



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Proceso de adsorción natural con quitosano para la remoción
de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre del
segundo tramo del río Huaycoloro, Lima - 2021**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Najarro Soto, Ronald (ORCID: 0000-0003-4963-0831)

ASESOR:

Mg. Herrera Diaz, Marco Antonio (ORCID: 0000-0002-8578-4259)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A Dios todopoderoso en primer lugar, a mi esposa y a mis padres y familiares por su apoyo incondicional que durante este tiempo me brindaron para poder alcanzar mis objetivos lograr terminar satisfactoriamente mi carrera profesional. Mi profundo agradecimiento a todos los educandos y autoridades de esta institución que me brindaron sus conocimientos y experiencias. Finalmente quiero agradecer a la Doctora deyli Días Lezama por haberme impulsado a realizar este proyecto de investigación.

Agradecimiento

Agradecer al Señor todopoderoso Jehová por inspirar en mí una persona de bien y guiar mi camino por lado bueno, agradezco a mi esposa Edith que siempre me brinda y alienta para seguir adelante hasta lograr mis objetivos y metas propuestos, a mis padres Daniel Najarro Balboa y Maxima Soto Almeyda quienes con su gran lucha y coraje me forjaron para ser un hombre de bien y lograr una de mis metas terminar satisfactoriamente mi carrera profesional

A Mis amados hijos Dilhan y Axell que son mi adoración y motivo de lucha constante para seguir adelante y lograr muchas metas y objetivo

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCION.....	1
II. MARCO TEORICO.....	4
III. METODOLOGÍA	9
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	9
3.2. Variables y operacionalización	9
3.3. Población, muestra y muestreo.	10
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	10
3.5. Procedimientos	11
3.5.1. Obtención de quitosano.....	11
3.5.2. Preparación de la curva de calibración para la determinación de Cromo (VI) ..	12
3.5.3. Evaluación de la influencia del pH en el proceso de la bioadsorción de Cr (VI) ...	13
3.5.4. Adsorción natural del cromo hexavalente	13
3.5.5. Isotermas de adsorción natural.....	13
3.6. Método de análisis de datos.....	14
3.7. Aspectos éticos.....	14
IV. RESULTADOS.....	15
4.1. Descripción del quitosano	15
4.1.1. Dimensiones de la partícula	15
4.1.2. Grado de desacetilación	15
4.1.3. Rendimiento del quitosano	16
4.2. Curva de calibración.....	16
4.3. Eficiencia del proceso de adsorción natural con quitosano	18

4.4.	Parámetros fisicoquímicos del efluente tratado.....	19
4.5.	Isotermas de biosorción para Cr6+	19
4.5.1.	Cantidad de cromo hexavalente adsorbido por gramo de biosorbente.....	20
4.5.2.	Isoterma de Langmuir	20
4.5.3.	Isoterma de Freundlich	21
4.6.	Análisis estadístico	23
V.	DISCUSIÓN	28
VI.	CONCLUSIONES	30
VII.	RECOMENDACIONES.....	31
	REFERENCIAS	32
	ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1: Tamaño de la partícula obtenida de quitosano	15
Tabla 2: Longitud de onda y transmitancia	15
Tabla 3: Datos para la curva de calibración	17
Tabla 4: Coeficientes de correlación y determinación para la aplicación de la curva de calibración.....	17
Tabla 5: Diagnóstico inicial del efluente	18
Tabla 6: Resultados de la adsorción natural con quitosano.....	18
Tabla 7: Parámetros fisicoquímicos del efluente tratado	19
Tabla 8: Datos de la isoterma de biosorción	19
Tabla 9: Cantidad de cromo hexavalente adsorbido por gramo de quitosano	20
Tabla 10: Data para la determinación de Isoterma de Langmuir	21
Tabla 11: Data para la determinación de la isoterma de Freundlich.....	22
Tabla 12: Resultados de las isotermas del cromo ⁶⁺	23
Tabla 13: Procesamiento de casos	23
Tabla 14: Descriptivos.....	24
Tabla 15: Prueba de normalidad	24
Tabla 16: Análisis estadístico de muestras emparejadas	25
Tabla 17: Prueba de muestras emparejadas.....	25

Índice de figuras

Figura 1: Flujograma para la obtención del quisotano	12
Figura 2: Ecuación de regresión para la elaboración de la curva de calibración ..	16
Figura 3: Modelo de Langmuir	21
Figura 4: Modelo de Freundlich.....	22
Figura 5: Análisis de varianza	26

Resumen

Los metales pesados se han convertido en uno de los contaminantes más nocivos de los ecosistemas acuáticos. Es por ello que el desarrollo e investigación de procesos que ayuden a reducir la concentración de estos elementos es de vital importancia ya que permiten la conservación de la calidad hídrica de los ecosistemas acuáticos. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal determinar el porcentaje de la adsorción natural con quitosano para la remoción del cromo hexavalente. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y un diseño experimental. Asimismo, como parte de los resultados, la investigación determinó que con 0.4 gramos de biomasa (quitosano y otros aditivos) y una concentración inicial de 1.89 mg/L de Cr (VI) se obtuvo un porcentaje de remoción de 61.20 %, es decir, quedó una concentración final de 0.7261 mg/L de Cr (VI) en la muestra. La investigación consideró a la adsorción natural mediante el quitosano para la remoción del Cr hexavalente una alternativa sostenible y rentable debido a que la materia prima para desarrollar dicho proceso es el quitosano, un compuesto orgánico y fácil de obtener en la naturaleza acuática.

Palabras clave: Adsorción natural, Quitosano, Remoción, Cromo Hexavalente.

Abstract

Heavy metals have become one of the most harmful pollutants in aquatic ecosystems. That is why the development and research of processes that help reduce the concentration of these elements is of vital importance since they allow the conservation of the water quality of aquatic ecosystems. The main objective of the present research work was to determine the percentage of natural adsorption with chitosan for the removal of hexavalent chromium. The research was developed under a quantitative approach and an experimental design. Likewise, as part of the results, the investigation determined that with 0.4 grams of biomass (chitosan and other additives) and an initial concentration of 1.89 mg / L of Cr (VI), a removal percentage of 61.20% was obtained, that is, A final concentration of 0.7261 mg / L of Cr (VI) remained in the sample. The research considered natural adsorption through chitosan for the removal of hexavalent Cr a sustainable and profitable alternative because the raw material to develop this process is chitosan, an organic compound that is easy to obtain in aquatic nature.

Keywords: Natural adsorption, chitosan, removal, hexavalent chromium

I. INTRODUCCION

El vertido directo de aguas residuales sin un tratamiento adecuado en el cuerpo receptora es una grave contaminación de los ecosistemas existentes especialmente para las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, lo que pone en riesgo la sostenibilidad de nuestros recursos y la salud de las personas (SUNASS, 2015, p. 5)

En la actualidad, nuestra contaminación y escasez de agua han causado muchos problemas. Para resolver esta interrogante, existen algunos métodos alternativos nuevos que pueden usar quitosano de manera efectiva para tratar estas aguas residuales. Este método alternativo es biodegradable, por lo que no cambiará la calidad del medio ambiente en comparación con los sistemas de tratamiento convencionales que utilizan polímeros químicos inorgánicos y afectan el medio ambiente.

Ramírez y Jaramillo (2015, p. 144) manifiestan que el sistema de tratamiento tradicional incluye en su proceso de clarificación la coagulación y floculación de polímeros a base de sales de hierro y aluminio, sustancias que son tóxicas y pueden causar enfermedades.

Según Téllez (2015, p. 53) manifiesta que, debido al crecimiento de las actividades industriales, las fuentes de contaminación y afectación del ambiente por metales pesados se han acrecentado notoriamente. Los principales compuestos de cromo que se encuentran disponibles en el medio ambiente son trivalentes y hexavalentes. Asimismo, Chávez (2010, p. 41) menciona que los diferentes compuestos de cromo (Cr) representan una gran amenaza para el medio ambiente y los seres humanos debido a sus efectos nocivos. Generando daños en el riñón, tracto gastrointestinal, hígado, enfermedad de la tiroides y la médula ósea, y la tasa de depuración del cuerpo es muy lenta. La industria del curtido de cueros utiliza en su proceso sal de Cr, la cual producirá una gran cantidad de desechos líquidos que contienen este

metal, estos deben ser removidos para cumplir con la normativa de protección ambiental.

