

5.4%

Fecha: 2023-12-08 16:40 UTC

*Todas las fuentes 15 | Fuentes de internet 14 | Documentos propios 1

<input checked="" type="checkbox"/>	[0]	tauniversity.org/sites/default/files/tesis_jhonny_palmero.pdf	1.5%	14 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[1]	usil.edu.pe/sites/default/files/2022-05/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf	1.2%	11 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[2]	"INFORME DE TESIS-Segundo Franklin Gutti Jaray Edy Fernando Arteaga Gomez SR.pdf" fechadodel 2023-12-07	1.1%	6 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[3]	cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1970596/Resoluci3nN%654-2014-OEFA/DFSAl.pdf	0.8%	6 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[4]	www.minem.gob.pe/minem/archivos/4_PADdelaC_H_deHuancaray_compressed.pdf	0.7%	5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[5]	www.susana.org/_resources/documents/default/2-1235-giz2011-technology-review-constructed-wetlands-in-spanish.pdf	0.5%	5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[6]	dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6018633.pdf	0.5%	7 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[7]	core.ac.uk/download/pdf/61909431.pdf	0.4%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[8]	www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/mejorar-el-tratamiento-de-aguas-residuales-es-crucial-para-la	0.4%	5 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[9]	1library.co/article/humedales-flujo-subsuperficial-capitulo-sistemas-humedales-artificiales-depura.qol5l95q	0.3%	4 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[10]	alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPAG_Ob77917251c04af65317eed91ec61690/Details	0.4%	2 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[11]	context.reverso.net/traduccion/espanol-ingles/estructurasimilaraunajaula	0.2%	1 resultado
<input checked="" type="checkbox"/>	[12]	www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs_00_023.pdf	0.2%	3 resultados
<input checked="" type="checkbox"/>	[13]	www.academia.edu/13504162/FACULTAD_DE_INGENIERIA_CARRERA_PROFESIONAL_DE_INGENIERIA_INDUSTRIAL_TEMA	0.1%	1 resultado
<input checked="" type="checkbox"/>	[14]	www.decofac.com/es/products-detail-1629810	0.1%	1 resultado
		1 documento con coincidencias exactas		

53 páginas, 8501 palabras

Nivel del plagio: 5.4% seleccionado / 5.4% total

42 resultados de 16 fuentes, de los 15 fuentes son en línea.

Configuración

Directiva de datos: Comparar fuentes de internet, Comparar documentos propios

Sensibilidad: Media

Bibliografía: Considerar Texto

Detección de citas: Reducir Plag Level

Listablanca: --

^[2] **UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**



Facultad de Ingeniería

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de riesgos

TESIS

**EFECTO DE LA ZEOLITA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO
HEXAVALENTE EN AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL, CAJAMARCA**

2023

Br:

Mendoza Cotrina Leslye Araceli

Vásquez Villanueva Roberto Carlos

Asesor:

^[2] **Dr. Persi Vera Zelada**

Cajamarca-Perú

2023

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**EFFECTO DE LA ZEOLITA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO
HEXAVALENTE EN AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL, CAJAMARCA**

2023

**Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el Título Profesional
de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos**

Bach.

Mendoza Cotrina Leslye Araceli

Vásquez Villanueva Roberto Carlos

Asesor:

Dr. ^[2]Vera Zelada Persi

Cajamarca - Perú

2023

COPYRIGHT © 2023 by

(Nombre del Bachiller)

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE
RIESGOS**

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL

**EFFECTO DE LA ZEOLITA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO
HEXAVALENTE EN AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL, CAJAMARCA**

2023

Presidente: Dr. Miguel Ángel Arango Llantoy

Secretario: Mag. Alcides Aurelio Martos Días

Vocal: Dr. Persi Vera Zelada

Asesor: Dr. Persi Vera Zelada

A: Dios por cada día que nos brindó buena salud para salir adelante, a nuestros padres, a mi hijita y más familiares quien nos dio las fuerzas y aliento para lograr una meta más en nuestras vidas, a nuestros maestros por guiarnos.

AGRADECIMIENTO

A Dios por cada día que nos brinda y quien me guía para lograr cada meta propuesta, a mis padres quienes con sus esfuerzo pudieron brindarme la educación, gracias por tanta paciencia ,amor y apoyo incondicional, a mi hijita quien me dio fuerzas para salir adelante , a mis familiares quienes estuvieron contentamente pendientes de cada paso en mi vida .

