incluyendo parámetros tales como el pH, acidez, granulometría, porosidad y concentración de sólidos. Además, estos fueron lavados en agua destilada, para proceder a ser secados a 105°C durante 24 horas y finalmente ser triturados para obtener gránulos menores a 0,06 mm. Luego, se llevaron a cabo bioensayos en condiciones de 18°C, en un periodo de 24 horas y a 200 rpm con distintas proporciones de los biosorbentes y el efecto de estos en una concentración de cromo de 50 ppm. Se observaron diferencias significativas con una probabilidad menor al 0,05 ($p < 0,05$) entre los tratamientos, logrando remociones máximas de 72,8 +/- 9,6%, 99,4 +/- 0,2% y 99,0 +/- 0,3% para CM, CP y BCA, respectivamente. Se evidenció una mayor remoción de Cr (VI) a medida que se aumentaba la cantidad de material biosorbente aplicado. Finalmente, se confirmó

que esta alternativa presenta un enfoque verde importante, con una eficiencia de remoción del 91,2%. Esto representa beneficios ambientales significativos durante su implementación.

Reyes (2019) llevó a cabo una investigación cuyo propósito fue reducir la concentración de cromo (III) en el efluente una industria de curtiembre por medio de un tratamiento químico enfocado en el uso de CaO y $\text{Ca}(\text{OH})_2$. La metodología que el autor decidió utilizar para este tratamiento fue de enfoque cuantitativo con un diseño experimental, además el procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera: se llevó a cabo la caracterización inicial de la muestra, se llevaron a cabo experimentos para determinar las dosis óptimas de ambos álcalis para la erradicación del cromo y sulfatos, finalmente, se decidió realizar la caracterización final del efluente luego de atravesar el tratamiento por medio de las dosis óptimas establecidas. Es así como algunos de los hallazgos principales fueron los siguientes: la dosis óptima de álcali fue de 1.2 g/g Cr^{3+} para CaO y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, el cromo disminuyó de 2007.08 mg/l a 2.33 mg/l y 2.49 mg/l, respectivamente, los resultados se encontraron dentro de un pH de 7-9 lo cual fue similar a estudios previos, la eficiencia de remoción fue del 99.8% para los álcalis de grado reactivo (CaO y $\text{Ca}(\text{OH})_2$) y de 98.7% para los álcalis comerciales. Las pruebas de jarras se realizaron a 250 rpm durante 10 minutos de agitación, todo lo anterior colabora a establecer parámetros deben tenerse en cuenta al escalar este proceso a nivel piloto.

Mosquera y Leal (2018), evaluó el uso de pectina previamente extraída de cáscaras de cholupa (*Passiflora maliformis*) en la erradicación de cromo (Cr) de aguas residuales de curtiembre. Se aprovechó la disponibilidad de las cáscaras de cholupa como subproducto agrícola para obtener pectina utilizando tres métodos de extracción: secado para obtener pectina sólida, hidrólisis ácida para obtener pectina líquida y posterior secado para obtener pectina sólida. Además, se evaluó la capacidad de la pectina para remover el cromo en aguas residuales de

curtiembre con una concentración inicial de 2317 mg/l. Se utilizó un diseño experimental de 3x2x2, con factores que corresponden al tipo de pectina (A, B y C), pH de la muestra (3.5 y 5.0) y dosis de pectina (2 g/200 ml y 4 g/200 ml). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial utilizando el programa STATGRAPHICS para identificar diferencias estadísticamente significativas. El tratamiento con mejores resultados en términos de remoción del cromo fue el T6, que correspondió a la pectina C aplicada sobre una muestra con un pH de 3.5, utilizando una dosis de 4.0 g/200 ml. Este tratamiento mostró un porcentaje de remoción del metal de 33.9% y una capacidad de remoción de cromo de 39.3 mg/g de pectina. Estos resultados indican que el uso de la pectina C, aplicada en las condiciones mencionadas, facilita el proceso de remoción del cromo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la optimización del hidróxido de calcio con bioadsorbente de plátano para la remoción del cromo en el efluente de una industria de curtiembre, Lima 2024.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del efluente de curtiembre antes del inicio del tratamiento.
- Estimar las dosis óptimas del bioadsorbente de plátano e hidróxido de calcio en la remoción de cromo total del efluente de curtiembre.
- Determinar la eficiencia del bioadsorbente de plátano e hidróxido de calcio en la remoción de cromo total del efluente de curtiembre.

1.4 Justificación

Teóricamente la investigación se justifica en el aporte de nuevos conocimientos relacionados al uso de compuestos naturales (bioadsorbente de plátano) quienes pueden utilizarse para remover elementos tóxicos como el Cromo, en este sentido permitirá optimizar el uso y gasto de sustancias sintéticas (Hidróxido de Calcio), quienes son utilizados de manera convencional, y se usan en cantidades exorbitantes y son de carácter no biodegradable impactando negativamente al ambiente, es por ello que el uso previo de un compuesto natural permitirá ayudar en remover previamente los compuestos de Cromo, reduciendo significativamente de esta manera el consumo de sustancias sintéticas en una etapa posterior.

Desde el enfoque **práctico**, la justificación se halla en la necesidad de contar con sustancias orgánicas de naturaleza biodegradable que sean eco amigables con el ambiente, y se optimice su aplicación lo máximo posible, minimizando el uso de sustancias inorgánicas o sintéticas.

Metodológicamente, la investigación se sustenta en el uso de prueba de prueba de jaras, el cual permitirá obtener resultados confiables con relación a los ensayos que se tengan que realizar, tanto al iniciar con un compuesto natural como el bioadsorbente de plátano y finalizar con un compuesto sintético como el hidróxido de calcio, esta técnica aplicada permite encontrar un óptimo de remoción de Cromo, haciéndolo viable para su aplicación en todos los campos que se requieran optimizar el consumo de sustancias o compuestos sintéticos.

Socialmente la investigación se justifica en la necesidad de contar con efluentes de curtiembre que no impacten al ambiente, en especial a los recursos hídricos, y los usuarios los puedan utilizar el recurso para sus diferentes necesidades teniendo la seguridad de que no cuentan con compuestos tóxicos como el Cromo. Los conocimientos generados en la presente investigación son de importancia para la disminución de la contaminación de cromo en las aguas desde su

generación durante el proceso de curtido hasta cumplir con los límites máximos permisibles de vertimiento en los cuerpos de agua. Por otro lado, este trabajo es de suma importancia debido al impacto positivo que provoca en el sector de las curtiembres pues aborda la implementación de tecnologías limpias haciendo uso previo de un floculante de origen natural (bioadsorbente natural) y de un agente precipitante (hidróxido de calcio) complementario.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La optimización del Hidróxido de Calcio con bioadsorbente de plátano remueve eficientemente las concentraciones de cromo total del efluente de curtiembre.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Las características fisicoquímicas se encuentran de fuera de los límites máximo-permisibles en los efluentes de curtiembre.
- El bioadsorbente de plátano e hidróxido de calcio presentan una dosis óptima para remover significativamente el cromo total de los efluentes de curtiembre.
- El bioadsorbente de plátano e hidróxido de calcio presentan un alto grado de eficiencia en la remoción de cromo total de los efluentes de curtiembre.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases Teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1 *La Industria de la curtiembre*

Martínez (2017) afirma que para una adecuada gestión ambiental del sector de las curtiembres es preciso tener conocimientos de aspectos técnicos, legales, económicos y sobre todo del impacto ambiental implicados en todo el proceso de previo, durante y post producción en la actividad de curtiembre. Esta actividad consiste en el procesamiento de pieles, usualmente del ganado vacuno, que pasa por una serie de procesos hasta convertirse en cuero, material que es utilizado en el calzado, cartera, tapicería, vestimenta, entre otros. La industria de la curtiembre inició como uno de los oficios más antiguos de la humanidad frente a la necesidad de nuestros antepasados prehistóricos de protegerse ante las inclemencias del tiempo. Sin embargo, el ser humano ha tenido que recurrir a diferentes recursos y métodos para obtener un buen estado de cuero; desde las civilizaciones hebreas, babilónicas, egipcias y china. La curtiembre es una industria de alta exigencia con mayor avance en Europa debido a la mayor industrialización de material, en su mayoría, ligado a la moda. Así mismo la evolución de la industria química, el acceso a nuevas herramientas tecnológica y estrategias de mercadeo fueron vitales para el desarrollo e industrialización del sector de las curtiembres. Debido al gran alcance de la industria, se requiere un mayor seguimiento por parte del estado orientadas a conservar una relación amigable con el ambiente (p. 114).

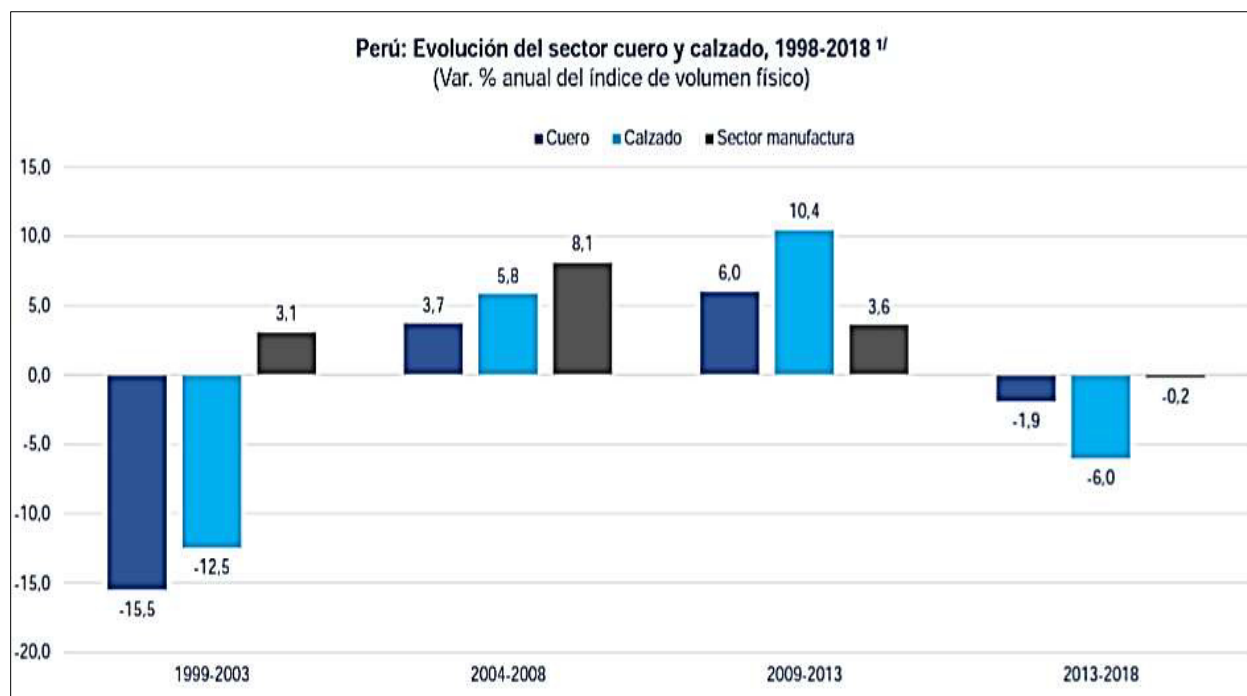
2.1.2 *Las curtiembres en el Perú*

La industria de curtiembre en el Perú muestra un gran crecimiento en los departamentos de Lima, La Libertad y Arequipa. Con el fin de contribuir a una mejora e igual crecimiento, el estado ha invertido en la industria de curtiembre estos últimos 5 años. Según el Ministerio de Producción

(2019), el Instituto Tecnológico de la Producción ITP red del centro de innovación productiva y transferencia tecnológica (CITE) invirtió s/. 7.2 millones de soles en la mejora del equipamiento y la infraestructura del CITE Cuero y Calzado de Arequipa. Por otro lado, en el CITE Cuero y Calzado de La Libertad se implementó la infraestructura con nuevas maquinarias brindando mejores servicios de ensayos en la resistencia de cuero, una planta piloto de curtiembres y por consecuente una eficaz producción. Según el Ministerio de Producción (2022) , el departamento de Junín se suma a la lista de fuentes de abastecimiento nacional de cueros y calzados, ocupando el cuarto lugar a nivel nacional. Por esta razón, autoridades regionales y del ejecutivo iniciaron la construcción del CITE Cuero y Calzados de Junín con una inversión de más de 19 millones de soles, esperando beneficiar a más de 840 micro y pequeña empresa (Mypes) de Huancayo y mercados aledaños abastecidos como Ayacucho, Huancavelica, Pasco y Huánuco.

Figura 1

Evolución del sector cuero y calzado frente del sector manufacturero (1998-2018)



Nota. Produce, BCRP (Banco Central de Reserva del Perú).