En base a ello, en esta investigación se planteó como problema general: ¿En qué medida el proceso de absorción natural con quitosano favorece la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro, Lima - 2021?, asimismo tiene como problemas específicos: 1) ¿De qué manera los factores físico-químicos del proceso de adsorción natural con quitosano influyen en la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro, Lima - 2021? 2) ¿Cuál es cantidad de reducción de la concentración de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro por acción del proceso de adsorción natural con quitosano? 3) ¿Cuáles son las diferencias de los parámetros físico-químicos de las aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro antes y después de la aplicación de proceso de adsorbente natural con quitosano?

La presente investigación se justificó de manera teórica porque permite generar nuevos conceptos y profundizar sobre el preparación y generación de un biadsorbente a base de quitosano y así generar nuevos conceptos aplicación en estos temas de este polisacárido.

La presente investigación se justificó de manera práctica porque permite analizar y discutir un método aplicativo práctico respecto al tema de adsorbentes naturales y genera una opción adecuada para poder tratar los efluentes de curtiembre.

Asimismo, para la presente investigación se estableció el siguiente objetivo general: Determinar el porcentaje de la adsorción natural con quitosano para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro, Lima – 2021. De igual manera se presentan los siguientes objetivos específicos: 1) Analizar cómo los factores físico-químico del proceso de adsorción

natural con quitosano influyen en la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro, Lima – 2021. 2) Cuantificar la cantidad de reducción de la concentración de Cromo Hexavalente en aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro por acción del proceso de absorción natural con quitosano, 3) Identificar las diferencias de los parámetros físico-químicos de las aguas residuales de curtiembre en del segundo tramo del río Huaycoloro antes y después del tratamiento con adsorbente natural con quitosano.

Respecto a la hipótesis general se estableció la siguiente: El proceso de adsorción natural con quitosano favorece de manera positiva y significativa a la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro, Lima – 2021. Y por hipótesis específicas se tiene: 1) Los factores físico-químicos de la adsorción natural con quitosano influyen de manera positiva y significativa en la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro, Lima – 2021. 2) La reducción de la concentración de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro por acción de la absorción natural con quitosano es mayor a 40%. 3) La diferencia de los parámetros físico-químicos de las aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro antes y después del tratamiento con adsorbente natural con quitosano es significativa.

II. MARCO TEORICO

Budi *et al.* (2020, p. 1) realizaron experimentalmente una investigación donde usaron a la nanofibra en el campo de la biosorción, incluida la agricultura, industrias biomédicas, farmacéuticas y muchas otras. En este estudio, la nanofibra quitosana / PVA es utilizado como adsorbente para la recuperación de oro debido a sus propiedades superiores para adsorber iones metálicos de una solución. Según la metodología se usaron los modelos de Langmuir y Freundlich. Para determinar los modelos más eficientes de recuperación de oro mediante el uso de nanofibras de quitosano / PVA, se utilizaron métodos de análisis de regresión para evaluar los datos. Finalmente, Budi *et al.* (2020, p. 11) concluyeron que el modelo de Freundlich era el mejor modelo para este estudio con parámetros.

De la misma manera, Berrocal (2019, p. 12), realizó una investigación experimental, donde planteó como objetivo principal la determinación de la eficiencia de adsorción del quitosano en la reducción del plomo. Berrocal (2019, p. 67) concluyó que la eficiencia de adsorción para el tratamiento de agua con quitosano para 0.1 gr es de 17.47 mg/g y 37.56 %, 0.5 gr es de 3.71 mg/g y 39.93 %, 1.0 gr es de 2.03 mg/g y 43.66 %; mientras con quitosano para 0.1 gr es de 19.43 mg/g y 41.79 %, 0.5 gr es de 4.18 mg/g y 42.72 %, 1.0 gr es de 2.37 mg/g y 50.97 %.

Por otro lado, Cercedo (2018, p. 24) realizó una investigación sobre la eficiencia de adsorción de metales (cobre) del quitosano. Aplicó un método preexperimental porque realizó el análisis de calidad de aguas residuales antes y después del tratamiento. Cabe mencionar que realizó 4 tratamientos tanto para el quitosano comercial y el quitosano natural. Asimismo, Cajas (2018, p. 82) verificó que las dosis óptimas para la adsorción son de 0.1 gr por cada 10 minutos de contacto. Además, comprobó que se consigue una mayor adsorción del cobre con el quitosano natural.

Taquez y Vargas (2018, p. 38) realizaron un proyecto de investigación donde su principal objetivo fue evaluar la capacidad coagulante del quitosano. Usaron el

método del estudio del caso inductivo ya que aplicaron la eficiencia del quitosano en la remoción de contaminantes de agua residual. Asimismo, Taquez y Vargas (2018, p. 77) comprobaron que la eficiencia de remoción de turbidez es de 72% a 84%, de sólidos es de 21% a 43%, de DQO es de 21% a 43% y de DBO5 es de 13% a 22%. Finalmente, Taquez y Vargas (2018, p. 77) concluyeron que el quitosano es una alternativa para usarlo como coagulante en el tratamiento de aguas residuales contaminadas por la industria cosmética.

Del mismo modo, Lavanya *et al.* (2017, p. 1) realizaron una investigación experimental donde injertaron los monómeros de anhídrido maleico y ácido metacrílico uno tras otro sobre quitosano utilizando nitrato de amonio cérico como concentración inicial. Las condiciones óptimas para el injerto se estudiaron variando la concentración inicial, la concentración de monómero y temperatura de reacción. Las muestras injertadas sintetizadas se sometieron a diversos análisis técnicas como los métodos FTIR, XRD, TGA y DSC. En la prueba de formación del injerto, el copolímero se determinó a partir de los resultados del análisis FTIR y los estudios XRD. Lavanya *et al.* (2017, p. 9) concluyeron que el comportamiento es altamente estable térmicamente a la muestra de copolímero de injerto preparada. El copolímero de injerto preparado se utilizó para eliminar el cobre y el plomo de las soluciones acuosas y Los parámetros óptimos de adsorción se evaluaron bajo varios pH, dosis de adsorbente, tiempo de contacto y concentración inicial de iones metálicos. Asimismo, los resultados obtenidos mostraron que el copolímero de quitosano-g anhídrido maleico-g-ácido metacrílico fue muy eficaz para eliminar los metales pesados. cobre y plomo de solución acuosa.

Asimismo, Chang-Hua, Lei y Wen-Sheng (2017, p. 160) realizaron una investigación experimental sobre la adsorción y usaron la cáscara de soja modificada con dendrímero de poliamidina para preparar un material adsorbente contra compuestos orgánicos. Chang-Hua, Lei y Wen-Sheng (2017, p. 166) concluyeron que la cáscara de soja modificada con dendrímero de poliamidina es un adsorbente para la eliminación de tintes orgánicos (MB, AF y MG), además

comprobaron que la eficiencia de la eliminación de los tintes orgánicos aumenta si se eleva la concentración del preparado adsorbente y el tiempo de contacto.

En cambio, Ramos (2017, p. 1) realizó una investigación cuyo objetivo fue establecer un tratamiento para la remoción de metales pesados, denominado bioadsorción. Para ello usó las propiedades que posee el quitosano como compuesto, y los aplicó en la remoción del cromo hexavalente. Ramos (2017, p. 27), usó un método experimental y consideró como población a las aguas residuales de la curtiembre de Huachipa, y como muestra, tomó 20 litros de esas aguas residuales. Ramos (2017, p. 59) concluye que la bioadsorción con quitosano es eficiente, porque permite la remoción del cromo hexavalente entre 58,75% y 61,17%.