A si mismo expresar mi agradecimiento al DR. Persi Vera Zelada por su apoyo en el trascurso de este proyecto, a la Universidad Antonio Guillermo Antonio por haber permitido mi formación.^[6]▶

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es “determinar los efectos de la zeolita sobre la concentración de Cromo hexavalente (Cr^{+6}) en agua residual industrial”, Cajamarca 2022.

De acuerdo con la metodología establecida, el presente estudio se enmarca en un enfoque experimental con un diseño transversal, ya que implica la manipulación intencionada de la variable independiente y la observación de los efectos en una muestra tomada en un momento específico. En este contexto, se llevará a cabo un trabajo experimental que involucra diversas concentraciones de zeolita con el propósito de evaluar su impacto en la concentración de Cr^{+6} y determinar su eficacia, considerando los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (D. S. N° 001-2015-VIVIENDA).

Las pruebas experimentales del tratamiento del agua se realizaron con tres diferentes filtros que contenían 50 g, 100 g y 200 g de zeolita; luego del tratamiento se determinó que las concentraciones de Cr^{+6} fueron de 2.9930 mg/L, 2.0962 mg/L y 1.3262 mg/L respectivamente a cada filtro, partiendo de un agua que contenía 3.175 mg/L de Cr^{+6} . En base a dichos resultados de laboratorio se hizo el análisis estadístico haciendo uso del ANOVA y según esto se ha establecido que el valor de F_0 es mayor que el valor crítico $F_{\alpha, k-1, N-k}$ (109.149825 - 4.26), lo que conduce al rechazo de la hipótesis nula H_0 .

Palabras clave: agua residual, cromo hexavalente, zeolita.

ABSTRACT

The main objective of this research is “to determine the effects of zeolite on the concentration of hexavalent chromium (Cr+6) in industrial wastewater”, Cajamarca 2022.

In accordance with the established methodology, the present study is framed in an experimental approach with a cross-sectional design, since it involves the intentional manipulation of the independent variable and the observation of the effects in a sample taken at a specific time. In this context, an experimental work will be carried out that involves various concentrations of zeolite with the purpose of evaluating its impact on the Cr+6 concentration and determining its effectiveness, considering the Maximum Allowable Values (MAV) for wastewater discharges. non-domestic in the sanitary sewage system (D. S. N° 001-2015-VIVIENDA).

The experimental water treatment tests were carried out with three different filters containing 50 g, 100 g and 200 g of zeolite; After treatment, it was determined that the concentrations of Cr+6 were 2.9930 mg/L, 2.0962 mg/L and 1.3262 mg/L respectively for each filter, starting from water that contained 3.175 mg/L of Cr+6. Based on these laboratory results, the statistical analysis was carried out using ANOVA and according to this it has been established that the value of F0 is greater than the critical value $F_{\alpha, k-1, N-k}$ (109.149825 4.26), which leads to the rejection of the null hypothesis H0.

Key words: wastewater, hexavalent chromium, zeolite.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	16
OBJETIVO GENERAL.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	16
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	19
2.2. BASES TEÓRICAS.....	23
2.2.1. Filtros de zeolita.....	23
2.2.2. El cromo.....	24
2.2.3. ^[0] Tratamiento de las aguas residuales.....	29
2.2.4. Decreto supremo N° 001-2015-VIVIENDA.....	30
2.2.5. ^[4] Estándares de calidad ambiental (ECAS).....	31
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	31
2.4. HIPÓTESIS.....	31
2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	32
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.1. UNIDAD DE ANÁLISIS, UNIVERSO Y MUESTRA.....	33
3.1.1. Unidad de Análisis.....	33

	10
3.1.2. Universo.....	33
3.1.3. Muestra.....	33
3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.3. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.4. MATERIALES Y REACTIVOS.....	35
3.5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	36
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	37
4.1. PARÁMETRO: CROMO HEXAVALENTE.....	37
4.2. DISCUSIÓN:.....	46
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
CONCLUSIONES:.....	49
RECOMENDACIONES:.....	49
REFERENCIAS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	31
TABLA 2 CONCENTRACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO.....	37
TABLA 3 RESULTADO DEL PROCESAMIENTO DE DATOS.....	39
TABLA 4 DESCRIPTIVOS ESTADÍSTICOS.....	39
TABLA 5 PRUEBA DE NORMALIDAD.....	40
TABLA 6 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS Y RÉPLICAS.....	42
TABLA 7 TABLA ANOVA.....	43
TABLA 8 DIFERENCIAS ENTRE PARES DE MUESTRAS.....	44

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

Las actividades que incluyen agua producen aguas residuales. La cantidad de aguas residuales producidas y la carga total de contaminantes de esas aguas aumentan constantemente en todo el mundo a medida que aumenta la demanda total de agua [CITATION WWA17 \l 10250].