2.1.3 *Proceso en el sector industrial de curtiembre*

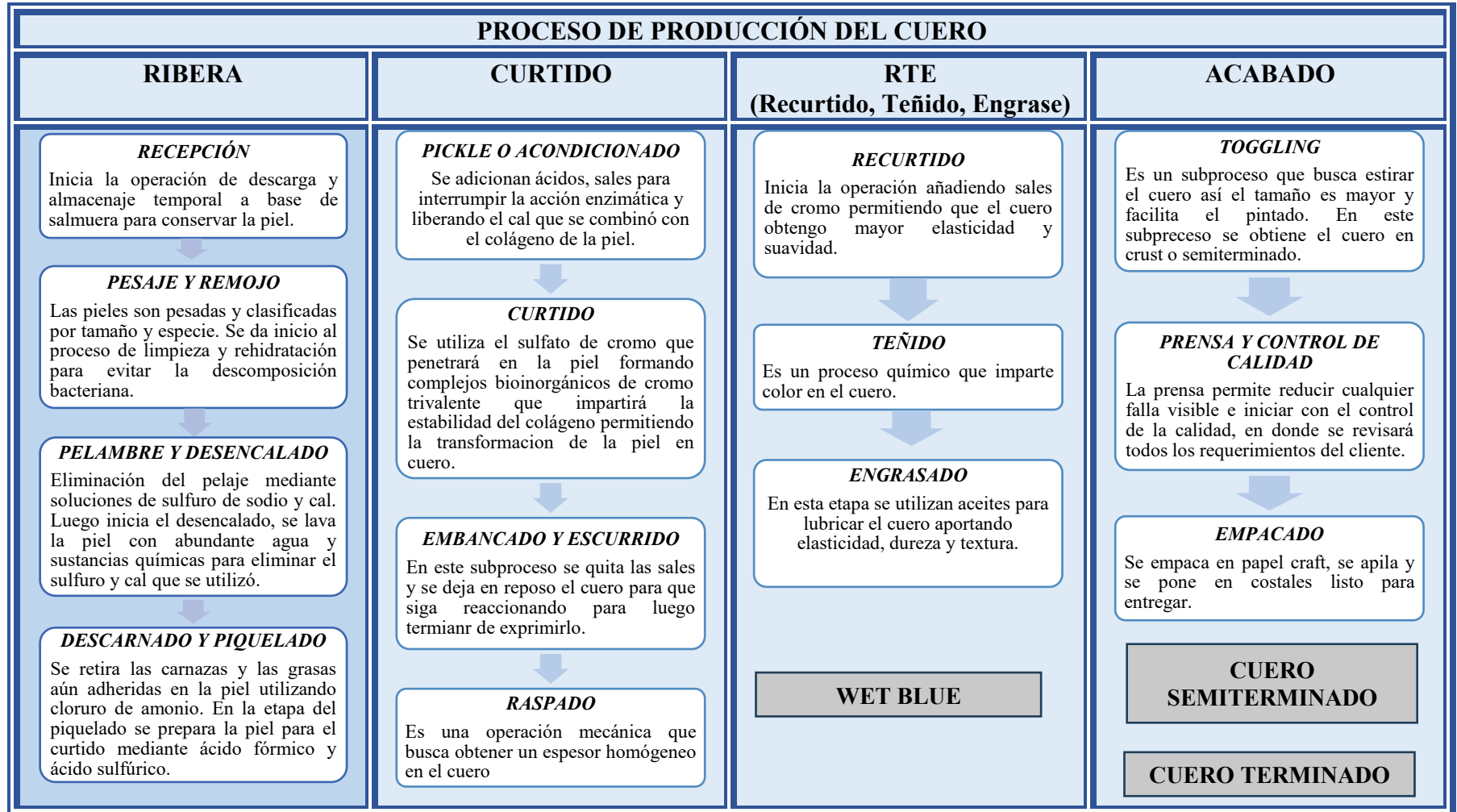
El proceso de curtido consiste en la transformación de la piel cruda en cuero. Luego de sacrificar al animal, la piel pasa por un proceso de limpieza que involucra diferentes agentes químicos que interaccionan con las fibras de colágeno produciendo ese resultado de cuero brillante, estable y duradero. De acuerdo con Gutiérrez (1999), el proceso de curtido se puede clasificar en cuatro etapas; la primera es conocida como Ribera que es la etapa de recepción y limpieza de la materia prima, la segunda etapa es el proceso de Curtido en donde se utiliza materiales de origen vegetal o inorgánico (Cromo) para lograr mayor estabilidad física y química del colágeno evitando la putrefacción de la piel y haciéndolas resistentes a cambios de temperatura y humedad. La tercera etapa se conoce como RTE (Recurtido, Teñido y Engrase), en esta etapa se logra adquirir suavidad y color del cuero. Finalmente, en la cuarta etapa denominada Acabado se define el grabado, tacto, color final, etc (p. 4).

Según Lagos (2016) afirma que la producción de cuero representa una importante cifra de ingresos a nivel mundial y además continúa en crecimiento. Si bien la producción de cuero tiene un espacio relevante en la economía mundial, el impacto ambiental negativo que genera también se incrementa puesto que el avance de los procesos de manufactura no va de la mano con el avance económico. En la mayoría de industria de curtiembre aún se usa los métodos tradicionales y es evidente la falta de optimización de insumos químicos, así mismo la gestión de los residuos generados en el proceso de producción (p. 10).

Es preciso, indicar que las cuatro etapas mencionadas son referenciales ya que cada industria puede utilizar diferentes reactivos químicos con el fin de diferenciar su producto en el mercado. Cada etapa mencionada presenta subprocesos que a continuación podemos apreciar en el esquema del proceso de curtición.

Figura 2

Esquema del proceso de producción del cuero



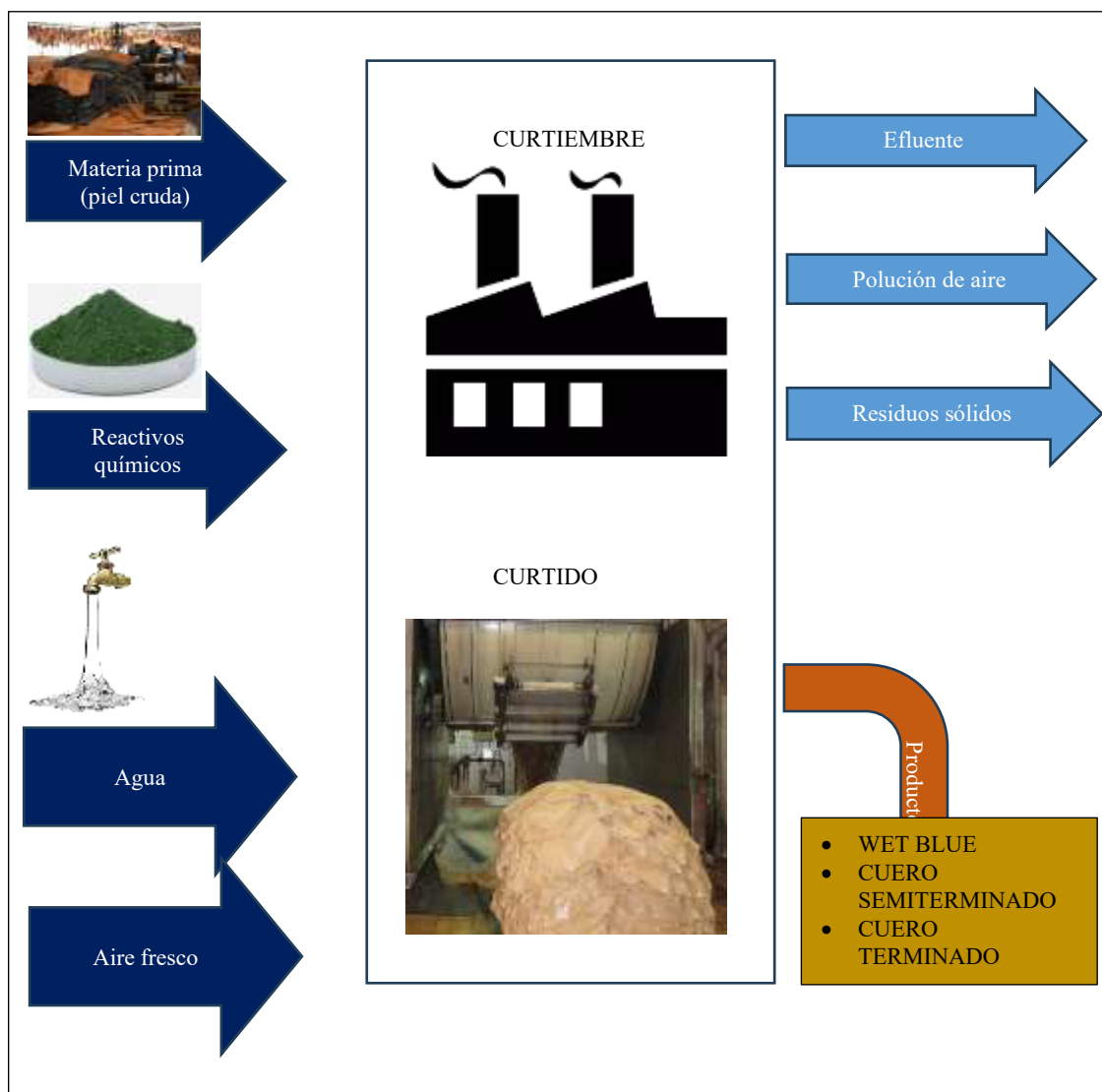
Nota. Desarrollo y producto en cada etapa del proceso de producción del cuero. Adaptada de “Sistema de gestión por procesos en línea de producción de cuero

de la empresa CETICUERO Curtiduría de la Ciudad de Ambato (p. 41-63), por Reyes & Michala, 2020.

Es importante resaltar la importancia del agua en la industria de curtiembre ya que tendrá un impacto en su producción, en la calidad de agua de sus alrededores y en la salud pública.

Figura 3

Esquema de funcionamiento de la industria curtiembre



Nota. Adaptado del Esquema de funcionamiento de la industria curtiembre, por Lagos, 2016.

2.1.4 Curtido de cromo

El curtido es un proceso químico que abarca la transformación de la piel cruda en cuero por medio la estabilización de la estructura proteica del colágeno en el cual, generalmente se hace

uso del cromo trivalente como agente curtiente, evitando su descomposición, y, a su vez, el cromo reacciona con los grupos carboxilo del colágeno, confiriéndole al cuero propiedades como resistencia a la humedad, flexibilidad y durabilidad. (Lagos, 2016).

2.1.5 Metales pesados en efluentes

Los efluentes tanto domésticas como industriales poseen diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos, estos modifican la composición inicial de la misma. Los contaminantes orgánicos son degradados por microorganismos que se encuentran en estas aguas, pero los contaminantes inorgánicos incluyendo metales pesados se transforman en diversas especies y representan un riesgo para el ambiente y seres vivos que tengan contacto directo o indirecto con ellas.

Dentro de los efluentes líquidos industriales, los metales pesados son los que alteran más al medio ambiente, es por ello por lo que se consideran los más peligrosos por su baja biodegradabilidad, su alta toxicidad a baja concentraciones y su capacidad para acumularse en diferentes organismos. Las fuentes de aguas residuales que poseen elevadas concentraciones de metales como el Cr, Cd, Cu, Hg, Pb y Zn se originan de diversas actividades y los daños que ocasionan en el ambiente son: mortalidad de los peces, envenenamiento de ganado, mortalidad de plancton, acumulaciones en el sedimento de los peces y moluscos (Zamora, 2018, pp. 14-15).

2.1.6 Técnicas de remoción de metales pesados en efluentes

Carrión (2016), indica que existen tecnologías muy utilizadas para la erradicación de estos elementos tóxicos en aguas residuales; sin embargo, muchos de estos destacan por su alto costo y resultados no eficientes a comparación de la materia y equipo que se necesita para aplicarlos. Algunos de estos son los siguientes:

- ❖ Intercambio de iones.
- ❖ Coagulación química.

- ❖ Tratamiento electroquímico.
- ❖ Reducción y absorción a partir de absorbentes mixtos.
- ❖ Ósmosis inversa.

Dentro de los procesos de remoción de cromo de agua de curtiembre se encuentran diferentes alternativas como:

- ❖ Optimización de variables para el curtido de pieles.
- ❖ Cambio de agente curtiente.
- ❖ Procesos fisicoquímicos.
- ❖ Procesos biológicos.

2.1.7 Bioabsorción

La bioadsorción es un proceso técnico y conveniente para las pequeñas y medianas industrias en la remoción de metales pesados. El proceso consiste en la captación del contaminante sólido presente en el agua, aire o suelo hacia una estructura orgánica o biomasa, mediante mecanismo fisicoquímico como la adsorción. Donde el contaminante sólido es el adsorbato, el líquido es el solvente y la estructura orgánica es el adsorbato (Cabrera, 2017).

2.1.8 Floculantes

Estos son definidos como componentes químicos que incitan al proceso de floculación es decir la desestabilización de las partículas suspendidas en el agua cuya carga iónica es usualmente negativa. Los floculantes provocan la unión de partículas sólidas suspendidas en el agua cruda o residual, ya que somete a la neutralización a las cargas electrostáticas de los compuestos de la disolución, de tal manera que estas logran que las fuerzas de repulsión entre ellos sean reducidas y se cree una unión entre sí, formando flóculos más grandes que se podrán eliminar con facilidad, por consecuencia se reducirá la turbidez y el color, y, se logrará llevar a cabo la erradicación de

elementos tales como sólidos suspendidos, partículas coloidales y sustancias disueltas (Rojas, 2022).

2.1.9 Cromo

El cromo es un elemento que forma parte del grupo de los oligoelementos, siendo el séptimo más abundante, que puede ser encontrado en concentraciones altas en el agua, tierra, aire y alimentos siendo parte de la corteza terrestre, este metal tiene características tales como ser insípido e inodoro. Este posee valencias tales como el cromo trivalente Cr (III); nutriente esencial promoviendo la tarea de insulina, y el cromo hexavalente Cr (VI), producido mediante actividades antropogénicas (Carrión, 2016).

Tabla 1

Propiedades Fisicoquímicas Del Cromo

Símbolo químico	Cr
Número atómico	24
Peso atómico	51,966 g
Densidad	7,19 g/cm ³ a 20 °C
Punto de ebullición	2672 °C
Punto de fusión	1857 °C
Solubilidad	H ₂ SO ₄ y HCl diluidos

Nota. Tomado de Carrión 2026, p. 11.

Es así como algunas de las propiedades del Cr desde el punto químico y fisicoquímico son:

- ✓ Abundante en la corteza terrestre como óxido (Cr₂O₃) en combinación con oxígeno y fierro conocido con el nombre mineral cromita.
- ✓ Posee varios estados de oxidación, siendo -2, 0, +2, +3 y 6, siendo de menos importancia -2 y +2, 0 es el cromo metálico, los compuestos que presentan importancia biológica por su estado de oxidación son:
 - ❖ +3 (óxido crómico (Cr₂O₃), cloruro crómico (CrCl₃) y anión cromito (Cr (OH)₄⁻)

❖ +6 (Trióxido de cromo (CrO_3), cromatos (CrO_4)²⁻ y dicromatos (Cr_2O_7)²⁻

2.1.9.1. Toxicidad

El Cromo (VI), denominado como “cromo 6” o “cromo hexavalente”, es un compuesto tóxico ello debido a que este es un oxidante lo cual significa que tiene la capacidad de adquirir electrones de otros elementos por ser una partícula de metal, este elemento puede ser encontrado en industrias con procesos que incluyan actividades tales como las siguiente: cromado, soldadura, curtiembres y similares operaciones (Carrión, 2016).