Tinoco *et al.* (2016, p. 3) realizaron una investigación con el propósito de verificar el uso de la queratina y el quitosano para adsorber el azul de metileno. Aplicaron un diseño experimental de tipo aplicada, y para la obtención de los compuestos antes mencionados usaron NaOH y HCl para procesos como deproteinización y demineralización. Trabajaron con 10 kilogramos de quitosano proveniente del caparazón del langostino rojo. Tinoco *et al.* (2016, p. 11) concluyeron que la adsorción de la queratina se alcanza a pH 9 y en un tiempo de 250 minutos llega al máximo con un porcentaje de remoción de 83%. En el caso del quitosano, se comprobó que a los 30 minutos ya adsorbió el 77% y el pH óptimo es entre 5 y 6.

También Kumari *et al.* (2016, p. 50), realizaron una investigación experimental, plantearon como objetivos obtener quitosano de conchas de camarón, caracterizarlos con diferentes técnicas y estudiar los efectos de la cantidad de dosis de adsorbente y el tiempo de contacto en el proceso de adsorción. En cuanto a la metodología, primero obtuvieron el quitosano mediante procesos como la desmineralización (HCl al 2% por 30 minutos a temperatura ambiente), desproteinización (NaOH al 2% por 30 minutos a 100°C) y por último la desacetilación (NaOH al 40%). Kumari *et al.* (2016, p. 54) concluyeron que los

desechos de camarón son una gran fuente de quitina y síntesis de quitosano. La eficiencia en la adsorción del cromo hexavalente aumenta de acuerdo a la concentración y el tiempo de contacto con el quitosano.

Por otra parte, Alava (2015, p. 2) realizó una investigación experimental sobre el quitosano. Su objetivo principal fue obtener el quitosano de bajo peso molecular a partir del exoesqueleto de una especie de camarón para aplicarlos en el tratamiento de propiedades físicas de agua contaminada por hidrocarburos. Respecto a la metodología Alava (2015, p. 5), aplicó una norma técnica general que incluía desde la parte de la toma de muestra de agua contaminada, hasta el proceso de caracterización del quitosano. Finalmente, Alava (2015, p. 9) según los resultados obtenidos pudo generar quitosano a partir de residuos del exoesqueleto de un camarón y usarlos en la descontaminación de muestras de agua contaminada con desechos derivados de hidrocarburos.

Respecto a la afectación del medio por aguas contaminadas, Buitrón (2015, p. 2) realizó una tesis de investigación que evaluaba la propiedad que posee el quitosano para adsorber y remover el cromo y el níquel en aguas contaminadas por metales. En la etapa experimental aplicó un proceso discontinuo a volumen constante y temperatura ambiente, concentraciones controladas tanto del cromo como del níquel y diversos intervalos de tiempo. Buitrón (2015, p. 76) obtuvo el quitosano de alta calidad y con un porcentaje de desacetilación del 80,32%, asimismo, respecto a la propiedad adsorbente de este compuesto se concluyó que mostró una alta eficiencia para la remoción del níquel, mientras que, para el cromo, mostró una muy baja remoción.

Luego de mencionar los antecedentes, es de vital importancia definir algunos términos relacionados con las variables del presente estudio. Respecto a la variable de adsorción natural con quitosano, Romero *et al.* (2018, p. 105) indica que “este bioadsorbente es un poli electrólito catiónico que muestra una gran eficiencia de

remoción de cromo VI y que cuenta con las bondades de ser inocuo para la salud humana y es biodegradable”. Según, Mayra (2011, p. 8) “el quitosano es el principal derivado de la quitina, se obtiene mediante desacetilación termoalcalina parcial o total de la quitina”.

Por otro lado, respecto a la importancia biodegradable del quitosano, Cadeza *et al.* (2017, p. 533) menciona que “es viable técnica y económicamente usar desperdicios de especies de camarón para producir quitosano que sirve de polímero para producir materiales biodegradables”

Respecto al cromo hexavalente, “se encuentran entre los más tóxicos desde el punto de vista ambiental, produciendo efectos carcinógenos y mutagénicos. La IARC ha clasificado al cromo (VI) en el grupo de los cancerígenos para el ser humano” (Pradana et al., 2019, p. 258). Mientras que, para Valverde y Pérez (2018, p. 75-76) el cromo hexavalente es un elemento que se utiliza en metalurgia, en la industria de la piel, en fungicidas, en preservantes de la madera, como inhibidor de la corrosión en las torres de refrigeración, en soluciones de limpieza del cristal, sin embargo, es altamente tóxico para peces, mamíferos y aves.

III.METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

De acuerdo con el enfoque, la investigación es de tipo cuantitativo. “El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 4)

El tipo de investigación es aplicada. “Se llaman aplicadas porque se basan en los resultados de la investigación básica, pura o fundamental, de las ciencias naturales y sociales, que hemos visto, se formulan problemas e hipótesis de trabajo para resolver los problemas de la vida social de la comunidad regional o del país” (Ñaupas *et al.*, 2018, p. 136).

El diseño de la investigación es experimental. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014, p. 129), “los experimentos manipulan el tratamiento, el estímulo, la influencia o la intervención (llamadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (variables dependientes) en una situación de control”. La presente investigación cumple los requisitos para ser considerada como experimental porque analizará la adsorción del cromo hexavalente en diferentes dosis de quitosano, es decir, se manipula las variables para cumplir un objetivo científico.

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente

Adsorción natural con quitosano. Esta variable abarcó el estudio de dos campos dimensionales, tales como, los factores físicos y los factores químicos que influyen en el proceso de captura del cromo (VI).

Variable dependiente

Remoción de cromo hexavalente. Esta variable abarcó una dimensión relacionada con la reducción de concentración del cromo hexavalente.

3.3. Población, muestra y muestreo.

Población

La población de la presente investigación está conformada por las aguas residuales de curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro.

Muestra

La muestra considera fue de 20 litros de agua residual de curtiembre colectadas del segundo tramo del río Huaycoloro.

Muestreo

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos de recolección, procesamiento y análisis de datos han sido aplicados de acuerdo a las necesidades que la investigación experimental requiere.

Técnica	Procedimiento	Instrumento
Observación	<ul style="list-style-type: none">• Recopilación de datos respecto a los factores físico-químico	<ul style="list-style-type: none">• Ficha de observación
Análisis colorimétrico	<ul style="list-style-type: none">• Determinación de Cr (VI) antes y después de los tratamientos	<ul style="list-style-type: none">• Espectrofotómetro UV

3.5. Procedimientos

La presente investigación se realizó de acuerdo a los siguientes procedimientos establecidos:

3.5.1. Obtención de quitosano

Recolección de insumos orgánicos: Los desechos de cangrejos fueron recolectados en los restaurantes de mariscos, se lavaron con abundante agua para retirar los residuos adheridos a los caparazones.

Secado y molienda: Se secaron los residuos orgánicos (caparazones de cangrejo) en una estufa a 80 °C por 5 horas. Luego se procedió a tamizar hasta un tamaño de partícula de 600 µm.

Desmineralización: Se preparó una solución de HCl a una concentración de 1,8 N para poder eliminar los minerales como el carbonato de calcio y el fosfato de calcio presentes en el caparazón. Se desarrolló el proceso con 80 gr. de los caparazones molidos y tamizados con 250 ml de HCl sometidos en agitación constante por una hora a temperatura ambiente (25 °C). Posteriormente, se realizó el lavado con agua destilada y se procedió con el filtrado.

Desproteínización: Se preparó una solución de NaOH a una concentración de 1N, para poder descartar las proteínas. El sólido obtenido de la fase anterior fue disuelto en 500 ml de NaOH, sometido en agitación constante por tres horas a temperatura de 80°C. Luego, se realizó el lavado agua destilada y se procedió con el filtrado.

Desacetilación: Se preparó una solución de NaOH a una concentración de 13 N. El sólido obtenido de la fase anterior fue disuelto en 500 ml de NaOH sometido en agitación constante por cuatro horas a temperatura de 100° C. Luego, se realizó el lavado del quitosano con abundante agua destilada y se procedió con el filtrado. Posteriormente, se llevó a la estufa a 90°C durante 4 horas para el secado. Finalmente, se trituró y se tamizó en tamaños de partícula de 250 y 600 µm.