La gran parte de las aguas residuales son descargadas directamente al entorno en la mayoría de las naciones, salvo en las más avanzadas, ocasionando impactos negativos en la salud humana, la productividad económica, la calidad de los recursos hídricos y los ecosistemas. [CITATION WWA17 \l 10250].

Aunque mientras el agua sobrante es una parte esencial del ciclo de gestión del agua, con demasiada frecuencia se la considera una sobrante que debe eliminarse o una molestia que puede ignorarse una vez que se ha utilizado. El agua residual es una parte esencial de la gestión del agua, con demasiada frecuencia se la ve como una carga que debe abandonarse. Los efectos de esta negligencia ahora se ven claramente. ya que el deterioro de los ecosistemas acuáticos y las enfermedades propagadas por el suministro de agua dulce contaminada tienen efectos significativos en el bienestar de la comunidad y los sistemas de sustento humano. ^[0] **Continúa la falta de tratamiento del agua sobrante como un problema importante desde el punto de vista social y ambiental.** [CITATION WWA17 \l 10250].

El cromo hexavalente es un tipo de cromo que se usa en muchas industrias pero que puede ser dañino tanto para los seres humanos como para

el ambiente y seres humanos. Si se encuentra en el agua sobrante, puede plantear representar un riesgo tanto para la salud un riesgo como para la salud pública como para el ambiente.

Varias tecnologías de tratamiento que se pueden utilizar para tratar el agua residual que contiene cromo hexavalente, incluida la oxidación química, la reducción química y la adsorción.

El proceso de oxidación química implica el uso de oxidantes químicos como el peróxido de hidrógeno o el permanganato de potasio para cambiar la forma hexavalente del cromo a la forma trivalente, que es menos tóxica. La reducción implica usar productos reductores para cambiar el cromo hexavalente en cromo trivalente, como el bisulfito de sodio o el sulfato de hierro para cambiar cromo hexavalente en cromo trivalente. El proceso de adsorción implica el uso de sustancias que pueden absorber el cromo hexavalente, como los carbohidratos activados o las resinas de intercambio iónico [CITATION Lip01 \l 10250].

Recuerde que la elección de la tecnología de tratamiento adecuada estuvo influenciada por una serie de variables, incluida la cantidad de cromo hexavalente residual en el agua, el volumen de agua a tratar y la calidad del agua necesaria después del tratamiento, y usando cualquier tecnología de tratamiento, también es necesario asegurarse de que se cumplan todos los requisitos legales y reglamentarios [CITATION Ram02 \l 10250].

El cromo hexavalente es una forma de cromo altamente tóxico que se utiliza en diversas industrias, como la metalúrgica, la galvanoplastia y la producción de pigmentos. Esta sustancia puede ser liberada al ambiente, incluyendo al agua, a través de las descargas de efluentes industriales [CITATION Mon05 \l 10250]

El cromo es particularmente peligroso en el agua porque puede disolverse fácilmente y ser absorbido por organismos acuáticos como peces y otros animales marinos, lo que podría tener efectos negativos en la cadena alimentaria y, eventualmente, en los seres humanos que consumen estos productos marinos. El cromo hexavalente tiene el potencial de contaminar las fuentes de agua potable, lo que podría tener serias manifestaciones para la salud pública.

Entre los efectos negativos del cromo hexavalente en la salud humana se encuentran el cáncer de pulmón, la irritación de la piel y las vías respiratorias, y el daño al hígado, riñones y sistema nervioso. Por lo tanto, es crucial controlar y minimizar la liberación de cromo hexavalente al medio ambiente y asegurarse de que el agua potable esté libre de esta sustancia tóxica.

^[1]▶ Para prevenir la contaminación del agua por el cromo hexavalente, es necesario que las empresas que utilicen esta sustancia en sus procesos productivos implementen medidas adecuadas de tratamiento de sus efluentes.