2.1.10 Hidróxido de calcio

Según el informe técnico de Sur Química el (2023), nos indica que el hidróxido de calcio o también conocida como cal apagada o cal hidratada, es un compuesto cuya forma es de un cristal incoloro u otras veces en forma de un polvo dispersable de color blanco; este compuesto es producto de la reacción del óxido de calcio (CaO) el cuál pasa por un proceso de hidratación que al reaccionar con agua (H_2O) se obtiene el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$. El hidróxido de calcio contempla una diversidad de aplicaciones para satisfacer las necesidades del hombre tales como la elaboración de jabones cálcicos, utilizados en tratamiento de aguas para eliminar la turbidez y neutralizar la acidez mejorando la calidad de agua: regularmente también se utiliza en los tratamientos químicos de aguas residuales, agrícolas e industriales, como es el caso de los efluentes de las curtiembres.

2.1.11 El hidróxido de calcio como agente precipitante del cromo

El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es más factible económicamente que la NaOH a nivel industrial separa más rápido al cromo de las aguas madres ósea más rápido en el proceso de recuperación. El cromo precipitado alcanza más rápido su nivel de compactación con la cal que con soda. Por esta razón

el presente trabajo de investigación busca optimizar los resultados junto a la acción de otro flocculante, cáscara de plátano.

2.1.12 Cáscara de plátano

Rojas (2022) indica que la cáscara del plátano contiene la enzima tirosinasa, la cual cuando se le somete a un procesamiento se convierte en un elemento cuyo potencial se amplifica para coagular una gran gama de contaminantes de aguas de ríos, en específico algunos metales pesados como lo son: cobre, cromo, plomo, sulfatos y nitratos. De igual manera, se reportan que las diferentes fuentes naturales utilizadas como coagulantes para la remediación de aguas se establece como una gran alternativa cuando se le compara con los coagulantes inorgánicos, ello debido a que estos últimos presentan toxicidad con el medio ambiente. Para llevar a cabo la eficacia en la actividad coagulante es necesario tener en cuenta algunos parámetros fisicoquímicos como son principalmente dosis del agente coagulante, concentración de contaminantes y pH.

Así mismo según López y Lacayo (2020) indica que la cáscara de plátano posee superficies irregulares y porosas, proteínas y polisacáridos dentro de su cubierta celular, algunos grupos funcionales N-H y O-H, grupos carboxilos, anillos aromáticos C = C y presencia de sílice que le brinda a la biomasa propiedades para su uso de manera fructífera como adsorbente en el tratamiento de aguas contaminadas. Por su parte, Ramos et al. (2016) señalan que la pectina es una sustancia de origen vegetal que puede ser hallada en las plantas, principalmente en sus frutos, que contiene principalmente unidades de ácido galacturónico, el cual se caracteriza por ser uno de los principales componentes de la pared celular de tejidos vegetales parenquimatosos.

2.2 Marco Conceptual

- ❖ **Remoción:** consiste en quitar, reducir o eliminar algo de su sitio; la remoción de metales en agua consiste en sacar de la fase acuosa la presencia de contaminantes con la ayuda o uso de adsorbentes.
- ❖ **Adsorción:** es la acumulación de moléculas de soluto en la superficie de un sólido, existen dos tipos: la adsorción física o fisisorción, donde la especie adsorbida mantiene su forma química original y en la que intervienen atracciones de tipo electrostático y fuerzas de van der Waals; mientras que en la adsorción de química o quimisorción, la especie adsorbida varía de forma química producto de su interacción con el sólido.
- ❖ **Bioadsorción:** proceso que permite captar activamente iones metálicos producto de varias biomasas muertas o vivas.
- ❖ **Cromo:** Elemento que forma parte del grupo de transición, cuyo número atómico es 24, posee color blanco plateado de naturaleza inoxidable y resistente a la corrosión, se usa en el cromado de objetos, creación de aleaciones y fabricación de herramientas.
- ❖ **Curtiembre:** Proceso de adobamiento o enderezamiento de pieles crudas, por aplicación de químicos u otros insumos orgánicos ablandadores.

2.3 Marco Legal

- *La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.* La Constitución Política del Perú de 1993 menciona que todo peruano tiene el derecho de poder desarrollarse en un ambiente óptimo que no obstaculice su crecimiento o pueda ser perjudicial para su persona de alguna u otra manera.
- Ley General de Salud N° 26842. Se reconoce que el Estado peruano posee deberes y responsabilidades de creación y seguimiento de la normativa legal ambiental que se

encuentre vigente en el momento; es decir, se deben crear medidas adaptables al contexto para proteger el medio ambiente y verificar el cumplimiento de estas por todas las partes involucradas.

- *La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611, en el artículo N°1.* Como se ha comentado previamente, esta ley hace hincapié en el hecho de que todo peruano debe vivir en un ambiente saludable y equilibrado, así como las responsabilidades que cada miembro de la sociedad tiene correspondiente a la gestión ambiental y medidas de protección ambiental. En esta misma ley también se introducen los parámetros y el nivel en el cual estos pueden estar presentes en el receptor.
- *Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos,* tiene con objetivo principal el establecer las funciones y cumplimientos que deben llevar a cabo tanto autoridades estatales como entidades privadas en relación a temáticas como la valorización del agua, la priorización del acceso al agua, la participación ciudadana en asuntos relacionados a la protección y calidad del agua, así como el fomentar una cultura del agua. Asimismo, se establece la creación del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos y el ANA como su ente rector.
- *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 - AG,* indica que, la preservación de la calidad del agua, la protección y mejora de los ecosistemas acuáticos y la implementación de medidas concretas para mitigar las fuentes de contaminación.
- *D.L N° 1083-2008-ANA.* Establece algunas de las funciones principales del ANA como las siguientes: el establecimiento de parámetros de eficiencia que comprueben que se aprovechen los recursos hídricos, el brindar certificados de eficiencia, así como de creatividad, innovación e implementación con respecto a esta temática.

➤ *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.* Establece lo mencionado anteriormente en relación a los parámetros, niveles máximos y mínimos de estos, y las categorías establecidas para los estándares de calidad ambiental para agua que son los expuestos a continuación:

- ✓ Categoría 1: Poblacional y Recreacional.
- ✓ Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.
- ✓ Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
- ✓ Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicativa, debido a que se van a considerar estudios desarrollados por otros autores para tomarlas como sustento y a partir de ellas generar nuevos conocimientos de acuerdo a los resultados que se obtengan de la presente investigación.

El diseño de investigación es experimental - transversal, así mismo aplicativo dado buscamos resolver el problema causado por la alta concentración del cromo sobre los efluentes de las curtiembres. Además, se interpretará datos numéricos en el transcurso del proceso experimental midiendo la eficiencia de bioadsorción del hidróxido de calcio y la cáscara del plátano y se complementará con el nivel correlacional ya que buscar conocer las reacciones de causa y efecto entre las variables dependientes e independientes a fin de remover la concentración de cromo en el efluente de curtiembre.

3.2 Ámbito temporal y espacial

3.2.1. *Ámbito temporal*

El estudio que fue desarrollado entre abril y agosto del 2024, basándose en una bibliografía actualizada comprendida desde el año 2018 al 2024. Por su parte, los ensayos a nivel experimental fueron llevados a cabo en los meses de junio y julio, mientras que la búsqueda de información se extendió de marzo hasta julio del 2024. Para la presentación final de la investigación el investigador a proyectado entregarlo al término del mes de agosto del 2024.

3.2.2. *Ámbito espacial*

La toma de muestra del efluente finales de la industria de curtiembre Peletera Peruana S.A ubicada en el distrito de ATE en Lima y los análisis se realizaron en el al laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

3.3. Variables

3.3.1 *Variable Independiente*

Optimización del hidróxido de calcio con bioadsorbente de plátano.

3.3.2 *Variable Dependiente*

Remoción de Cromo.

Tabla 2*Operacionalización de Variables de Investigación*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Variable independiente	La dosis óptima es un parámetro crítico que permite precipitar las impurezas presentes en el agua cruda, si éste se adiciona por debajo o encima de lo requerido ocasionara una elevada turbiedad en el agua tratada. (Noriega Gonzalez, 2021)	Para optimizar el tratamiento se evaluarán los factores que intervienen y permiten desarrollar este proceso, se tomaran en cuenta los parámetros fisicoquímicos, propiedades del contaminante, propiedades de la biomasa y condiciones del medio (Concentración, dosis, tiempo, velocidad de agitación, volumen y otros)	Floculante inorgánico Floculante orgánico	Dosis	mg/l
▪ Optimización del hidróxido de calcio con bioadsorbente de plátano				Tiempo	minutos
				Velocidad de agitación	RPM
				Eficiencia	%
Variable Dependientes	Existen tecnologías para la remoción de este elemento tóxico en aguas residuales, siendo métodos costosos y a veces ineficientes, estos son: Intercambio de iones, Coagulación química, Tratamiento electroquímico, Reducción y absorción a partir de absorbentes mixtos y Ósmosis inversa (Carrión, 2016).	Para evaluar la remoción de Cromo se tomará en cuenta su concentración inicial de trabajo considerado por el investigador, para luego ser sometido a un proceso de tratamiento con floculantes naturales y sintético para observar sus nuevos niveles alcanzados, tomaremos en cuenta los niveles de eficiencia obtenidos en cada caso.	Parámetro inorgánico: Cromo	Concentración	mg/l
▪ Remoción de cromo				Eficiencia	%

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población del trabajo de investigación está conformada por el efluente generado en la industria de Peletera Peruana S.A, del cual se tomará para las muestras lo correspondiente y almacenado en las pozas de sedimentación final.

3.4.2. Muestra

La muestra considerada corresponde al volumen total requerido para los dos tratamientos, los cuales corresponden aproximadamente a 105 litros de agua residual de curtiembre. En el primer tratamiento se pretende utilizar 45 litros, el cual incluye dos repeticiones por corrida, y el segundo tratamiento considera el uso de 60 litros aproximadamente, teniendo un total de 105 litros totales.

3.5. Instrumentos

3.5.1 Técnicas

- Prueba de Jarras o Jar Test.
- Manual de bioseguridad de laboratorios-UNFV.
- Métodos estandarizados para análisis de aguas naturales y residuales
- Protocolo de monitoreo.

3.5.2 Instrumentos

- Fichas de recolección de datos.
- Hojas de seguridad.
- Ficha de observación.
- Cadena de custodia.

3.5.3 *Validación y Confiabilidad del Instrumento*

Validación: Bernal (2006) menciona, que a un instrumento de medición se le categoriza como válido cuando mide aquello para lo cual está destinado; es decir, la herramienta logra medir dentro de parámetros objetivos de manera óptima. De igual manera, se puede considerar que la validez señala el grado con el cual se pueden llevar a cabo inferencias acerca de conclusiones de los resultados obtenidos mediante la aplicación de estos instrumentos. En ese sentido, la validez de estos últimos se lleva a cabo por medio de un juicio de expertos que tenga resultados favorables, en este caso se utilizó el cuadro correspondiente a la ficha pertinente (ver anexo N° 2 y 3), que fueron validadas por el experto.

Confiabilidad: La confiabilidad se presenta a través de las medidas sucesivas que se realizarán previamente a la toma de datos y las experiencias respectivas. Dichas pruebas previas se realizaron en un número de 3 veces previas a cada uno de los procesos, la confiabilidad final se realizó mediante las medidas estadísticas de tendencia central y de dispersión, en las cuales se determina que las medidas de tendencia central sean las mismas o aproximadamente cercanas; y las medidas estadísticas de dispersión sean mínimas. De igual manera, los instrumentos que son empleados en el laboratorio necesitan obtener una certificación de calidad y calibración establecidos por las autoridades competentes.

3.5.4 *Equipos y materiales*

Los materiales que se utilizaron en el trabajo de investigación son los siguientes:

- a) Material biológico y químico
 - Bioadsorbente (la cáscara del plátano)
 - Hidróxido de Calcio
- b) Material de campo
 - Recipientes de muestras

- Cámara

c) Material de laboratorio

- Fibra de vidrio
- Fiolas de 1 Litro y de 100 ml
- Luna de reloj
- Tubo con tapa de 10 ml
- Envase de 3 Litros
- Espátula
- Vaso precipitado
- Crisol
- Probeta
- Bomba de succión
- Matraces de Erlemayer
- Desecador
- Papel filtro
- Aparato de filtración
- Tamiz N° 80 ASTM
- Mortero

Los equipos utilizados en la etapa de laboratorio son los siguientes:

- Espectrofotómetro de absorción atómica, marca THERMO SCIENTIFIC
- Estufa, marca OVENS
- Balanza analítica, marca SARTORIUS
- Plancha de Calentamiento, marca THERMO SCIENTIFIC.
- Multiparámetro, marca HACH

- Floculador programable, marca PHIPPS & BIRDTM.

3.6 Procedimiento

El procedimiento considerado para el desarrollo de nuestra investigación tomó en cuenta los siguientes procesos: i) Caracterización del efluente, ii) Preparación del bioadsorbente de plátano y muestras, iii) Ensayo de Jar Test, iv) Determinación de Cromo Total y; v) Análisis final.

3.6.1. *Caracterización del Efluente*

- ✓ La investigación se inició con la toma de muestras del efluente de las pozas finales de la industria de curtiembre, que se realizó entre los meses de junio y julio del 2024.
- ✓ La muestra fue obtenida de la última poza de sedimentación, para su transporte fue acondicionada en galoneras plásticas y se trasladó conservándolo con hielo en gel (Ice Pack) siguiendo la Norma Técnica Peruana NTP 214.060.2016 “AGUAS RESIDUALES: Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado”.
- ✓ Seguidamente, en un envase plástico se recolectó la muestra para poder así llevar a cabo la medición de los parámetros de campo. Cabe resaltar que la temperatura de la muestra de agua residual, fue la primera variable en ser sometida a la medición seguida de la medición del pH con un multiparámetro marca HANNA, previamente calibrado con los Buffer de 4, 7 y 10.
- ✓ A continuación, se efectuó la medición de la conductividad eléctrica, que fue calibrado con soluciones de KCl (Cloruro de Potasio) a 0.1 y 0.01 N.
- ✓ Al culminar las mediciones en campo se llenaron los depósitos de muestras de agua residual con 45 litros para el T1 con el biosorbente de plátano y 60 litros para el T2 con Hidróxido de Calcio.