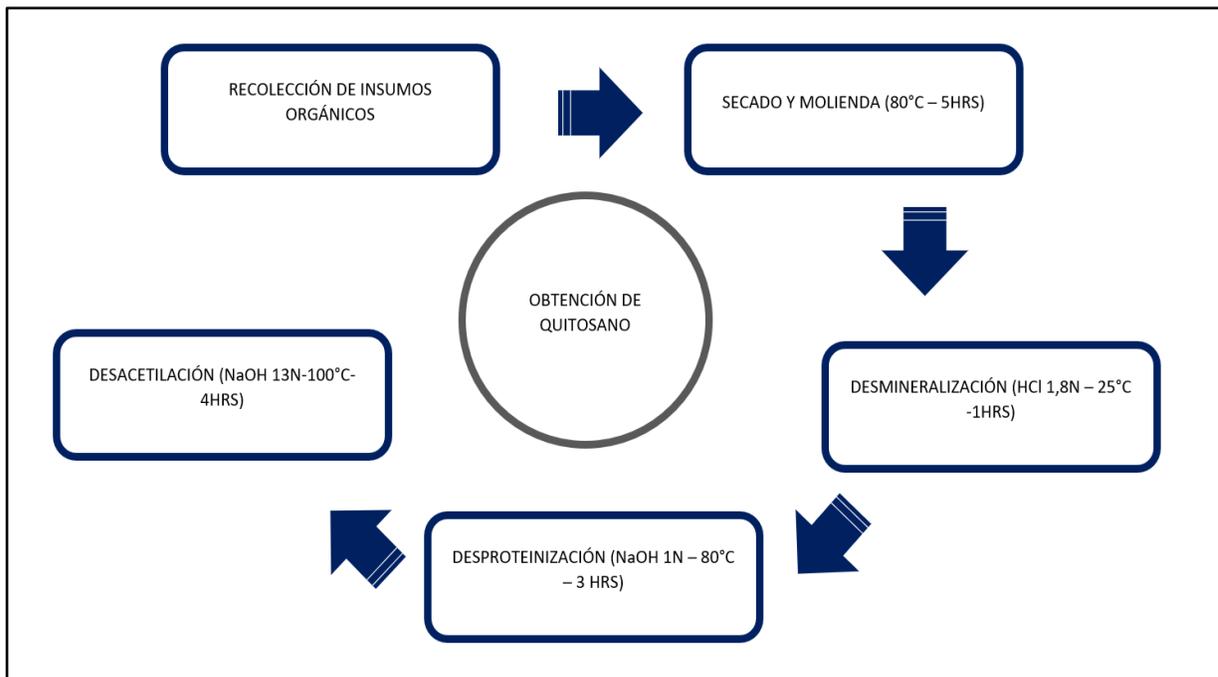


Figura 1: Flujograma para la obtención del quitosano

3.5.2. Preparación de la curva de calibración para la determinación de Cromo (VI)

Solución patrón madre de Cr (VI) de 0,1 g/l (100 ppm)

Se pesó 0,374 gramos de cromato potásico (K_2CrO_4) y se enrasó a 1000 ml con agua destilada.

Solución patrón hija de Cr (VI) de 0,001 g/l (1 ppm)

Se pipeteó 10 ml de la solución patrón madre y se enrasó a 1000 ml con agua destilada.

Solución ácida de difenilcarbazida

Se pesó 0,04 gr. de difenilcarbazida pura, luego fue disuelta con 20 ml de alcohol etílico de 96°. Después, se añadió una solución de H_2SO_4 1/10 (80 ml). Una vez obtenida la solución, se guardó en un frasco ámbar de 100 ml y se refrigeró. Se prepararon diferentes soluciones patrones y se añadió 2,5 ml de solución ácida de difenilcarbazida en cada una de las fiolas, se dejó reposar por 10 minutos hasta

desarrollar un color rojo-violeta. Finalmente, se tomaron las lecturas en el espectrofotómetro UV a una longitud de onda de 540 nm

3.5.3. Evaluación de la influencia del pH en el proceso de la bioadsorción de Cr (VI)

La adsorción natural se desarrolló de la siguiente manera: 0,2 gramos de quitosano se mezclaron con 500 ml de muestra con una concentración de 3,96 mg/L de Cr (VI). Luego, se prepararon 03 muestras con la misma concentración de cromo, pero en diferentes pH (4, 4,5 y 5), los cuales fueron calibrados con una solución de hidróxido de sodio 1N. Posteriormente, las soluciones fueron agitadas a 200 rpm en 1 hora. Seguidamente, las muestras se filtraron y fueron preservadas con 2 ml de ácido nítrico. A continuación, se determinaron las concentraciones finales de Cr (VI) con el espectrofotómetro UV. Finalmente, el ensayo se realizó por triplicado.

3.5.4. Adsorción natural del cromo hexavalente

Se mezcló 500 ml de la muestra tomada de la curtiembre con una concentración de 3,96 mg/L de cromo hexavalente en un vaso de precipitado y se agregó 0,4 gramos de quitosano con un tamaño de partícula de 250 μm . Luego, se mantuvo en agitación constante a 200 rpm durante una hora. Enseguida, las muestras se filtraron y fueron preservadas con 2 ml de ácido nítrico. A continuación, se determinaron las concentraciones finales de Cr (VI) con el espectrofotómetro UV. Finalmente, el ensayo se realizó por triplicado.

3.5.5. Isotermas de adsorción natural

Se prepararon soluciones de 5, 25, 50 y 100 mg/L de Cr (VI) a partir de una solución patrón de 500 mg/L. A continuación, se colocaron 500 ml de cada solución en vasos de precipitados y se agregó a cada uno 1 gr. de quitosano, los cuales estuvieron en agitación constante a 300 rpm para mejorar el contacto entre el adsorbente natural y el metal durante 2 horas en un pH de 7. Después, las muestras se filtraron, determinándose las concentraciones finales en cada una de las soluciones,

mediante el uso del espectrofotómetro UV. Finalmente, el ensayo se realizó por triplicado.

3.6. Método de análisis de datos

Para analizar los datos obtenidos luego de la experimentación, se realizó la prueba de Shapiro Willk, ya que el número de tratamientos fue menor a 50. A continuación, se comprobó que los datos provienen de una distribución normal y se realizó su análisis con la estadística paramétrica (ANOVA, T de Student de muestras relacionadas).

Para la corroboración de las hipótesis específicas planteadas en la investigación, al ser un diseño factorial 2³, se utilizó la prueba estadística ANOVA de diseño factorial con tres factores, la cual fue evaluada mediante el software InfoStat 2017. La prueba estadística permite evaluar si los factores influyen en la variable dependiente. A continuación, se verificó que, en efecto, los factores considerados en la investigación, influyen en la variable respuesta remoción de cromo hexavalente.

Para poder comprobar la hipótesis general planteada en la investigación, se utilizó la prueba T de Student de muestras relacionadas, la cual fue evaluada en el software SPSS v.23, puesto que se desarrolló una investigación de tipo longitudinal, y se realizaron mediciones en dos momentos distintos (antes y después de los tratamientos). Finalmente, se comprobó la hipótesis general planteada sobre el porcentaje de la adsorción natural con quitosano que superó el 40 % del proceso.

3.7. Aspectos éticos

La investigación se realizó cumpliendo los criterios éticos y profesionales respecto al manejo de la información. Asimismo, la experimentación se realizó en un laboratorio acreditado, con el propósito de presentar la transparencia y veracidad de los resultados obtenidos.

IV.RESULTADOS

4.1. Descripción del quitosano

4.1.1. Dimensiones de la partícula

La partícula luego de ser tamizada obtuvo las siguientes dimensiones.

Tabla 1: *Tamaño de la partícula obtenida de quitosano*

Tamaño de partícula (um)
250
600

4.1.2. Grado de desacetilación

Para calcular el valor del grado de desacetilación del quitosano, se usó los valores de transmitancia en las longitudes de onda de 1320 cm^{-1} y 1420 cm^{-1} . Para realizar este proceso se utilizó un espectrofotómetro.