^[0]▶ Estas medidas pueden incluir la implementación de tecnologías de

tratamiento avanzado, como la oxidación química, la reducción química y la adsorción, que pueden reducir la cantidad de cromo hexavalente presente en el agua residual.

Además, es importante que las autoridades reguladoras establezcan los límites máximos permitidos para la descarga de cromo hexavalente en los efluentes industriales y que realicen un monitoreo regular para garantizar que se cumplan estos límites. También es necesario concientizar a la población sobre los riesgos del cromo hexavalente en el agua y pueden protegerse de su exposición, por ejemplo, impidiendo el consumo de peces y mariscos de áreas abundantemente contaminadas y utilizando filtros de agua adecuados para el hogar.

^[0]▶ Por lo antes expuesto la cual en la presente investigación se busca ser una alternativa de tratamiento eficiente para el tratamiento del agua residual industrial con concentraciones altas de cromo hexavalente, como sería el caso con la zeolita.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la zeolita sobre la concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial, Cajamarca 2023?

1.3. Objetivos

Objetivo general

Determinar el efecto de la zeolita sobre la concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial, Cajamarca 2023.

Objetivos específicos

- Detectar la concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial, Cajamarca 2023, antes del tratamiento con la zeolita.
- Detectar la concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial, Cajamarca 2023, después del tratamiento con la zeolita.
- Comparar y analizar los resultados obtenidos del tratamiento con la zeolita sobre la concentración de cromo hexavalente con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en el D.S. N° 001-2015-VIVIENDA.

1.4. ^[4]Justificación

La presente investigación científica sobre el tratamiento del cromo hexavalente en agua residual industrial es fundamental para avanzar en el desarrollo de tecnologías de tratamiento más eficaces y sostenibles, y para garantizar la protección del ambiente y la salud pública.

A pesar de los avances tecnológicos en la eliminación del cromo hexavalente en agua residual, todavía existen desafíos importantes que deben ser abordados. Por ejemplo, algunos métodos de tratamiento pueden generar subproductos tóxicos, y otros pueden ser costosos y no viables para aplicaciones a gran escala [CITATION WWA17 \l 10250].

Por lo tanto, es necesario realizar investigaciones para desarrollar nuevas tecnologías de tratamiento más eficaces y sostenibles, así como mejorar las tecnologías existentes. Estas investigaciones pueden incluir el desarrollo de nuevos materiales adsorbentes, el uso de tratamientos combinados que aprovechen las fortalezas de diferentes tecnologías, o la optimización de los procesos de tratamiento para maximizar la eliminación del cromo hexavalente y minimizar la producción de subproductos tóxicos (Chigor, et al., 2012).

Además, la presente investigación científica puede contribuir a mejorar la comprensión de los mecanismos de interacción del cromo hexavalente con diferentes materiales y sustancias químicas, lo que puede ayudar a optimizar los procesos de tratamiento ya predecir la eficacia y los posibles efectos secundarios de diferentes tratamientos [CITATION Sta12 \l 10250].

La presente investigación también puede contribuir a mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad de los procesos de tratamiento, por ejemplo, mediante el desarrollo de procesos de recuperación de energía o la integración de tecnologías de tratamiento con sistemas de generación de energía renovable. [CITATION Bac10 \l 10250]

En las naciones con altos ingresos, el impulso para el tratamiento avanzado de las aguas residuales radica en la preservación de la calidad ambiental y en la provisión de una fuente alternativa de agua para

contrarrestar la escasez hídrica. A pesar de ello, la descarga de aguas residuales sin tratar continúa siendo común, especialmente en países en desarrollo, debido a la falta de infraestructura, capacidad técnica e institucional, así como de recursos financieros. [CITATION WWA17\l 10250].