3.6.2. Preparación del Bioadsorbente de plátano e Hidróxido de calcio

- ✓ En el laboratorio, la primera actividad fue preparar el bioadsorbente a partir de la cáscara de plátano y luego las soluciones de Hidróxido de Calcio.
- ✓ El proceso comenzó con el lavado de la cáscara de plátano, primero con agua potable y posteriormente se replicó el lavado con agua destilada y soda diluida.
- ✓ Seguidamente se llevó a cabo un secado por un intervalo de 24 horas a 75°C.
- ✓ Una vez transcurrido el tiempo de secado la cáscara fue llevada a un triturador hasta lograr obtener gránulos pequeños y uniformes que puedan ser tamizados en un tamiz N° 80.
- ✓ Se pesaron las cantidades de bioadsorbente en proporciones de 5, 10, 15, 20 y 25 g.
- ✓ En cuanto a la preparación de la solución de Hidróxido de Calcio estos fueron de acuerdo a las concentraciones de 5.0, 10.0, 15.0 y 20.0 %, los cuales fueron añadidos en dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml en cada una de las 5 jarras de prueba.

3.6.3. Ensayos de Jar Test

- ✓ Con el propósito de realizar el tratamiento fisicoquímico, se efectuaron ensayos de jarras (Jar Test), para lo cual se acondicionó 5 jarras de muestras con los efluentes de las pozas finales y un volumen fijo de 1000 ml cada uno, a 250 rpm, temperatura ambiental y pH inicial y final.
- ✓ Se adicionó diferentes cantidades de floculante natural (0.5g, 1g, 1.5 g, 2g y 2.5g), variando el tiempo de contacto y/o agitación de 30, 60 y 120 minutos.
- ✓ A continuación, se tomaron 50 ml de cada jarra tratada con sus respectivas repeticiones (2), y se procedió a medir el pH final, y su concentración de Cromo Total utilizando los equipos indicados para tal caso (Potenciómetro y Espectrofotómetro).
- ✓ Posteriormente el efluente del primer tratamiento (bioadsorbente) considerado el

óptimo y trabajado inicialmente en la prueba de Jar Test, se le agregó el floculante sintético de Hidróxido de Calcio (5, 10, 15 y 20%) con dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, procediéndose a correr este segundo tratamiento a 250 rpm, temperatura constante ambiental y durante un tiempo de 30 minutos.

- ✓ Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos se procedió a determinar las dosis óptimas para cada caso en particular y con ello conocer las eficiencias finales.
- ✓ Al culminar el procedimiento anterior se tomaron alícuotas de 200 ml de muestra sobrenadante de las cinco jarras. Estas muestras fueron filtradas y transferidas en envases plásticos de 100 ml, debidamente identificados con su codificación respectiva para su posterior análisis y cuantificación final de Cromo.

3.6.4. *Determinación del Cromo total*

- ✓ Luego de obtener la muestra sobrenadante en los envases de 100 ml se determinó la concentración de Cromo, la cual fue analizada y cuantificada en el espectrofotómetro de absorción atómica.
- ✓ Se tomó una muestra de 100 ml de volumen y se procedió a digerirlo con ácido nítrico concentrado al 5%.
- ✓ Seguidamente, se prepararon los estándares de Cromo a concentraciones de 0.0, 2.5, 5.0 y 10 mg/l, en volúmenes de 100 ml.
- ✓ Posteriormente, se determinó la curva de calibración con los estándares preparados y determinó las concentraciones finales de cada muestra.
- ✓ Finalmente, terminado el procedimiento anterior se efectuaron las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.6.5. *Análisis Final*

Al concluir la determinación de Cromo mediante el método colorimétrico en el espectrofotómetro UV-Visible, se procedió a evaluar los resultados finales obtenidos luego del tratamiento en el Jar Test. Se determinaron las dosis óptimas de floculante para cada ensayo en función a las concentraciones iniciales y finales.

Finalmente, se procedió a evaluar las eficiencias de remoción en función a la dosis del bioadsorbente aplicada en cada una de las muestras, y con ello por último se elaboraron los cuadros y graficas respectivas con la finalidad de observar el comportamiento de cada dosis óptima utilizada. Cabe resaltar que, de acuerdo a los resultados finales se obtuvieron las conclusiones definitivas del presente trabajo de investigación.

3.7 Análisis de datos

Para el análisis de datos cuantitativos, se consideraron los niveles de medición de las variables y se aplicaron pruebas estadísticas para caracterizar las variables dependientes e independientes. Se utilizó el software Microsoft Excel 2010 para realizar un análisis descriptivo de los datos de cada una de las variables, presentando graficas lineales, todo esto con el objetivo de identificar las dosis óptimas de floculante y determinar la eficiencia de bioadsorción de Cromo por el floculante natural y sintético.

3.8 Consideraciones éticas

El autor del presente estudio, desde el plan de tesis hasta desarrollo de la investigación tiene muy claro la importancia de la ética, respetando la propiedad intelectual de aquellos autores que se hagan mención en el estudio citándolos y referenciándolos como debe ser presentando así mismo datos auténticos y confiables. Para la toma de muestra en la empresa PELETERA PERUANA S.A se realizaron las coordinaciones respectivas con sus

representantes a fin de solicitar los permisos que consideren pertinentes para el caso de la investigación, dejando en claro que se respetará su propiedad privada. Para el desarrollo de los análisis se solicitaron los permisos respectivos al Departamento Académico de la FIGAE, a fin de que se facilite el uso del laboratorio de Geografía y Medio Ambiente, respetando a su vez los protocolos estipulados para tal caso.

IV. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la presente investigación, los cuales fueron obtenidos en base a los objetivos formulados inicialmente, en tal sentido se realizó una caracterización de la muestra en estudio (efluente de curtiembre), luego se determinó la dosis óptima en base la prueba de jarras y finalmente se determinó la eficiencia del tratamiento aplicado.

4.1 Caracterización del efluente de curtiembre

La caracterización del efluente de curtiembre consideró los siguientes parámetros físicoquímicos, los cuales se detallan en la Tabla 2:

Tabla 3

Caracterización del efluente de Curtiembre

MUESTRA	T (°C)	pH	SST (mg/l)	CE (mS/cm)	TDS (g/l)	Salinidad (%)	DQO (mg/l)	Cromo Total (mg/l)
M-1	18.8	9.31	420.4	6.19	3.1	12.1	1854.5	15.1
LMP*	35	6-9	30	–	–	–	50	0.5

Nota. Los Límites Máximos Permisibles (*) fueron tomados del DS N° 010-2023-MINAM.

De los resultados se pueden apreciar que los parámetros de pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Cromo Total exceden los LMP, mientras que la temperatura se encuentra dentro de los LMP. Es preciso indicar que los parámetros de Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Totales Disueltos (TDS) y Salinidad no cuentan con LMP.

4.2 Determinación de la dosis óptima en el Tratamiento

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el tratamiento del efluente de curtiembre para remover las concentraciones de Cromo presentes en el agua residual. En primer lugar, se determinó la dosis óptima con el bioadsorbente de plátano y en una segunda etapa se determinó la dosis óptima con el hidróxido de Calcio.

4.2.1 Resultados de la dosis óptima con bioadsorbente de plátano

En las Tablas 4, 5 y 6, se muestran los resultados de las dosis del bioadsorbente y las concentraciones residuales de Cromo después del tratamiento aplicado, considerando 30, 60 y 120 minutos de agitación.

Tabla 4

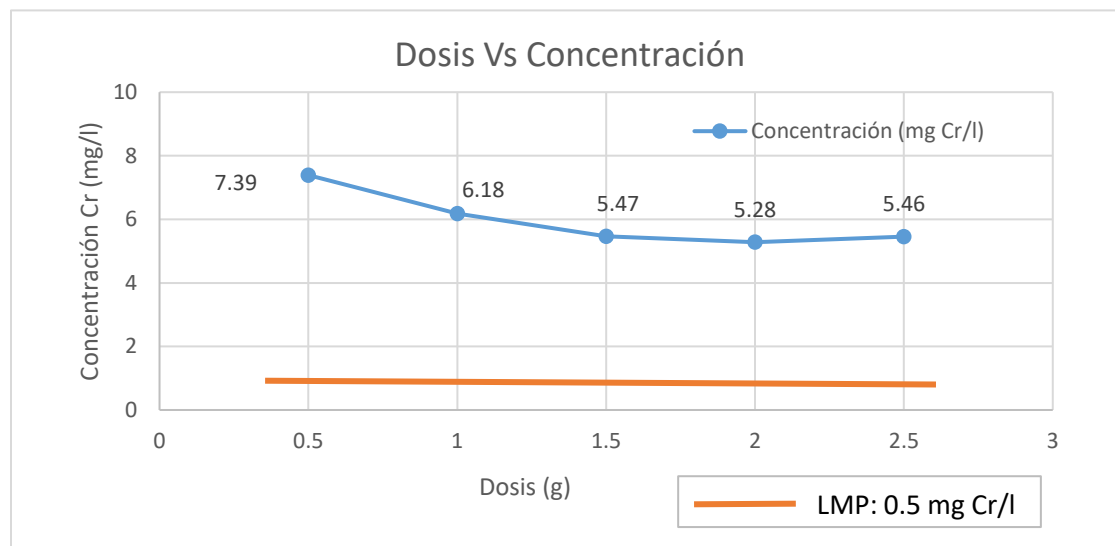
Resultados de Cr Total con 30 minutos de agitación con bioadsorbente

MUESTRA		Dosis de bioadsorbente				
Dosis (g)	0.5 g	1.0 g	1.5 g	2.0 g	2.5 g	
pH	9.41	9.36	9.28	9.15	9.21	
[] inicial (Cr Total)		15.1 mg/l				
REPETICIONES		Concentración de Cr Total (mg/l)				
1	7.35	6.37	5.45	5.21	5.45	
2	7.61	5.92	5.28	5.36	5.58	
3	7.21	6.25	5.67	5.28	5.35	
[] Final Promedio (Cr Total)		7.39	6.18	5.47	5.28	5.46

De acuerdo a un tiempo de 30 minutos y dosis aplicadas de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g de bioadsorbente, se aprecia que las concentraciones residuales de Cromo Total redujeron sus niveles de 15.1 mg/l hasta 7.39, 6.18, 5.47, 5.28 y 5.46 mg/l respectivamente.

Figura 4

Comportamiento del Cr Total con 30 minutos de agitación



En la figura 4, se aprecia que el comportamiento del Cromo se va reduciendo a medida que las dosis del bioadsorbente aumenta su cantidad. Se aprecia una reducción desde un valor de 7.39 mg/l con la dosis de 0.5 g hasta el valor más bajo de 5.28 mg/l con la dosis de 2.0 g. Sin embargo, en ninguno de los casos se logra alcanzar los LMP.

Tabla 5

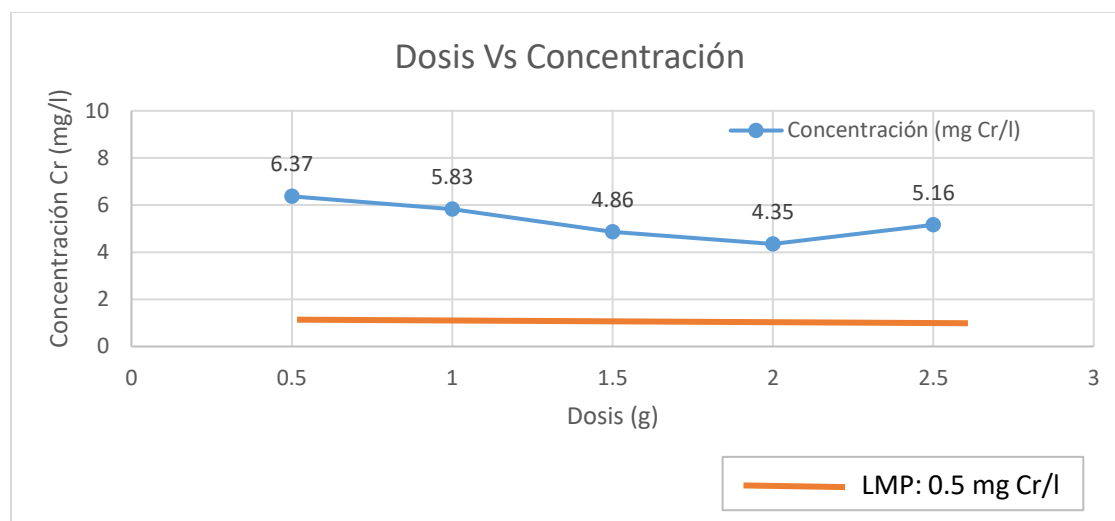
Resultados de Cr Total con 60 minutos de agitación con bioadsorbente

MUESTRA		Dosis de bioadsorbente				
Dosis (ml)		0.5 g	1.0 g	1.5 g	2.0 g	2.5 g
pH		9.22	9.48	9.36	9.25	9.15
[] inicial (Cr Total)		15.1 mg/l				
REPETICIONES		Concentración de Cr Total (mg/l)				
1		6.38	5.87	4.75	4.51	5.15
2		6.61	5.94	4.88	4.22	5.08
3		6.11	5.67	4.95	4.31	5.25
[] Final Promedio (Cr Total)		6.37	5.83	4.86	4.35	5.16

De acuerdo a las dosis aplicadas para un tiempo de 60 minutos con 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g, de bioadsorbente, se aprecia que las concentraciones residuales de Cromo redujeron sus niveles de manera regular desde una concentración inicial de 15.1 mg/l hasta alcanzar como promedio final en base a tres repeticiones valores de 6.37, 5.83, 4.86, 4.35 y 5.16 mg/l respectivamente.

Figura 5

Comportamiento del Cr Total con 60 minutos de agitación



En la figura 5, se aprecia que el comportamiento del Cromo Total se va reduciendo a medida que las dosis del bioadsorbente (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g) también aumenta su masa. Así tenemos que la concentración inicial de 15.1 mg Cr/l reduce su valor a 6.37 mg Cr/l con la dosis de 0.5 g, y así sucesivamente las concentraciones de Cromo Total se van reduciendo hasta alcanzar su nivel más bajo 4.35 mg Cr/l con la dosis de 2.0 g. Sin embargo, en ninguno de los casos se logra alcanzar los LMP.