Tabla 2: *Longitud de onda y transmitancia*

(cm^{-1})	(%)
LONGITUD DE ONDA	TRANSMITANCIA
1320	0.75
1420	0.75

4.1.3. Rendimiento del quitosano

Este rendimiento fue determinado en porcentaje en peso, tomando la biomasa resultante del molido y proceso de tamizado.

$$\% \text{Rendimiento} = \text{mf} / \text{mi} \times 100$$

mf: masa final obtenida

mi: masa inicial

$$\% \text{Rendimiento} = 25,6 / 80 \times 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 32 \%$$

4.2. Curva de calibración

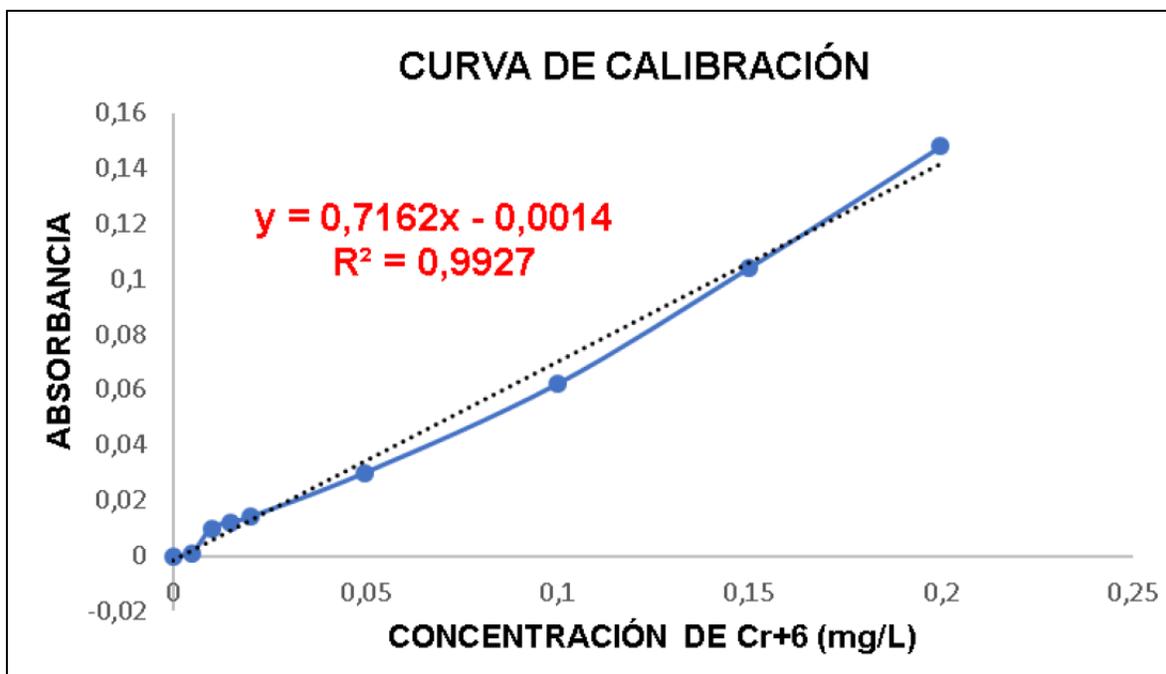


Figura 2: Ecuación de regresión para la elaboración de la curva de calibración

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Datos para la curva de calibración

mg/L	ABSORBANCIA
0	0
0.006	0.001
0.01	0.013
0.035	0.015
0.05	0.063
0.1	0.062
0.15	0.105
0.2	0.15

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3, se muestran los valores de absorbancia, los cuales variaron entre 0 y 0.15. Asimismo, las concentraciones usadas de cromo hexavalente variaron entre 0 y 0.2 mg/L.

Tabla 4: Coeficientes de correlación y determinación para la aplicación de la curva de calibración.

COEFICIENTES	
DETERMINACIÓN	0.995
CORRELACIÓN	0.9975

Fuente:
Elaboración propia

Para analizar y verificar la relación que existe entre las variables continuas, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson. En la tabla 4 se puede visualizar un valor de 0.9975. Es decir, la relación es directamente proporcional.

Tabla 5: *Diagnóstico inicial del efluente*

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODOS	RESULTADOS
pH	valor	APHA-AWWA-WEF (2005) método 4500 H B	3.75
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	microsiemens	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2510 B	1395.00
CROMO EXVALENTE	mg/L	APHA-AWWA-WEF (2012) método 3500-Cr B	3.40

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 5 los valores de los parámetros iniciales sobrepasan los valores máximo admisibles (VMA) establecidos en el D.S 001-2015 del MVCS, donde se menciona que el Cr (VI) no debe estar por encima de los 0.5 mg/L.

4.3. Eficiencia del proceso de adsorción natural con quitosano

Tabla 6: *Resultados de la adsorción natural con quitosano*

T	MASA DEL BIOADSORBENTE	TAMAÑO DE PARTÍCULA	CONCENTRACIÓN INICIAL DE Cr6+	CONCENTRACIÓN FINAL DE CR+6	EFICIENCIA
1	0.4	250	1.9	0.8657	53.80
2	0.4	250	3.97	2.0292	48.80
3	0.4	250	1.88	1.0053	46.30
4	0.4	250	3.4	2.1921	44.70
5	0.4	250	1.89	0.7261	61.20
6	0.4	250	3.99	1.6336	58.70
7	0.4	250	1.88	0.8424	55.00
8	0.4	250	3.96	1.8896	52.30

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6, se evidencian los resultados de los tratamientos en distintas condiciones. Interpretando el mejor resultado, se puede manifestar que para una concentración de 1.89 mg/L de Cr6+, se presenta un porcentaje de remoción del 61, 20 % y todo ello una masa del bioadsorbente de 0.4 g.

4.4. Parámetros fisicoquímicos del efluente tratado

Tabla 7: *Parámetros fisicoquímicos del efluente tratado*

T	MASA DEL BIOADSORBENTE	TAMAÑO DE PARTÍCULA	pH ÓPTIMO	pH RESULTANTE	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA INICIAL	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA FINAL
1	0.4	250	5	3.60	1395	943
2	0.4	250	5	3.40	1395	886
3	0.4	250	5	3.30	1395	914
4	0.4	250	5	3.30	1395	877
5	0.6	250	5	3.60	1395	865
6	0.6	250	5	3.50	1395	933
7	0.6	250	5	3.56	1395	878
8	0.6	250	5	3.30	1395	906

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se puede evidenciar que el pH óptimo, se redujo hasta un pH mínimo de 3.3 luego de la aplicación de los tratamientos con el quitosano. Asimismo, los valores de conductividad eléctrica indican que en efecto existe la presencia de otros tipos de sales.

4.5. Isotermas de biosorción para Cr6+

Tabla 8: *Datos de la isoterma de biosorción*

n	CONCENTRACIÓN INICIAL (mgCr6+/L)	CONCENTRACIÓN EN EL EQUILIBRIO (mgCr6+/L)
1	5	1.65885
2	25	9.3517
3	50	22.515
4	100	50.0893

Fuente: Elaboración propia

4.5.1. Cantidad de cromo hexavalente adsorbido por gramo de biosorbente

$$Q_{e1} = (C_i - C_e) * (V/m)$$

Cálculo para la primera muestra:

$$Q_{e1} = (5 - 1,6678) * (0,5/1)$$

$$Q_{e1} = 1.6506$$

Tabla 9: Cantidad de cromo hexavalente adsorbido por gramo de quitosano

n	C _i (mgCr ₆₊ /L)	C _o (mgCr ₆₊ /L)	Q _o (mg Cr ₆₊ /g quitosano)
1	5	1.6678	1.6506
2	25	9.3518	7.8299
3	50	21	14.06
4	100	50.0985	24.9583

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Isoterma de Langmuir

Para poder determinar la gráfica de la isoterma de Langmuir, se consideró la relación entre la concentración del metal en la fase sólida, en función de la concentración final en la fase sólida.