El estudio actual sobre la eliminación de cromo hexavalente en aguas residuales industriales es esencial para el avance en el desarrollo de tecnologías más eficientes y sostenibles, así como para asegurar la preservación del entorno natural y la salud pública. Este análisis puede aportar mejoras a los procedimientos de tratamiento existentes, la creación de nuevas tecnologías y una mayor comprensión de los mecanismos de interacción del cromo hexavalente con diversos materiales y compuestos químicos, como la zeolita, con el fin de cumplir con los requisitos establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM, categoría 3.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. Fundamentos teóricos de la investigación

2.1. Antecedentes teóricos

Stefanakis & Tsihrintzis (2012), en su investigación, se construyeron y pusieron en uso numerosos filtros de contaminación severa que incluyen zeolita, bauxita y material carbonatado durante tres años para proporcionar un método adicional para tratar el efluente de un flujo-humedal vertical a escala piloto. Los resultados demostraron una mejora significativa en la calidad del efluente VFCW sobre un período de residencia de un día.

La bauxita fue más más eficaz en la retención de fósforo que la zeolita en el proceso de eliminación de nitrógeno y materia orgánica. De todos los materiales usados en los filtros, la eficiencia del material de carbonato fue la más baja, el filtro que incluía una mezcla de 50 a 50 % de zeolita y bauxita demostró la mayor eficacia en la eliminación de contaminantes. El aumento en el período de residencia de 2 días no mostró un aumento estadísticamente significativo en las tasas de expulsión (Stefanakis & Tsihrintzis, 2012). La temperatura no afectó significativamente el rendimiento de los filtros, con la excepción de la eliminación de fósforo.

Stefanakis & Tsihrintzis (2009), evaluaron el desempeño de dos humedales a escala piloto con flujos horizontales subsuperficiales que fueron seguidos en sucesión por filtros naturales de zeolita para proporcionar un tratamiento adicional de efluentes, los dos humedales

construidos operaron por primera vez durante dos años sin filtros de zeolita (período A). Luego de la adición de los dos filtros de zeolita (clinoptilolita de gránulos finos y gruesos), los sistemas operaron por un año adicional (período B), de gránulos finos y gruesos, los sistemas operaron por un año adicional (período B).

El menos constante a lo largo del período B, pero las tasas de eliminación más altas solo se lograron a altas temperaturas. Se agregaron los zeolitafiltros, y esto mejoró significativamente la salida humedal y esto mejoró significativamente la producción humedal. ^[0] El 90 % de la materia orgánica afluyente, el 85 % del nitrógeno y el 70 % del ozono fueron eliminados por el sistema combinado de filtro y humedal, mientras que el filtro de grano fino de zeolita demostró ser más efectivo en el caso de la eliminación de materia orgánica, nitrógeno y el filtro de grano grueso en el proceso de retención de ozono (Stefanakis & Tsihrintzis, 2009).

Stefanakis, Akrotos, Gikas, & Tsihrintzis (2009), evaluaron el tratamiento adicional para el efluente de dos humedales subsuperficiales horizontales a escala piloto, se logró determinar el comportamiento de las zeolitas naturales. Los dos humedales construidos operaron por primera vez durante dos años sin filtros de zeolita (período A). Posteriormente, se agregaron los filtros de zeolita (clinoptilolita de gránulos finos y gruesos), a la salida de cada unidad humedal, y los dos sistemas operaron por un año adicional (período B), y gránulos gruesos; ^[5] se agregaron a la salida de cada unidad humedal, y los dos sistemas operaron por un año adicional (período

B), dos humedales construidos demostraron un desempeño en la remoción de materia orgánica y nitrógeno y fósforo comparable al del Período A durante el Período B.

Los dos filtros de zeolita eliminaron el 60,6% y el 63,2% del efluente del humedal DBO₅ y el 52,5% y el 62,0% del efluente del humedal DQO, respectivamente. Las tasas de eliminación de contaminantes nitrogenados fueron más altas, alcanzando el 75,1% y el 83,2% para TKN y el 78,3% y el 85,8% para NH₄-N. Las eliminaciones medias de ortofosfato afluente en los dos filtros de zeolita fueron del 56,4% y el 39,2%, mientras que las eliminaciones medias de fósforo total fueron del 56,8% y el 40,5% [CITATION Ste09 \l 10250].

Los dos periodos de trabajo (con y sin filtros de zeolita presentes), revelaron que la adición de los dos filtros de zeolita mejoró significativamente la calidad del efluente de los dos humedales construidos al remover cerca del 95% de materia orgánica , 80% de nitrógeno y 70 % de fósforo de las aguas residuales aplicadas a los sistemas. El rendimiento de los filtros de zeolita filtros apareció ser bastante variable durante el transcurso de su operación; sin embargo, se observaron tasas de eliminación más altas a temperaturas más altas. Además, la zeolita de de grano fino demostró ser eficaz que la zeolita de grano grueso en la eliminación de materia orgánica y nitrógeno [CITATION Ste09 \l 10250].