Tabla 6

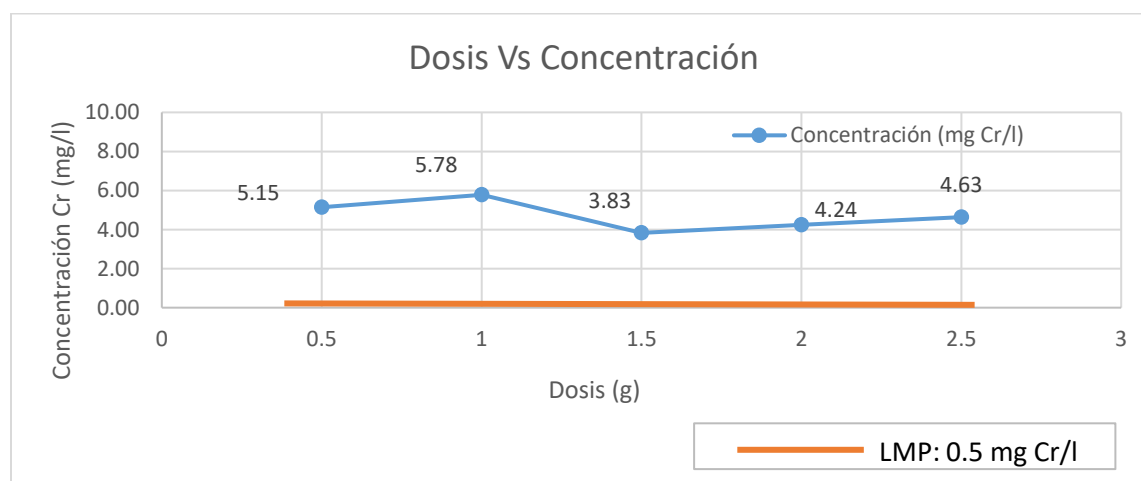
Resultados de Cr Total con 120 minutos de agitación con bioadsorbente

MUESTRA	Dosis de bioadsorbente				
Dosis (ml)	0.5 g	1.0 g	1.5 g	2.0 g	2.5 g
pH	9.31	9.37	9.21	9.18	9.26
[] inicial (Cr Total)	15.1 mg/l				
REPETICIONES	Concentración de Cr Total (mg/l)				
1	5.18	5.97	3.85	4.21	4.65
2	5.26	5.72	3.68	4.32	4.78
3	5.01	5.65	3.97	4.18	4.45
[] Final Promedio (Cr Total)	5.15	5.78	3.83	4.24	4.63

De acuerdo a las dosis aplicadas para un tiempo de 120 minutos con 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g, de bioadsorbente, se aprecia que las concentraciones residuales de Cromo se redujeron de forma no muy significativa, desde una concentración inicial de 15.1 mg/l hasta valores de 5.15, 5.78, 3.83, 4.24, 4.63 mg/l, valores tomados como promedios en base a tres repeticiones.

Figura 6

Comportamiento del Cr Total con 120 minutos de agitación



En la figura 6, se aprecia que el comportamiento del Cromo Total se va reduciendo a medida que las dosis del bioadsorbente (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g) aumenta su cantidad. Así tenemos que la concentración inicial de 15.1 mg Cr/l reduce su valor a 5.15 mg Cr/l con la dosis de 0.5 g, y así sucesivamente las concentraciones de Cromo Total se van reduciendo hasta alcanzar su nivel más bajo 3.83 mg Cr/l con la dosis de 1.5 g. Sin embargo, en ninguno de los casos se logra alcanzar los LMP.

4.2.2 Resultados de la dosis óptima con Hidróxido de Calcio

En las Tablas 7, 8, 9 y 10, se muestran los resultados promedio de Cromo en base a tres repeticiones, las cuales fueron trabajadas con concentraciones de Hidróxido de Calcio al 5, 10, 15 y 20 % y dosis de 10, 20, 30 40 y 50 ml y un tiempo estándar de 30 minutos de agitación. Este segundo tratamiento se ha desarrollado con concentraciones iniciales de Cromo de 5.15, 5.78, 3.83, 4.24 y 4.63 mg Cr/l, valores finales que resultaron ser los más bajos con el primer tratamiento en base al biosorbente utilizado en un tiempo de 120 minutos.

Tabla 7

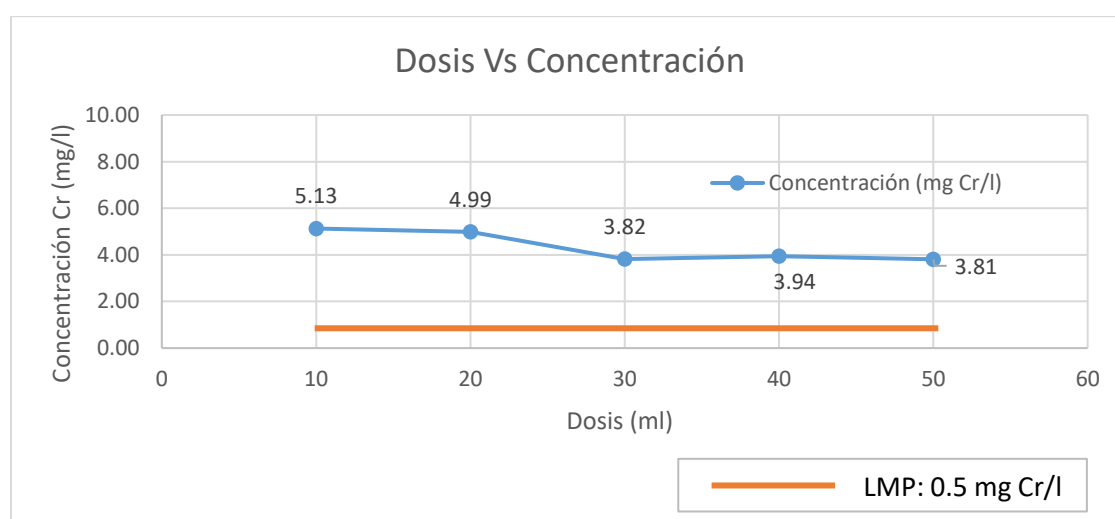
Resultados de Cr Total al 5% de Hidróxido de Calcio

MUESTRA	Ca(OH)₂: 5%				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	9.52	9.68	9.75	9.87	9.98
[] inicial (Cr)	5.15	5.78	3.83	4.24	4.63
REPETICIONES	Concentración de Cr (mg/l)				
1	5.14	5.08	3.83	3.89	4.01
2	5.19	4.88	3.76	4.02	3.86
3	5.05	5.02	3.87	3.91	3.56
[] Final Promedio (Cr)	5.13	4.99	3.82	3.94	3.81

De acuerdo a las dosis aplicadas de Hidróxido de Calcio al 5%, para un tiempo estándar de 30 minutos con dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, se aprecia que las concentraciones residuales de Cromo se redujeron de forma no muy significativa, desde una concentración inicial de 5.15, 5.78, 3.83, 4.24 y 4.63 mg Cr/l hasta valores finales de 5.13, 4.99, 3.82, 3.94 y 3.81 mg/l, valores tomados como promedios en base a tres repeticiones.

Figura 7

Comportamiento del Cr Total al 5% de Hidróxido de Calcio

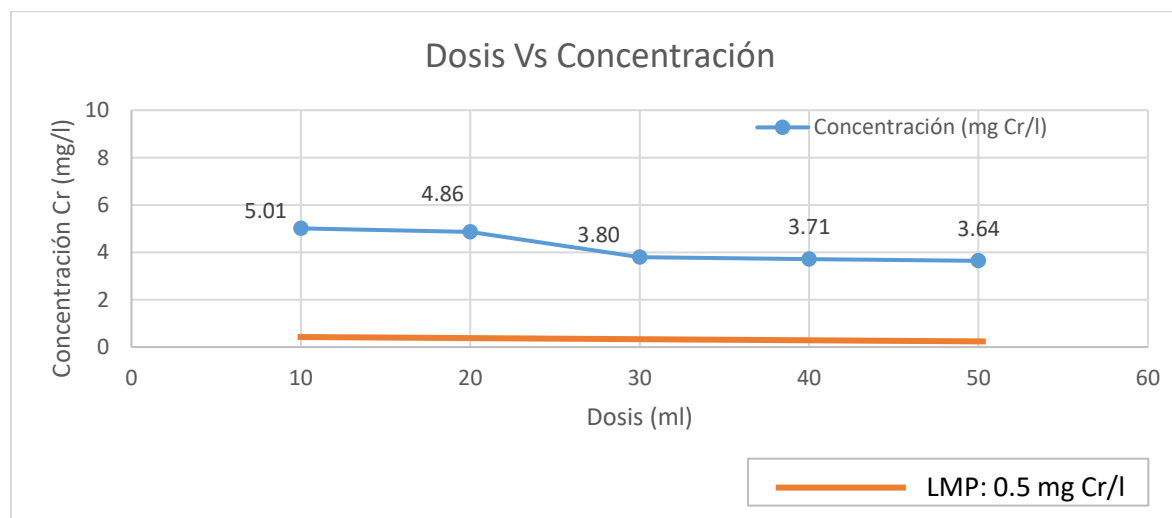


En la figura 7, se aprecia que el comportamiento del Cromo Total se va reduciendo a medida que las dosis de Hidróxido de Calcio (10, 20, 30, 40 y 50 ml) aumenta su cantidad. Así tenemos que las concentraciones iniciales 5.15, 5.78, 3.83, 4.24 y 4.63 mg Cr/l reducen su valor hasta llegar al nivel más bajo de 3.81 mg Cr/l con la dosis de 50 ml. Sin embargo, en ninguno de los casos se logra alcanzar el Límite Máximo Permissible.

Tabla 8*Resultados de Cr Total al 10% de Hidróxido de Calcio*

MUESTRA	Ca(OH) ₂ : 10.0%				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	9.66	9.78	9.87	9.96	10.18
[] inicial (Cr)	5.15	5.78	3.83	4.24	4.63
REPETICIONES	Concentración de Cr (mg/l)				
1	5.03	4.93	3.71	3.78	3.72
2	5.07	4.89	3.89	3.65	3.67
3	4.93	4.77	3.81	3.71	3.52
[] Final Promedio (Cr)	5.01	4.86	3.80	3.71	3.64

De acuerdo a las dosis aplicadas de Hidróxido de Calcio al 10 %, para un tiempo estándar de 30 minutos con dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, se aprecia que las concentraciones residuales de Cromo se redujeron de forma no muy significativa, desde una concentración inicial de 5.15, 5.78, 3.83, 4.24 y 4.63 mg Cr/l hasta valores finales de 5.01, 4.86, 3.80, 3.71 y 3.64 mg/l, valores tomados como promedios en base a tres repeticiones.

Figura 8*Comportamiento del Cr Total al 10% de Hidróxido de Calcio*

En la figura 8, se aprecia que el comportamiento del Cromo Total se va reduciendo a medida que las dosis de Hidróxido de Calcio (10, 20, 30, 40 y 50 ml) aumenta su cantidad. Así tenemos que las concentraciones iniciales 5.15, 5.78, 3.83, 4.24 y 4.63 mg Cr/l reducen su valor hasta llegar al nivel más bajo de 3.64 mg Cr/l con la dosis de 50 ml. Sin embargo, en ninguno de los casos se logra alcanzar el Límite Máximo Permisible.

Tabla 9

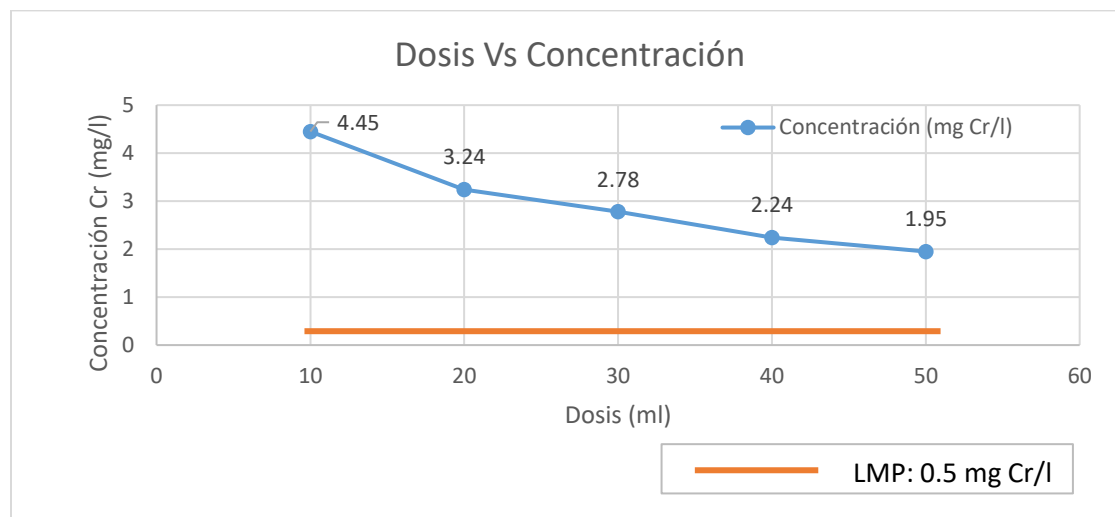
Resultados de Cr Total al 15% de Hidróxido de Calcio

MUESTRA	Ca(OH)₂: 15.0 %				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	9.78	9.89	9.95	10.25	10.34
[] inicial (Cr)	5.15	5.78	3.83	4.24	4.63
REPETICIONES	Concentración de Cr (mg/l)				
1	4.55	3.34	2.86	2.21	1.96
2	4.38	3.22	2.78	2.15	2.05
3	4.41	3.15	2.69	2.37	1.84
[] Final Promedio (Cr)	4.45	3.24	2.78	2.24	1.95

De acuerdo a las dosis aplicadas de hidróxido de Calcio al 15 %, para un tiempo estándar de 30 minutos con dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, se aprecia que las concentraciones residuales de Cromo se redujeron de forma no muy significativa, desde una concentración inicial de 5.15, 5.78, 3.83, 4.24 y 4.63 mg Cr/l hasta valores finales de 4.45, 3.24, 2.78, 2.24 y 1.95 mg/l, valores tomados como promedios en base a tres repeticiones.

Figura 9

Comportamiento del Cr Total al 15% de Hidróxido de Calcio



En la figura 9, se aprecia que el Cromo se va reduciendo a medida que las dosis de Hidróxido de Calcio (10, 20, 30, 40 y 50 ml) aumenta su cantidad. Las concentraciones iniciales de 5.15, 5.78, 3.83, 4.24 y 4.63 mg Cr/l reducen su valor hasta llegar al nivel más bajo de 1.95 mg Cr/l con la dosis de 50 ml. En ninguno de los casos se alcanza el Límite Máximo Permisible.