Cálculo para la 1era muestra:

$$C_{e1}/Q_{e1} = 1.6506/1.6678 = 0.9936$$

Tabla 10: Data para la determinación de Isoterma de Langmuir

n	Ce (mg/L)	Ce/qe(L/g biosorbente)
1	1.6679	0.9936
2	9.452	1.1956
3	21.232	1.5598
4	50.0922	2.0098

Fuente: Elaboración propia

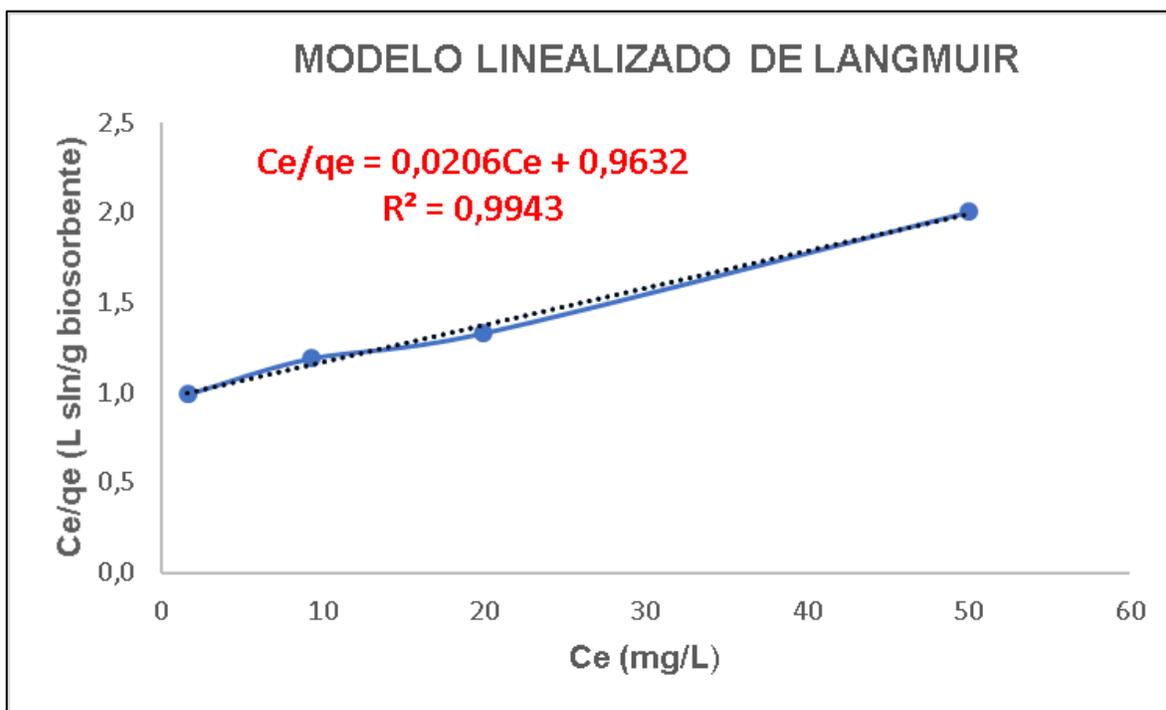


Figura 3: Modelo de Langmuir

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Isoterma de Freundlich

Para poder determinar la gráfica de la isoterma de Freundlich, se consideró calcular el logaritmo natural de la concentración en el equilibrio en la fase sólida $\ln(q_e)$, en función del logaritmo natural de la concentración en el equilibrio en fase líquida $\ln(C_e)$.

$$\ln(Ce1) = 0.506$$

$$\ln(qe1) = 0.516$$

Tabla 11: Data para la determinación de la isoterma de Freundlich

n	ln(q _o) (L sin/g biosorbente)	ln (C _o) (mg/L)
1	0.516	0.506
2	2.056	2.235
3	2.645	3.089
4	3.215	3.916

Fuente: Elaboración propia

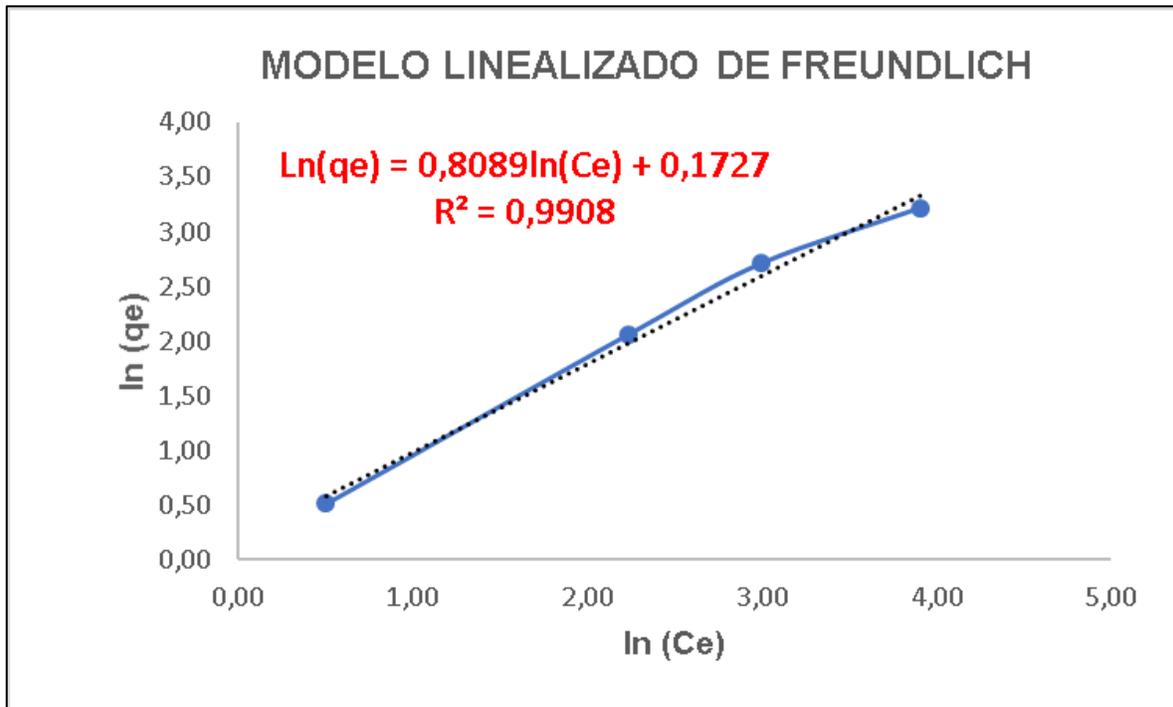


Figura 4: Modelo de Freundlich

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Resultados de las isotermas del cromo⁶⁺

MODELO DE EQUILIBRIO	RESULTADOS
Langmuir	$q_{m\acute{a}x} = 48,54 \frac{mg Cr^{+6}}{g \text{ quitosano}}$ $b = 0,0214 \frac{L}{mg Cr^{+6}}$ $R=0,997$
Freundlich	$nF=1,236$ $kF=1,189$ $R=0,995$

Fuente: Elaboración propia

4.6. Análisis estadístico

Prueba de normalidad

Tabla 13: Procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
concentración_final_cromo_hexavalente	24	100,0%	0	0,0%	24	100,0%

Tabla 14: Descriptivos

			Estadístico	Error estándar
concentración_final_cromo_	Media		1,3983	,12745
hexavalente	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	1,1347 1,6620	
	Media recortada al 5%		1,3798	
	Mediana		1,2800	
	Varianza		,390	
	Desviación estándar		,62436	
	Mínimo		,59	
	Máximo		2,54	
	Rango		1,95	
	Rango intercuartil		1,02	
	Asimetría		,368	,472
	Curtosis		-1,181	,918

Tabla 15: Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
concentración_final_cromo_hexavalente	,153	24	,150	,923	24	,070

Hipótesis de normalidad

Ho: La concentración final de cromo hexavalente sigue una distribución normal.

Ha: La concentración final de cromo hexavalente no sigue una distribución normal.

En la Tabla 22, se observa que el p-valor para el estadístico Shapiro-Wilk es mayor a 0,05. Por lo tanto, con un nivel de confianza del 95%, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula, que indica que la concentración final de cromo hexavalente sigue una distribución normal.

Prueba T de Student

Ho: No hay diferencia significativa en las medias de la concentración antes y después del tratamiento.