Stefanakis & Tsihrintzis (2008), en su investigación, construyeron tres filtros de gravedad y a escala piloto con varios medios filtrantes para proporcionar un método adicional de tratamiento de efluentes a escala piloto de un flujo humedal vertical (VFCW). Dos filtros contenían zeolita natural con tiempos de residencia (RT) respectivos de uno y dos días, mientras que un filtro se llenó con bauxita con un RT de un día (B1), el filtro procesó 10 L del efluente humedal.

Después de la recolección, las muestras de agua se examinaron en el laboratorio para buscar componentes de nitrato y fósforo de la materia orgánica. Los resultados muestran que la presencia de filtros zeolíticos y bauxíticos en los efluentes de humedales construidos mejora significativamente la capacidad de tratamiento y eleva significativamente las tasas de eliminación de contaminantes (Stefanakis & Tsihrintzis, 2008).

^[4]► Yzquierdo (2018) se propuso investigar el efecto de la zeolita natural en la mejora de la calidad del agua potable de dos manantiales en el barrio Serafínpampa, el cual abastece a 23 familias y se encuentra en el distrito de Celendín.

Se diseñaron filtros utilizando zeolita natural y materiales locales, con capas de agregados que incluyen 0.20 m de grava de ¾" de diámetro, 0.10 m de gravilla de malla N° 4, y finalmente una capa de 0.30 m de zeolita de malla N°

^[3]► 14. Estos valores se determinaron de acuerdo con los cinco parámetros

obligatorios establecidos en el Reglamento de la calidad del agua, 2011 (Yzquierdo, 2018).

^[3]▶ Los parámetros físicos, químicos y biológicos, que incluyen pH, turbidez, color verdadero, bacterias coliformes totales y bacterias termotolerantes o fecales, fueron analizados.^[3]▶ En base a dichos análisis los resultados demostraron que el agua tratada cumplía con los cinco parámetros de control obligatorio (PCO) establecidos en el Reglamento de la calidad del agua, 2011, lo que indica una purificación efectiva dentro de los límites permisibles, [CITATION Yzq18 \l 10250].

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Filtros de zeolita

El mineral zeolita fue descubierto por primera vez en 1756 por el mineralogista sueco Cronstedt, reconoció a la zeolita como una nueva clase de minerales que consiste en aluminosilicatos hidratados, alcalinos o alcalino térreos. Posteriormente la otorga el nombre de zeolita que proviene de las palabras griegas, “zeo” “y lithos” que puede traducirse como “piedras que hierven” [CITATION Jac01 \l 10250]. Las zeolitas son Aluminosilicatos hidratados de forma cristalina, las cuales al exponerlos a procesos de deshidratación se forman poros con diámetros de 3 a 10 angstroms [CITATION Jac01 \l 10250]

Sus cavidades dentro de su estructura contienen iones de gran tamaño así como moléculas de agua con una libertad de movimiento

relativamente alta lo que le proporciona sus características de intercambiadores iónicos y de deshidratación reversible [CITATION Geo14 \l 10250]. Tiene la denominación de ion porque tiene una ausencia de cuatro cargas eléctricas para poder estar en equilibrio, estas cargas quedan balanceadas por los cationes intercambiables en los canales de la Zeolita dentro de su estructura porosa [CITATION Jac01 \l 10250].

La zeolita tiene una unidad básica de construcción que es un tetraedro TO_4 . Al unirse los tetraedros forman las subunidades secundarias de construcción (SBU, siglas en inglés, Unidades Secundarias de Construcción), y estas a su vez unidades secundarias de construcción, dan lugar a las diferentes estructuras zeolíticas [CITATION Jac01 \l 10250]

El uso de la zeolita como lecho filtrante aparece hoy en día como una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas; tienen muchas ventajas en comparación con sistemas convencionales, tal como el bajo costo de inversión, el bajo costo de operación y mantenimiento.^[5] Su aplicación en el tratamiento de aguas residuales como en el de agua potable se ha hecho muy popular en la remoción de materia orgánica y nitrógeno [CITATION Ste12 \l 10250].