Tabla 10

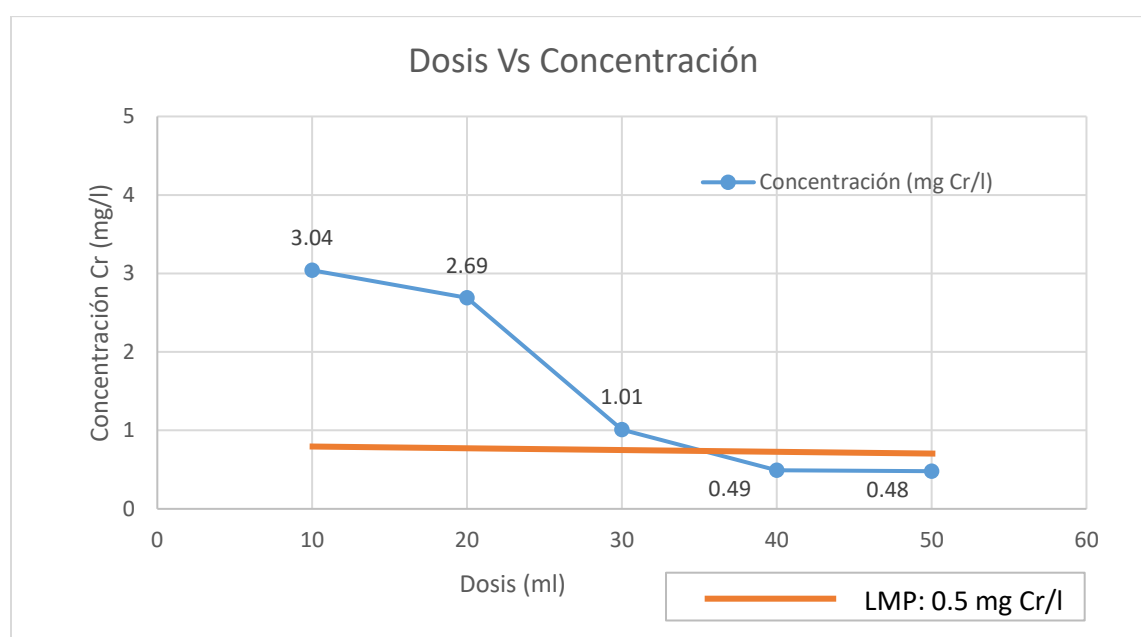
Resultados de Cr Total al 20% de Hidróxido de Calcio

MUESTRA	Ca(OH) ₂ : 20.0 %				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	9.89	9.97	10.25	10.38	10.42
[] inicial (Cr)	5.15	5.78	3.83	4.24	4.63
REPETICIONES	Concentración de Cr (mg/l)				
1	3.23	2.61	1.27	0.42	0.51
2	3.01	2.45	0.99	0.56	0.45
3	2.87	3.01	0.77	0.49	0.48
[] Final Promedio (Cr)	3.04	2.69	1.01	0.49	0.48

De acuerdo a las dosis aplicadas de Hidróxido de Calcio al 20 %, para un tiempo estándar de 30 minutos con dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, se aprecia que las concentraciones residuales de Cromo se redujeron de forma significativa, desde una concentración inicial de 5.15, 5.78, 3.83, 4.24 y 4.63 mg Cr/l hasta valores finales de 3.04, 2.69, 1.01, 0.49 y 0.48 mg Cr/l, valores tomados como promedios en base a tres repeticiones.

Figura 10

Comportamiento del Cr Total al 20% de Hidróxido de Calcio



En la figura 10, se aprecia que el comportamiento del Cromo Total se va reduciendo a medida que las dosis de Hidróxido de Calcio (10, 20, 30, 40 y 50 ml) aumenta su cantidad. Así tenemos que las concentraciones iniciales 5.15, 5.78, 3.83, 4.24 y 4.63 mg Cr/l reducen su valor hasta llegar a los niveles más bajos de 3.64 mg Cr/l con las dosis de 40 y 50 ml, alcanzando éstos dos últimos valores el Límite Máximo Permisible.

4.3 Determinación de las eficiencias del tratamiento

Las eficiencias fueron determinadas con relación a los dos tratamientos aplicados, el primero de ellos con el bioadsorbente de plátano y el segundo con el Hidróxido de Calcio, esto con la finalidad de optimizar el compuesto inorgánico.

4.3.1 Determinación de las eficiencias con bioadsorbente de plátano

En las Tablas 11, 12 y 13, se muestran los resultados de cada una de las eficiencias alcanzadas para los tiempos de 30, 60 y 120 minutos, los cuales partieron de una concentración inicial de 15.1 mg Cr/l y dosis de bioadsorbente de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g para los tres tiempos.

Tabla 11

Resultados de las eficiencias de Cr Total con 30 minutos de agitación

MUESTRA	Dosis de bioadsorbente				
Dosis (g)	0.5 g	1.0 g	1.5 g	2.0 g	2.5 g
[] inicial Cr (mg/l)	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1
[] Final Promedio Cr (mg/l)	7.39	6.18	5.47	5.28	5.46
% Eficiencia	51.1	59.1	63.8	65.0	63.8

De acuerdo a los resultados de la Tabla 11, se puede apreciar que las eficiencias alcanzadas con el biosorbente para un tiempo de 30 minutos alcanzaron valores superiores al 50%. Así tenemos, por ejemplo, para las dosis de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g se obtuvo eficiencias del 51.1, 59.1, 63.8, 65.0 y 63.8 % respectivamente, siendo la dosis de 2.0 g quien obtuvo el mayor valor alcanzado con 65%.

Tabla 12

Resultados de las eficiencias de Cr Total con 60 minutos de agitación

MUESTRA	Dosis de bioadsorbente				
Dosis (g)	0.5 g	1.0 g	1.5 g	2.0 g	2.5 g
[] inicial Cr (mg/l)	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1
[] Final Promedio Cr (mg/l)	6.37	5.83	4.86	4.35	5.16
% Eficiencia	57.8	61.4	67.8	71.2	65.8

De acuerdo a los resultados de la Tabla 12, se puede apreciar que las eficiencias alcanzadas con el biosorbente para un tiempo de 60 minutos alcanzaron valores superiores al 55%. Así tenemos, por ejemplo, para las dosis de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g se obtuvo eficiencias del 57.8, 61.4, 67.8, 71.2 y 65.8 % respectivamente, siendo la dosis de 2.0 g quien obtuvo el mayor valor alcanzado con 71.2 %.

Tabla 13

Resultados de las eficiencias de Cr Total con 120 minutos de agitación

MUESTRA	Dosis de bioadsorbente				
Dosis (ml)	0.5 g	1.0 g	1.5 g	2.0 g	2.5 g
[] inicial Cr (mg/l)	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1
[] Final Promedio Cr (mg/l)	5.15	5.78	3.83	4.24	4.63
% Eficiencia	65.9	61.7	74.6	71.9	69.4

De acuerdo a los resultados de la Tabla 13, se puede apreciar que las eficiencias alcanzadas con el biosorbente para un tiempo de 120 minutos alcanzaron valores superiores al 60 %. Así tenemos, por ejemplo, para las dosis de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g se obtuvo eficiencias del 65.9, 61.7, 74.6, 71.9 y 69.4 % respectivamente, siendo la dosis de 1.5 g quien obtuvo el mayor valor alcanzado con 74.6 %.

4.3.2 Determinación de las eficiencias con Hidróxido de Calcio

En las Tablas 14, 15, 16 y 17, se muestran los resultados de cada una de las eficiencias alcanzadas para concentraciones de 5, 10, 15 y 20 % de hidróxido de Calcio, los cuales para el tratamiento iniciaron con concentraciones de 5.15, 5.78, 3.83, 4.24 y 4.63 mg Cr/l, y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml respectivamente. Es importante mencionar que las concentraciones iniciales de Cromo Total que fueron trabajadas en el segundo tratamiento corresponden a los resultados óptimos obtenidos en el primer tratamiento con el bioadsorbente.

Tabla 14

Resultados de las eficiencias de Cr Total al 5% de Hidróxido de Calcio

MUESTRA	Ca(OH)₂: 5%				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
[] inicial Cr (mg/l)	5.15	5.78	3.83	4.24	4.63
[] Final Promedio Cr (mg/l)	5.13	4.99	3.82	3.94	3.81
% Eficiencia	0.5	13.6	0.3	7.0	17.7

De acuerdo a los resultados de la Tabla 14, se puede apreciar que las eficiencias alcanzadas con el biosorbente para una concentración de Hidróxido de Calcio al 5%, alcanzaron valores bastante bajos inferiores al 18 %. Así tenemos, por ejemplo, para las dosis de 10, 20, 30, 40 y 50

ml, se obtuvo eficiencias del 0.5, 13.6, 0.3, 7.0 y 17.7 % respectivamente, siendo la dosis de 2.5 g quien obtuvo el mayor valor alcanzado con 17.7 %.

Tabla 15

Resultados de las eficiencias de Cr Total al 10% de Hidróxido de Calcio

MUESTRA	Ca(OH)₂: 10.0%				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
[] inicial (mg/l)	5.15	5.78	3.83	4.24	4.63
[] Final Promedio (mg/l)	5.01	4.86	3.80	3.71	3.64
% Eficiencia	2.7	15.9	0.9	12.4	21.4

De acuerdo a los resultados de la Tabla 15, se puede apreciar que las eficiencias alcanzadas con el biosorbente para una concentración de Hidróxido de Calcio al 10%, alcanzaron valores bastante bajos inferiores al 22 %. Así tenemos, por ejemplo, para las dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, se obtuvo eficiencias del 2.7, 15.9, 0.9, 12.4 y 21.4 % respectivamente, siendo la dosis de 2.5 g quien obtuvo el mayor valor alcanzado con 21.4 %.

Tabla 16

Resultados de las eficiencias de Cr Total al 15% de Hidróxido de Calcio

MUESTRA	Ca(OH)₂: 15.0%				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
[] inicial (mg/l)	5.15	5.78	3.83	4.24	4.63
[] Final Promedio Cr (mg/l)	4.45	3.24	2.78	2.24	1.95
% Eficiencia	13.7	44.0	27.6	47.0	57.9

De acuerdo a los resultados de la Tabla 16, se puede apreciar que las eficiencias alcanzadas con el bioadsorbente para una concentración de Hidróxido de Calcio al 15%, alcanzaron valores superiores al 13 %. Así tenemos, por ejemplo, para las dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, se obtuvo eficiencias del 13.7, 44.0, 27.6, 47.0 y 57.9 % respectivamente, siendo la dosis de 2.5 g quien obtuvo el mayor valor alcanzado con 57.9 %.

Tabla 17

Resultados de las eficiencias de Cr Total al 20% de hidróxido de Calcio

MUESTRA	Ca(OH)₂: 20.0 %				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
[] inicial (mg/l)	5.15	5.78	3.83	4.24	4.63
[] Final Promedio Cr (mg/l)	3.04	2.69	1.01	0.49	0.48
% Eficiencia	41.0	53.5	73.7	88.4	89.6

De acuerdo a los resultados de la Tabla 17, se puede apreciar que las eficiencias alcanzadas con el bioadsorbente para una concentración de Hidróxido de Calcio al 20 %, alcanzaron valores superiores al 40 %. Así tenemos, por ejemplo, para las dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, se obtuvo eficiencias del 41.0, 53.5, 73.7, 88.4 y 89.6 % respectivamente, siendo la dosis de 2.5 g quien obtuvo el mayor valor alcanzado con 89.6 %.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Vicuña (2023) en su investigación decidió llevar a cabo una evaluación sobre la eficiencia de la cáscara de papa y la borra de café como elementos floculantes para así poder erradicar el cromo (III) del agua residual derivada de una industria de curtiembre. Es así que, para la metodología el autor optó por emplear una de tipología aplicada, con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental, es importante señalar que el nivel de la investigación fue correlacional. Para el procedimiento se decidió emplear una muestra de 20 litros de agua residual para ser sometidas a tratamiento por medio del método de jarras con un volumen constante de 0.5 litros y velocidad de agitación de 100 RPM (cáscara de papa) y 250 RPM (borra de café), en tiempos de 15, 30 y 60 minutos respectivamente, y un tiempo de sedimentación de 30 minutos. Ahora algunos de los hallazgos principales fueron los siguientes: las concentraciones iniciales de cromo de 56.54 (Tratamiento 1), 5.41 (Tratamiento 2) y 17.09 mg/l (Tratamiento 3), no se logró obtener una dosis óptima de tratamiento para el T1 que permitieran establecerlo dentro del LMP, pero sí se logró una remoción de 41.95% con la cáscara de papa, y, se lograron obtener dosis óptimas para los T2 y T3 con ambos floculantes que permitieron la remoción de hasta el 100% del cromo. Con relación a nuestra investigación para remover Cromo del efluente de curtiembre se utilizó bioadsorbente de plátano mediante el ensayo de Jar Test a 250 RPM, volumen de 1 litro de muestra y tiempos de agitación/contacto de 30, 60 y 120 minutos, obteniéndose una remoción óptima con el tiempo de 120 minutos y 1.5 g de dosis del bioadsorbente, reduciendo su concentración de 15.1 mg Cr/l a 3.83 mg Cr/l el cual alcanzó una eficiencia del 74.6%, sin embargo dicha remoción final no llegó a estar por debajo del Límite Máximo Permisible normado en 0.5 mg Cr/l. Sin embargo, en el

segundo tratamiento complementario realizado con Hidróxido de Calcio al 20% se alcanzó una remoción del 73.7%, alcanzando una concentración final de 1.01 mg Cr/l.

En su artículo científico Ameha et al. (2024), plantearon como objetivo utilizar la cáscara de plátano como adsorbente para eliminar iones Cr (VI) de aguas residuales. La cáscara de plátano (BP) se activó en un horno durante 2 h a 450 °C y 50% de humedad. Según los resultados de la caracterización, la cáscara de plátano presentó una superficie porosa y una superficie alta de 200 m²/g, así mismo se evaluó la eficiencia de eliminación de Cr (VI) en términos de pH, tiempo de contacto, concentración inicial y dosis de adsorbente. Obteniendo como resultado que las condiciones operativas óptimas para eliminar el 94% del Cr (VI) fue con un tiempo de adsorción de 92 min, con una dosis de adsorbente de 1,5 g/L, un pH de 3 y una concentración inicial de Cr (VI) de 38 mg/L. Concluyendo que la cáscara de plátano activada podía reutilizarse seis veces antes de que su eficiencia de eliminación se redujera a menos del 70%. Para el caso de nuestra investigación se trabajó con bioadsorbente de plátano secado a una temperatura de 75 °C por 24 horas, molido y tamizado con numero de malla-Nº 80. El tiempo de contacto óptimo en la remoción de Cromo fue de 120 minutos y pH 9.21, el cual permitió reducir de una concentración de 15.1 a 3.83 mg Cr/l, con la dosis de 1.5 g, alcanzando una eficiencia de 74.6 %.