Ha: Hay una diferencia significativa en las medias de la concentración antes y después del tratamiento.

Tabla 16: *Análisis estadístico de muestras emparejadas*

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1 concentración_inicial_cromo_hexavalente	2,9150	24	1,06748	,21790
concentración_final_cromo_hexavalente	1,3983	24	,62436	,12745

Tabla 17: Prueba de muestras emparejadas

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
concentración inicial cromo hexavalente - concentración_final_cromo_hexavalente	1,51667	,60213	,12291	1,26241	1,77092	12,340	23	,000

ANOVA de diseño factorial 2³

FACTOR	NOMENCLATURA
Masa del bioadsorbente	A
Tamaño de partícula	B
Concentración de cromo hexavalente	C

Fuente: elaboración propia.

Variable	N	R ²	R ² aj	CV
concentración final de cro..	24	0,84	0,76	21,71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,49	7	1,07	11,62	<0,0001
masa del bioadsorbente	0,38	1	0,38	4,07	0,0608
tamaño de partícula	0,17	1	0,17	1,85	0,1932
masa del bioadsorbente*tam..	2,0E-03	1	2,0E-03	0,02	0,8842
concentración de cromo hex..	6,87	1	6,87	74,55	<0,0001
masa del bioadsorbente*con..	0,06	1	0,06	0,65	0,4315
tamaño de partícula*concen..	0,01	1	0,01	0,11	0,7411
masa del bioadsorbente*tam..	4,8E-03	1	4,8E-03	0,05	0,8220
Error	1,47	16	0,09		
Total	8,97	23			

Figura 5: Análisis de varianza

Hipótesis de varianza

Hipótesis de los factores

Ho: Los efectos de los tratamientos de los factores no influyen en la remoción de cromo hexavalente.

Ha: Los efectos de los tratamientos de los factores influyen en la remoción de cromo hexavalente.

Hipótesis de las interacciones dobles

Ho: Los efectos de los tratamientos de las interacciones dobles de los factores no influyen en la remoción de cromo hexavalente.

Ha: Los efectos de los tratamientos de las interacciones dobles de los factores influyen en la remoción de cromo hexavalente.

Hipótesis de la interacción triple

Ho: Los efectos de los tratamientos de la interacción triple de los factores no influyen en la remoción de cromo hexavalente.

Ha: Los efectos de los tratamientos de la interacción triple de los factores influyen en la remoción de cromo hexavalente.

La Figura 12, descompone la variabilidad de la remoción de cromo hexavalente, debido a varios factores. El efecto de cada factor, se mide eliminando los efectos de los demás. Los valores P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores y de sus interacciones.

Los factores: masa de bioadsorbente (A) y tamaño de partícula (B), presentaron un p-valor mayor a 0,05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, indicando que los efectos de los tratamientos de los factores A y B, influyen en la remoción de cromo hexavalente con un nivel de confianza del 95%.

En el caso de las interacciones de los factores AB, BC y AC, se tienen un p-valor mayor a 0,05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, indicando que los efectos de los tratamientos de las interacciones dobles de los factores, influyen en la remoción de cromo hexavalente.

V. DISCUSIÓN

Los antecedentes analizados, compartían un objetivo importante que era la remoción de ciertos elementos que contribuían a aumentar la contaminación de los ecosistemas acuáticos, mediante el vertido de cualquier tipo de agua residual en cuerpos de agua. Es por ello que, los investigadores desarrollaron diversos estudios para experimentar con ciertos compuestos, especialmente de origen natural, para ayudar a remover y reducir la concentración de los contaminantes.

En ese sentido, se comparte lo expuesto por Berrocal (2019), quien también utilizó el quitosano como un compuesto capaz de remover metales pesados (Pb), obtuvo como resultado un porcentaje de remoción de 50,97% y usando 2.37 mg/g de quitosano. Si bien es cierto el estudio anterior no removi6 el cromo hexavalente, porque no era parte de sus objetivos científicos, si utiliz6 el quitosano, y eso refuerza nuestra investigación.

Sin embargo, la investigación desarrollada por Ramos (2017), present6 como uno de sus objetivos la remoción del cromo hexavalente, y también utiliz6 el quitosano. Obtuvo un porcentaje de remoción de 61, 17% el cual se asemeja mucho al determinado en la presente investigación (61.20%). Es decir, bajo las mismas condiciones, se afirma que la investigación de Ramos concuerda y potencializa los resultados obtenidos.

Por otra parte, ciertos autores utilizaron otros compuestos diferentes al quitosano. Por ejemplo, Chang-Hua, Lei y Wen-Sheng (2017), usaron la cáscara de soja y lo modificaron con dendrímero de poliamidina para preparar un material adsorbente para remover compuestos orgánicos. Como se puede evidenciar la remoción no solo está destinada a metales pesados, sino también a compuestos de origen orgánico. Es decir, el trabajo antes mencionado, difiere en el compuesto utilizado para la adsorción natural y en el compuesto removido. Sin embargo, el objetivo conceptual en común, es la remoción de elementos que alteren la calidad de agua en los ecosistemas hídricos.

Asimismo, Taquez y Vargas (2018) usaron el quitosano en la remoción de turbidez, sólidos disueltos, DQO y DBO5. Como se puede evidenciar los elementos removidos son distintos a los analizados en la presente investigación. Mientras que Cercedo (2018) usó el quitosano para la remoción del cobre (Cu) donde comprobó que la dosis óptima de remoción es de 0.1 gramos de quitosano (biomasa usada) por cada 10 minutos de contacto. Dicho resultado difiere con la presente investigación, ya que para la remoción del cromo hexavalente se necesitó 0.4 gramos de biomasa (quitosano).

Respecto a la obtención del quitosano, se comparte en gran medida lo desarrollado por Kumari et al. (2016), ya que las conchas de camarón son una gran fuente de materia prima para la obtención del quitosano. Y los procesos para su producción final son la desmineralización, desproteización y la desacetilación, los cuales también fueron aplicados en la presente investigación.

VI. CONCLUSIONES

Se analizó la influencia de los factores fisicoquímicos del proceso de adsorción natural con quitosano en la remoción del cromo hexavalente. Se determinó que el pH, La conductividad eléctrica y el uso de las isothermas son los principales parámetros que influyen en la adsorción natural.

Se cuantificó la cantidad de reducción de la concentración del cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre. El valor más eficiente de cantidad reducida fue de 1.1639 mg/L

Se identificó las diferencias de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre antes y después del tratamiento con adsorbente natural con quitosano. Inicialmente el pH tuvo un valor de 3.75, la conductividad eléctrica un valor de 1395 microsiemens y la concentración del cromo hexavalente era de 3.4 mg/L. Posterior al tratamiento, el pH alcanzó un valor resultante promedio de 3.45 y la conductividad eléctrica un valor de 900.25 microsiemens.

Se determinó el porcentaje de adsorción natural con quitosano para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre. De todos los valores analizados, se determinó que con 0.4 gramos de biomasa y una concentración inicial de 1.89 mg/L de Cromo hexavalente se obtuvo un porcentaje de remoción de 61.20%.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda desarrollar y replicar este tipo de investigaciones ya que son una alternativa para enfrentar los problemas de contaminación en fuentes hídricas, específicamente los causados por los metales pesados.

Realizar estudios que incorporen la influencia de otros parámetros y/o variables que puedan influir positivamente en el proceso de adsorción natural.

Se recomienda replicar este trabajo en otros tipos de efluentes, con la finalidad de evidenciar si la eficiencia es igual en cualquier tipo de agua residual.

REFERENCIAS

PRADANA, Juan, GALLEGO, Javier, GARCÍA, Carlos, BRAVO, Juan, ASUNCIÓN, GARCÍA, María y PANIAGUA, Gema. 2019. CRITERIOS DE CALIDAD Y GESTIÓN DEL AGUA POTABLE. Editorial UNED. ISBN 978-84-362-7491-2.

ARCILA, Hildebrando Ramírez y PERALTA, Jhoan Jaramillo, 2015. Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. Revista Facultad de Ciencias Básicas. 2015. Vol. 11, no. 2, p. 136-153. DOI 10.18359/rfcb.1303.

BUDI PRASETYA, Dwi Sabda, AHMADI, PANGGA, Dwi, NUGRAHENI, Ari Dwi, HARSOJO, FEBRILIA, Bq. Rika Ayu y SUPRIYANTO, Edy, 2020. Applied Regression Analysis on Study of Biosorption Process of Gold Using Nanofiber Chitosan/PVA. Materials Science Forum. marzo 2020. Vol. 981, p. 234-239. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.981.234.

CADEZA-ESPINOSA, Marisol, BRAMBILA-PAZ, J. de Jesús, CHALITA-TOVAR, L. Eduardo, GONZÁLEZ-ESTRADA, Adrián, CADEZA-ESPINOSA, Marisol, BRAMBILA-PAZ, J. de Jesús, CHALITA-TOVAR, L. Eduardo y GONZÁLEZ-ESTRADA, Adrián, 2017. Evaluación financiera con la metodología de opciones reales de una inversión para producir quitosano con base en desperdicio de camarón. Agricultura, sociedad y desarrollo. diciembre 2017. Vol. 14, no. 4, p. 533-545.

CAJAS, Cercedo y LUCÍA, Donny, 2018. "Uso del quitosano comercial y el obtenido de pluma de pota (*Dosidicus gigas*) para la adsorción de cobre (Cu) en aguas contaminadas de la Cuenca Baja del Río Chillón a nivel laboratorio, Lima 2018". Universidad César Vallejo [en línea]. 2018. [Accedido 21 mayo 2021]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/18460>

CCALLASACA, Berrocal y IGNASIO, Juan, 2019. Adsorción de iones de plomo empleando quitosano para el tratamiento de aguas contaminadas de la cuenca baja del Río Chillón. [en línea]. 2019. [Accedido 21 mayo 2021]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.untels.edu.pe//handle/123456789/128>

CEDENO, Alava y MANUEL, Juan, 2015. Obtención y caracterización de quitosano de bajo peso molecular a partir del exoesqueleto de camarón (*litopenaeus vannamei*) y su aplicación en las aguas residuales provenientes de la trampa de grasa de la estación de servicio uniser s.a [en línea]. Tesis. RAMON CEVALLOS. [Accedido 21 mayo 2021].

Recuperado a partir de: <https://repositorio.utm.edu.ec/handle/123456789/220>

CHÁVEZ PORRAS, Álvaro, 2010. Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. julio 2010. Vol. 9, no. 17, p. 41-49.

Fixed-Bed Column Adsorption Studies of Lead (II) From Aqueous Solution Using Chitosan -G-Maleic Anhydride-G-Methacrylic Acid copolymer, 2020. Journal of Science and Technology. No. Volume 5, p. 316-334. DOI 10.46243/jst.2020.v5.i4.pp316-334.

GÓMEZ, Oscar Rafael Tinoco, sin fecha. Obtención de biopolímeros como adsorbentes de colorantes de los efluentes textiles a partir de cáscaras de crustáceos y plumas de pollo.

HERNÁNDEZ, Roberto; MENDOZA, Christian. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México. McGrawHill, 2018.

KUMARI, S., RATH, P., KUMAR, A. Sri Hari y TIWARI, T. N., 2016. Removal of hexavalent chromium using chitosan prepared from shrimp shells. *African Journal of Biotechnology*. 29 marzo 2016. Vol. 15, no. 3, p. 50-54. DOI 10.4314/ajb.v15i3.

LAVANYA, R., GOMATHI, T., VIJAYALAKSHMI, K., SARANYA, M., SUDHA, P. N. y ANIL, Sukumaran, 2017. Adsorptive removal of copper (II) and lead (II) using chitosan-g-maleic anhydride-g-methacrylic acid copolymer. *International Journal of Biological Macromolecules*. 1 noviembre 2017. Vol. 104, p. 1495-1508. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2017.04.116.

MARTÍNEZ, Rodríguez y LORENA, Mayra, 2011. Adsorción de metales pesados mediante biocompositos con base en quitina de diferentes grados de acetilación. [en línea]. enero 2011. [Accedido 21 mayo 2021]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.ipicyt.edu.mx///handle/11627/2959>

ÑAUPAS, Humberto, *et al.* Metodología de la investigación. 5ta edición. Bogotá: Ediciones de la U, 2018. 558 pp.
ISBN: 978-958-762-876-0

ORTEGA, Buitrón y ESTEFANÍA, Diana, 2015. Biosorción de cromo y níquel en aguas contaminadas usando quitosano. [en línea]. 2015. [Accedido 21 mayo 2021]. Recuperado a partir de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/5639>

RAY, Priyasha, sin fecha. SEQUENTIAL BATCH CONTACTORS FOR REMOVAL OF CHROMIUM(VI) FROM WASTEWATER USING SHEEP'S WOOL. . P. 71.

RAY, Priyasha, 2017. Sequential batch contactors for removal of chromium (VI) from wastewater using sheep's wool [en línea]. Thesis. [Accedido 20 marzo 2021]. Recuperado a partir de: <https://dspace.aus.edu:8443/xmlui/handle/11073/8908>

ROMERO-SEVILLA, M.L., SÁNCHEZ-CUADRA, S.M. y BENAVENTE, Martha, 2018. Aplicación de quitosano modificado en el tratamiento de aguas residuales de tenerías. Nexo Revista Científica. 11 diciembre 2018. Vol. 31, p. 104. DOI 10.5377/nexo.v31i2.6834.

SICHA, Ramos y LUIS, José, 2017. Bioadsorción con quitosano para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre en Huachipa, 2017. Universidad César Vallejo [en línea]. 2017. [Accedido 21 mayo 2021]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/18933>

VARGAS TORRES, Gina Fernanda y TAQUEZ BUENO, Luz Ayda, 2018. Obtención y evaluación del Quitosano a nivel laboratorio para la depuración de aguas residuales industriales provenientes de un laboratorio cosmético. [en línea]. 18 mayo 2018. [Accedido 21 mayo 2021]. Recuperado a partir de: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/18323>

ZHANG, Chang-hua, LI, Lei y FANG, Wen-sheng, 2017. Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics Studies on the Bisorption of Textile Dyes onto Polyamidoamine Dendrimer Functionalized Soy Hull. DEStech Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences [en línea]. 2017. Vol. 0, no. gmee. [Accedido 20 marzo 2021]. DOI 10.12783/dteees/gmee2017/16609. Recuperado a partir de: <https://www.dpi-proceedings.com/index.php/dteees/article/view/16609>

ANEXOS

ANEXO I: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Proceso de Adsorción Natural con Quitosano para la Remoción de Cromo Hexavalente en Aguas Residuales de Curtiembre del segundo tramo del río Huaycoloro, Lima - 2021.					
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIONES
Adsorción natural con quisotano	Este bioadsorbente es un poli electrólito catiónico que muestra una gran eficiencia de remoción de cromo VI y que cuenta con las bondades de ser inocuo para la salud humana y es biodegradable (Romero <i>et al.</i> , 2018, p. 105)	La adsorción natural del quitosano se midió en base a los factores que físico-químicos que influyen en el proceso de captura del cromo (VI) en diferentes condiciones desarrollando la prueba de jarras.	Factores físico-químicos	Masa de adsorbente natural	Gramos (gr.)
				Tamaño de partícula	Micrómetros (um)
				Concentración de cromo (VI)	mg/l
				pH óptimo	Ácido, neutro, básico
Remoción de cromo hexavalente	Proceso por el que se elimina el Cromo (VI) debido a que se encuentran entre los más tóxicos desde el punto de vista ambiental, produciendo efectos carcinógenos y mutagénicos (Pradana <i>et al.</i> , 2019, p. 258)	La concentración del Cr (VI) se midió antes y después de los tratamientos con el quitosano, mediante el espectrofotómetro UV. Se determinaron los parámetros físicoquímicos del efluente tratado en cada uno de los tratamientos.	Reducción del Cromo (VI)	Concentración inicial de Cr (VI)	mg/l
				Concentración final de Cr (VI)	mg/l