Dagnew y Bantie (2023) plantearon en su investigación optimizar la eliminación de Cr (VI) de una solución acuosa utilizando adsorbente de cáscara de naranja activado para el tratamiento de aguas residuales de curtiduría mediante el análisis de los efectos de la dosis de adsorbente, el pH y el tiempo de contacto. Dentro de la metodología los adsorbentes de naranja crudos y activados se caracterizaron mediante espectroscopia FT-IR, microscopio electrónico de barrido (SEM) y Brunauer-Emmett-Teller (BET), los experimentos de adsorción discontinua se llevaron a cabo a

temperatura ambiente y la concentración residual de Cr (VI) se analizó mediante un espectrómetro UV-VIS, así mismo se llevó a cabo la desorción del biosorbente para regenerar el bioadsorbente y recuperar el metal. De los resultados obtuvieron que la eliminación máxima fue de 94,74% a un pH de 2, a una dosis de 2,5 g/L y un tiempo de contacto de 90 minutos. Los resultados de FTIR confirman que los grupos funcionales hidroxilo, que tienen una alta afinidad por los metales pesados, son responsables de la eliminación del Cr (VI). Los grupos metoxi, que se desmetilan para generar nuevos grupos hidroxilo después de la carbonización que confirma la oxidación, también desempeñan un papel importante en el proceso de adsorción. Los resultados de SEM indican que el adsorbente de cáscara de naranja activado tiene una superficie altamente porosa creada debido a la eliminación de compuestos viscosos durante la activación. Concluyendo que el uso de adsorbente de cáscara de naranja activado es prometedor para tratar efluentes de aguas residuales para la eliminación de Cr (VI). En esta misma línea de investigación se trabajó con bioadsorbente de plátano para remover Cromo Total de un efluente de curtiembre, el tiempo de contacto óptimo en la remoción de Cromo fue de 120 minutos a pH 9.21, el cual permitió reducir de una concentración de 15.1 a 3.83 mg Cr/l, con la dosis de 1.5 g, alcanzando una eficiencia de 74.6 %, la determinación de Cromo se realizó por absorción atómica.

VI. CONCLUSIONES

- ✓ Considerando el primer objetivo específico se concluye que los parámetros de pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Cromo Total exceden los Límites Máximos Permisibles con valores de 9.31, 420.4 mg/l, 1854.5 mg/l y 15.1 mg/l respectivamente, mientras que la Temperatura se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles.
- ✓ Con relación al segundo objetivo específico se concluye que el tiempo óptimo de contacto del biosorbente de plátano para remover Cromo Total fue de 120 minutos logrando reducir su concentración de 15.1 hasta 3.83 mg Cr/l con la dosis de 1.5 g, así mismo, continuando con la segunda fase del tratamiento con hidróxido de Calcio al 20%, se logró reducir la concentración de Cromo Total con las dosis de 40 y 50 ml hasta 0.49 y 0.48 mg Cr/l respectivamente, permitiendo cumplir con los Límites Máximos Permisibles normados en 0.5 mg Cr/l.
- ✓ Del tercer objetivo se concluye que la máxima eficiencia alcanzada con el bioadsorbente de plátano fue del 74.6 %, mientras que para la segunda fase con Hidróxido de Calcio fue del 88.4% y 89.6% respectivamente.
- ✓ Se concluye que el compuesto orgánico (bioadsorbente) no puede cumplir con el Límite Máximo Permisible con ninguna de las dosis utilizadas para remover Cromo Total, por lo que necesariamente se debe complementar el tratamiento con un compuesto inorgánico (Hidróxido de Calcio), sin embargo, se genera un incremento considerable de pH.

VII. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda utilizar el método desarrollado en la presente investigación para el tratamiento de efluentes de curtiembre que contengan concentraciones de Cromo semejantes a las trabajadas en este estudio, a fin de encontrar niveles óptimos en la aplicación de bioadsorbentes naturales complementados con compuestos inorgánicos.
- ✓ A fin de optimizar el uso de compuestos inorgánicos en el tratamiento de Cromo u otros metales pesados, se recomienda removerlos previamente con bioadsorbentes naturales de manera que se minimice el uso de sustancias sintéticas y su impacto al ambiente, así como reducir los costos económicos.
- ✓ Con la finalidad de mejorar las concentraciones y/o dosis adecuadas, con miras a obtener mayores rendimientos en la remoción de Cromo Total, se recomienda realizar tratamientos alternativos como utilizar otras concentraciones o dosis diferentes a las trabajadas en el presente estudio.
- ✓ Se recomienda en futuras investigaciones cambiar algunas variables operativas como el volumen, pH, tiempo, temperatura, concentración y dosis, a fin de que ayuden a mejorar u optimizar el proceso y se pueda conocer posibles cambios en cuanto a la remoción de Cromo Total.
- ✓ Se recomienda a las autoridades competentes, instituciones educativas y de investigación fomentar el uso de compuestos naturales biodegradables como los bioadsorbentes en el tratamiento de metales pesados con la finalidad de reducir la presencia de sustancias contaminantes en el ambiente.

VIII. REFERENCIAS

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR]. (2012). *Resúmenes de salud pública: Cromo (Chromium)* [Archivo PDF]. ATSDR en Español. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.pdf
- Ameha, B., Nadew, T., Tedla, T., Getye, B., Mengie, D. y Ayalneh, A. (2024). The use of banana peel as a low-cost adsorption material for removing hexavalent chromium from tannery wastewater: Optimization, kinetic and isotherm study, and regeneration aspects. *RSC Advances*, 14(7), 3675–3690. <https://doi.org/10.1039/D3RA07476E>
- Ártica, M. y Sierra, S. (2019). *Eficiencia de la cáscara de castaña y limón para la remoción de cromo y plomo en una curtiembre de Ate Vitarte – 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60825>
- Cano, T. (2019). *Tratamiento de efluentes de curtiembres utilizando hongos nativos filamentosos y carbón activado para la remoción de cromo total*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/cae1af1b-ca19-4ddd-8f80-e1c4361e02b6/content>
- Carrión, B. (2016). *Definir una técnica para la reducción de cromo hexavalente en solución acuosa mediante la utilización de Musa cavendishii (cáscara de plátano)*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio de la Escuela

Superior Politécnica de Chimborazo.

<http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/6196/1/236T0227.pdf>

Castro, J. y Jave, E. (2017). *Minimización del Cr (III) mediante hidróxido de calcio en efluentes de la etapa de curtido de pieles en las curtiembres del Parque Industrial – Trujillo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0f386ef5-7962-4e5b-b2be-9f9ba797f267/content>

Cifuentes, Y. y Fraile, A. (2021). *Evaluación de biosorbentes naturales para la remoción de Cr (VI) a partir de una solución acuosa y su potencial aplicación en el tratamiento de efluentes de curtiembres*. [Tesis de pregrado, Universidad El Bosque]. Repositorio Institucional Universidad El Bosque. https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/7087/Fraile_Ojeda_A ndr% c3 % a9 s _ Felipe _ 2021 .pdf?sequence=6&isAllowed=y

Dagnew, T. y Bantie, Z. (2023). Process optimization of Cr(VI) removal from aqueous solution using activated orange peel for treatment of tannery wastewater. *Ethiopian Journal of Science and Technology*, 16(1), 51–75. <https://doi.org/10.4314/ejst.v16i1.4>

Durand, J. y Tello, F. (2019). *Efecto del pH y la concentración de melaza como estimulante de Trichoderma sp. para la reducción de cromo en efluentes de la etapa de curtido*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49395/Durand_PJH%20-%20Tello_GFAM%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gutiérrez, L. y Varela, S. (2022). *Biotecnologías aplicadas en la remoción de cromo en efluentes para industrias de curtido*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/33141/Gutierrez%20Cabanillas%20Lilia%20Angelica%20-%20Varela%20Osada%20Sebastian%20Rogelio.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Hernández, L., Majano, G. y Mira, E. (2019). *Elaboración de un material biosorbente a partir de la cáscara de plátano (Musa sp.) para ser utilizado en la remoción de cromo VI proveniente de las aguas residuales de la industria de curtiembre*. [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]. Repositorio de la Universidad de El Salvador. <https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/20508/1/Elaboraci%C3%B3n%20de%20un%20material%20biosorbente%20a%20partir%20de%20la%20c%C3%A1scara%20de%20pl%C3%A1tano%20%28musa%20sp.%29%20para%20ser%20utilizado%20en%20la%20remoci%C3%B3n%20de%20cromo%20VI%20proveniente%20de%20las%20aguas%20residuales%20de%20la%20industria%20de%20curtiembre.pdf>

Huiman, A. (2022). Los residuos peligrosos generados en la industria textil peruana para el caso de la alta costura, fibra de alpaca y curtiembre. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 25(49), 118–133. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.21097>

Mosquera, L. y Leal, N. (2018). *Estudio de la extracción de pectina de cáscaras de cholupa (Passiflora maliformis) y evaluación del uso como coagulante para la remoción de cromo (Cr) en aguas de curtiembre*. [Tesis de pregrado, Universidad Surcolombiana]. Repositorio Universidad Surcolombiana.

<https://repositoriousco.co/bitstream/123456789/3115/1/TH%20IA%200294.pdf>

Ordoñez, D. y Benítez, N. (2019). Remoción de cromo trivalente en aguas residuales de curtiembres mediante un proceso biótico-abiótico basado en el uso de *Yarrowia lipolytica* y *Candida fluviatilis*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 945–956.
<https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.13>

Ortiz, N. y Carmona, J. (2015). Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito, Bogotá), mediante tratamiento con sulfato de sodio. *Luna Azul*, 40, 117–126. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742015000100009&script=sci_abstract&tlng=es

Redacción Interempresas (17 de marzo de 2017). Cáscaras de frutas para limpiar aguas contaminadas. *Interempresas*.
<https://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/181293-Cascaras-de-frutas-para-limpiar-aguas-contaminadas.html>

Reyes, A. (2019). *Tratamiento de un efluente proveniente del proceso industrial de curtiembre para eliminación del Cr (III)*. [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio Institucional IPN.

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/29565/Reyes%20Serrano%2c%20Adriana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodríguez, M. y Quezada, M. (2019). *Remoción de cromo en efluente de curtiembre por consorcio de levaduras del género Saccharomyces y Pichia*. UCV-Scientia, 11(2), 1–11.
<http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ucv-scientia/article/view/1077/1000>

United Nations Industrial Development Organization [UNIDO] (2017). *Tendencias y soluciones para curtiembres sostenibles* [Diapositivas de PowerPoint]. Ministerio de la Producción.
<https://transparencia.produce.gob.pe/images/mype-industria/dgaami/actividades/industria-verde/arequipa/03-Viswa-Munusamy.pdf>

Vargas, J. (2020). *Evaluación mediante la técnica de fitorremediación del cromo en efluentes de la industria del cuero utilizando Lemna minor (lenteja acuática)*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional ESPOCH.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15508/1/27T00458.pdf>

Vicuña, A. (2023). *Eficiencia de la cáscara de papa y la borra de café como floculante para remover cromo (III) en efluentes de la industria curtiembre – Ate, 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV.
http://190.12.84.13:8080/bitstream/handle/20.500.13084/6788/UNFV_FIGAE_Vicuna_Rivera_Gianella_Yulisa_Titulo_profesional_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zamora, G. (2018). *Remoción de la concentración de cromo total, provenientes de las aguas de la etapa de curtido en la industria de curtiembre, empleando polvo de cáscara de plátano*.

[Tesis de pregrado, Universidad Nacional Tecnológica Lima Sur]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica Lima Sur.
https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/1144/1/T088A_48141330_T.pdf

IX. ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Problema general ¿Cómo es la optimización del hidróxido de calcio con la cáscara de plátano para la remoción del cromo en el efluente de una industria de curtiembre? Problemas Específicos 1.¿Cuáles son las características fisicoquímicas del efluente de curtiembre antes del tratamiento? 2.¿Cuál es el pH óptimo de acuerdo con la dosis de trabajo considerado en la remoción del cromo del efluente de curtiembre? 3.¿Cuáles son las dosis óptimas del hidróxido de calcio con la cáscara de plátano en la remoción de cromo del efluente de curtiembre? 4.¿Cuál es la eficiencia del hidróxido de calcio optimizado con la cáscara de plátano en la remoción de cromo del efluente de curtiembre?	Objetivo general Evaluar la optimización del hidróxido de calcio con la cáscara de plátano para la remoción del cromo en el efluente de una industria de curtiembre, Lima. Objetivos Específicos 1.Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del efluente de curtiembre antes del tratamiento. 2.Determinar el pH óptimo de acuerdo con la dosis de trabajo considerado en la remoción del cromo del efluente de curtiembre. 3.Estimar las dosis óptimas del hidróxido de calcio con la cáscara del plátano en la remoción de cromo del efluente de curtiembre. 4.Determinar la eficiencia del hidróxido de calcio optimizado con la cáscara de plátano en la remoción de cromo del efluente de curtiembre.	Hipótesis general La optimización de la cal con la cáscara de plátano tiene la capacidad de remover eficientemente el cromo del efluente de curtiembre. Hipótesis Específicos 1.Las características fisicoquímicas se encuentran de fuera de los límites máximo-permisibles. 2.Las dosis de trabajo utilizadas cuentan con un pH óptimo para remover el cromo presente en el efluente de curtiembre. 3.El hidróxido de calcio con la cáscara del plátano cuenta con una dosis óptima para la remoción de cromo en el efluente de curtiembre. 4.El hidróxido de calcio con la cáscara de plátano cuenta con un alto grado de eficiencia en la remoción de cromo presente en el efluente de curtiembre.	Variable Independiente	La dosis óptima es un parámetro crítico que permite precipitar las impurezas presentes en el agua cruda, si éste se adiciona por debajo o encima de lo requerido ocasionara una elevada turbiedad en el agua tratada. (Noriega Gonzalez, 2021)	Para optimizar el tratamiento se evaluarán los factores que intervienen y permiten desarrollar este proceso, estos factores son parámetros fisicoquímicos, propiedades del contaminante, propiedades de la biomasa y condiciones del medio (Concentración, dosis, tiempo, velocidad de agitación, volumen y otros)	Floculante inorgánico Floculante orgánico	Dosis	ml
							Tiempo	Minutos
							Velocidad de Agitación	rpm
							Concentración	g/l
			Variable Dependiente	Existen tecnologías para la remoción de este elemento tóxico en aguas residuales, siendo métodos costosos y a veces ineficientes, estos son: Intercambio de iones, Coagulación química, Tratamiento electroquímico, Reducción y absorción a partir de absorbentes mixtos y Ósmosis inversa (Carrión, 2016).	Para evaluar la remoción de Cromo se tomará en cuenta su concentración inicial de trabajo considerado por el investigador, para luego ser sometido a un proceso de tratamiento con floculantes naturales y sintético para observar sus nuevos niveles alcanzados, tomaremos en cuenta los niveles de eficiencia obtenidos en cada caso.	Parámetros Inorgánico Cromo	Concentración	(mg/l)
	Remoción de Cromo	Eficiencia	%					

Anexo B: Ficha Técnica para la recopilación de los resultados de campo

	“OPTIMIZACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO CON BIOADSORBENTE DE PLÁTANO PARA LA REMOCIÓN DE CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES DE CURTIEMBRE, LIMA 2024”		
	FORMATO FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO		VERSIÓN: 01
			PÁGINAS: 1 DE 1

ESTACION		EQUIPO			
		Multiparámetro	Potenciómetro	Conductímetro	Turbidímetro

ANÁLISIS 2	PARAMETROS FÍSICOQUÍMICOS						
MONITOREOS	pH	Temperatura	Conductividad	Sólidos Totales Disueltos	Salinidad	Cromo Total	
	0 -14	°C	uS/cm	mg/L	%	mg/l	
Monitoreo 1							


 Mg Ahuber Omar Vasquez Aranda
CIP: 92507

Anexo C: Ficha de equipos e instrumentos a utilizar

	“OPTIMIZACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO CON BIOADSORBENTE DE PLÁTANO PARA LA REMOCIÓN DE CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES DE CURTIEMBRE, LIMA 2024”.	
	FORMATO FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO	VERSIÓN: 01
		PÁGINAS: 1 DE 1

FECHA DE ANALISIS	METODO: JAR TEST			
	N° DE JARRAS	N° DE PRUEBAS	N° DE REPETICIONES	MUESTRAS TOTALES

	PRUEBA DE JARRAS (BIOADSORBENTE E HIDRÓXIDO DE CALCIO)						
	Concentración de Coagulante 1 y 2	Dosis de Coagulante	Velocidad	Tiempo	Volumen	Modo Lento/Rápido	Tiempo de sedimentación
	%	ml	RMP	Minutos	Litros	RPM	Minutos
Jarra 1							
Jarra 2							
Jarra 3							
Jarra 4							
Jarra 5							

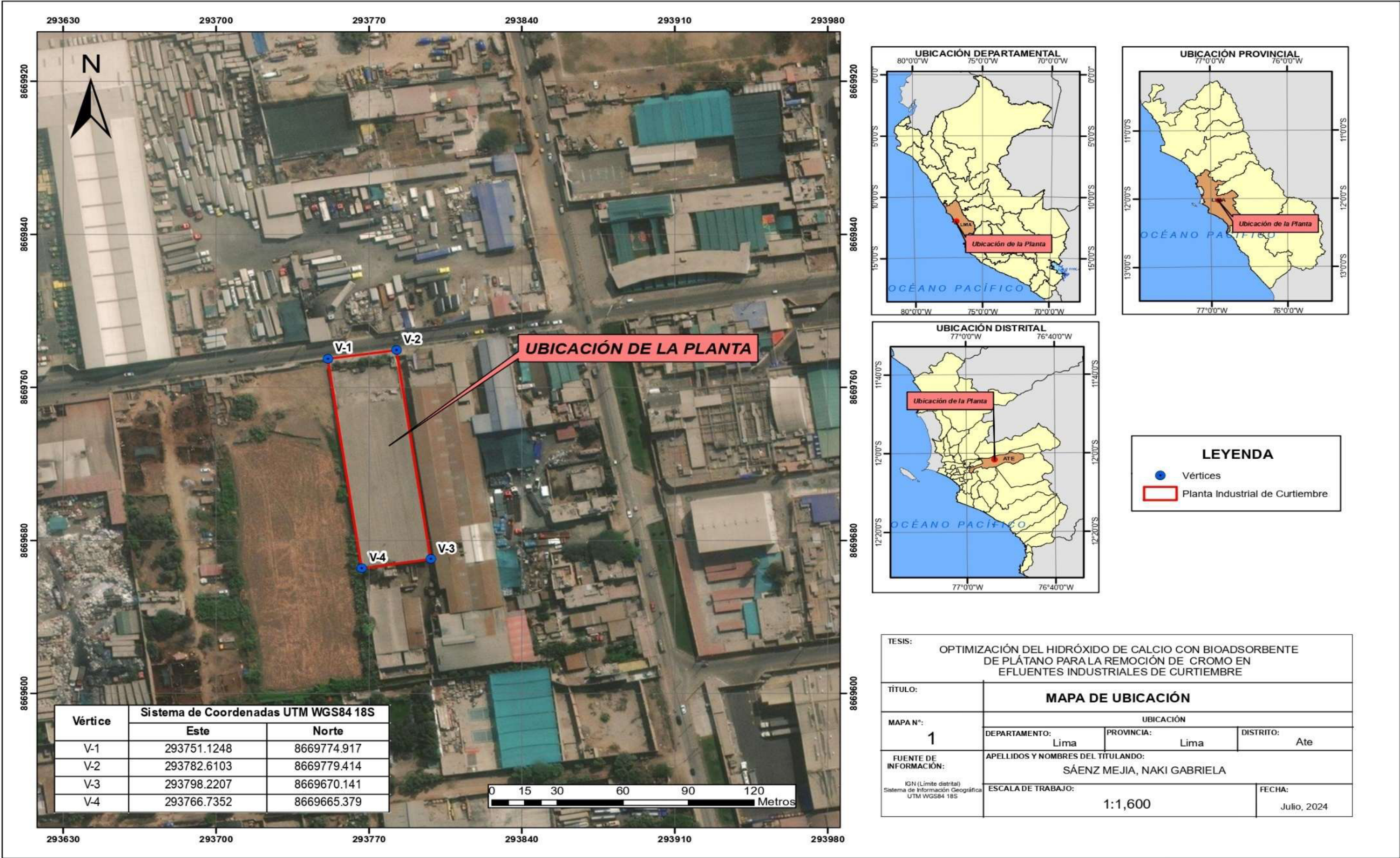
Anexo D: Etiqueta

		PROTOCOLO PARA TOMA MUESTRAS			
		ETIQUETA PARA MUESTRAS DE CAMPO			
		CODIGO LAB:		VERSIÓN: 001 – 2023	
CODIGO CAMPO:		FECHA:		HORA:	
LUGAR:		PRESERVADA:	SI		
PARÁMETRO:			NO		
DEPARTAMENTO Y DISTRITO:					
MATRIZ:					
RESPONSABLE:					
SOLICITANTE:					
DIRECCION:					

Anexo E: Formato de ingreso de muestras al laboratorio

[illegible]

Anexo F: Ubicación de la industria de curtiembre



Anexo G: Costo estimado para la implementación piloto del tratamiento y ahorro estimado.

Items	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
1. Equipos Principales				
Tanque Reactor/Homogeneizador	1		136,000	136,000
Agitador vertical de velocidad lenta (40-330 rpm)	1		20,000	20,000
Bomba dosificadora del floculante	1		16,000	16,000
Tanque (4000 l)	1		70,000	70,000
Motorreductor	1		25,000	25,000
Otros Accesorios	-		5,000	5,000
Tanque Clarificador	1		50,000	50,000
Sub-Total				186,000
2. Costos Operativos por m³ de Agua Tratada diaria				
Bioadsorbente (1.5 kg/m ³)	50	m ³ /día	0.30	15.00
Hidróxido de Calcio (50.8 kg/m ³)	50	m ³ /día	60.96	3,048.00
Sub-Total				3,063.00
3. Costos de Instalación y Otros				
Instalación y Montaje de Equipos	1		30,000	30,000
Costos de Energía (estimado mensual)	1		5,000	5,000
Mano de Obra Operativa (mensual)	2	personas	3,000	6,000
Mantenimiento de Equipos (anual)	1	año	10,000	10,000
Sub-Total				51,000
Total inversión inicial				240,063
4. Ahorro Estimado				
Costo inicial solo con hidróxido de calcio	50	m ³	240.00	12,000.00
Costo con bioadsorbente + hidróxido	50	m ³	61.26	3,063.00
Ahorro diario total (50 m³/día)	50	m³	178.74	8,937.00

Anexo H: Resultados de las pozas finales de sedimentación en la industria de curtiembre

MUESTRA	T (°C)	pH	SST (mg/l)	CE (mS/cm)	TDS (g/l)	Salinidad (%)	DQO (mg/l)	Cromo Total (mg/l)
M-1	18.8	9.31	420.4	6.19	3.1	12.1	1854.5	15.1
LMP*	35	6-9	30	–	–	–	50	0.5

Anexo I: Resultados de laboratorio

RESULTADOS DE CROMO TOTAL					
<i>Dosis de bioadsorbente</i>					
Dosis (g)	0.5 g	1.0 g	1.5 g	2.0 g	2.5 g
MUESTRAS	<i>Concentración de Cr Total (mg/l)</i>				
1-30	7.35	6.37	5.45	5.21	5.45
2-30	7.61	5.92	5.28	5.36	5.58
3-30	7.21	6.25	5.67	5.28	5.35
1-60	6.38	5.87	4.75	4.51	5.15
2-60	6.61	5.94	4.88	4.22	5.08
3-60	6.11	5.67	4.95	4.31	5.25
1-120	5.18	5.97	3.85	4.21	4.65
2-120	5.26	5.72	3.68	4.32	4.78
3-120	5.01	5.65	3.97	4.18	4.45
DOSIS DE Ca(OH) ₂					
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
MUESTRAS	<i>Concentración de Cr (mg/l)</i>				
1-5	5.14	5.08	3.83	3.89	4.01
2-5	5.19	4.88	3.76	4.02	3.86
3-5	5.05	5.02	3.87	3.91	3.56
1-10	5.03	4.93	3.71	3.78	3.72
2-10	5.07	4.89	3.89	3.65	3.67
3-10	4.93	4.77	3.81	3.71	3.52
1-15	4.55	3.34	2.86	2.21	1.96
2-15	4.38	3.22	2.78	2.15	2.05
3-15	4.41	3.15	2.69	2.37	1.84
1-20	3.23	2.61	1.27	0.42	0.51
2-20	3.01	2.45	0.99	0.56	0.45
3-20	2.87	3.01	0.77	0.49	0.48

Anexo J: Panel Fotográfico

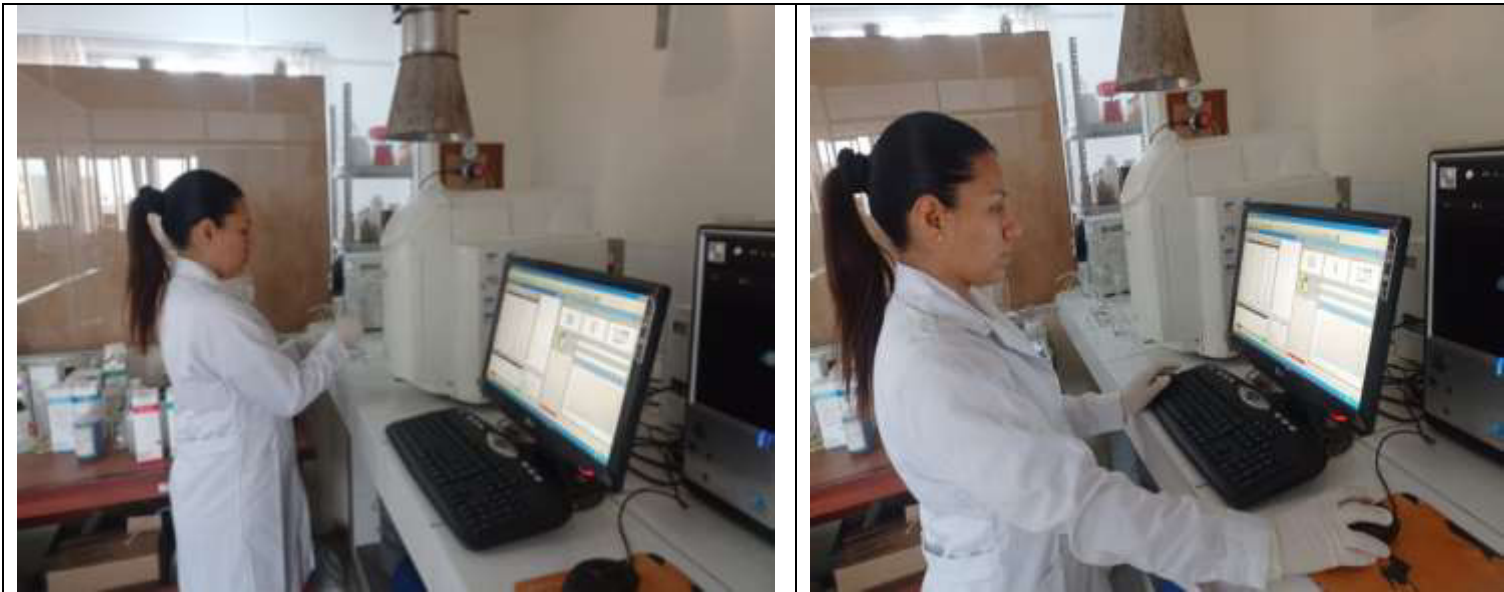
A continuación, se presenta un panel fotográfico del levantamiento de muestra en la Industria de Curtiembre Peletera S.A y el proceso de análisis en el laboratorio de UNFV-FIGAE.



Toma de muestra de las pozas finales en la Industria de curtiembre.



Preparación del Bioadsorbente de plátano e hidróxido de calcio.



Cuantificación y lectura de concentración final de cromo en el espectrofotómetro de absorción atómica.