2.2.2. El cromo

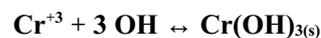
El cromo se encuentra mayormente en forma de iones inorgánicos, con sus estados de oxidación más comunes siendo +3 y

+6, es decir, Cr(III) y Cr(VI), respectivamente, conocidos como cromo trivalente y hexavalente [CITATION Bai14 \l 10250]. En entornos oxidantes, como los aeróbicos, el cromo se encuentra principalmente en su estado VI, mayormente como el ion cromato, CrO_4^{2-} . Incluso en condiciones ligeramente ácidas, este oxianión se protona para formar HCrO_4^- [CITATION Bai14 \l 10250].



Los oxianiones del Cr(VI) son muy solubles en el agua. Los dos iones de Cr(VI) descritos anteriormente generan un color amarillo y le dan una tonalidad amarillenta al agua, incluso a concentraciones muy bajas de cromo como es 1 ppm [CITATION Bai14 \l 10250].

En ambientes reductores, es decir, anaeróbicas, el cromo tiene un estado de oxidación III. En el agua el este estado forma iones $+3$, es decir, Cr^{+3} , sin embargo, la solubilidad no están alta en un medio acuoso, este ión precipita como hidróxido, $\text{Cr}(\text{OH})_3$ en medios acuosos alcalinos y neutros, o incluso con medio ligeramente ácidas [CITATION Bai14 \l 10250].



La presencia del cromo en forma de ion disuelto en agua o como precipitado está determinada por las condiciones de oxidación o

reducción del entorno acuoso. Esta distinción es crucial debido a las propiedades tóxicas del cromo hexavalente (Cr(VI)), que se considera un carcinógeno potencial, en contraste con el cromo trivalente (Cr(III)), el cual es significativamente menos tóxico e incluso puede desempeñar un papel como micronutriente [CITATION Bai14 \l 10250]. El ion cromato tiene la capacidad de ingresar fácilmente en las células, posiblemente debido a su similitud estructural con el ion sulfato (SO_4). Una vez dentro de la célula, el cromo puede oxidar las bases del ADN y ARN. Dado que el cromo hexavalente es más tóxico, soluble y móvil que el cromo trivalente, se considera que representa un mayor riesgo para la salud [CITATION Bai14 \l 10250].

El cromo se emplea extensamente en procesos como el galvanizado, la protección contra la corrosión y el curtido del cuero. En el curtido, el Cr(III) se une a las proteínas de la piel de los animales para producir cuero que exhibe resistencia al agua, al calor y a las bacterias [CITATION Bai14 \l 10250]. Como resultado de las emisiones industriales, el cromo es un contaminante del agua muy prevalente, especialmente en las aguas subterráneas ubicadas debajo de zonas con instalaciones de recubrimiento metálico. Además, es el segundo contaminante más abundante en las aguas subterráneas que se encuentran debajo de vertederos que contienen desechos peligrosos [CITATION Bai14 \l 10250].

Bair & Cann (2014) explican que la mayoría de los metales tóxicos disueltos presentes en aguas residuales pueden ser eliminados mediante el aumento del pH, ya que los hidróxidos resultantes son insolubles. Sin embargo, el cromo hexavalente (Cr(VI)) no precipita a ningún pH, dado que se encuentra en forma de oxianiones en el agua, en lugar de como catión. No obstante, debido a su baja solubilidad y, por ende, a la limitada movilidad del cromo trivalente (Cr(III)), el método convencional para extraer el cromo(VI) del agua implica el uso de un agente reductor para convertir primero el Cr(VI) en Cr(III).



Los agentes reductores generalmente empleados para la reacción son el SO₂ gaseoso o el sulfito de sodio, Na₂SO₃ disuelto en agua [CITATION Bai14 \l 10250].

Además, Bair & Cann (2014), señalan que es común usarlo en la purificación de agua residual que contiene Cr generando el proceso de reducción del Cr(VI) a Cr(III) mediante la adición de hierro en forma de Fe(II), y añadiendo a continuación una base para precipitar el Cr(III).

Una aplicación adicional de esta técnica implica la inserción de partículas de hierro elemental de tamaño reducido en pozos

permeables ubicados en zonas de flujo de aguas subterráneas contaminadas. El hierro actúa como agente reductor del cromo, convirtiéndolo en Fe^{+3} , lo que resulta en la formación de un compuesto insoluble de $\text{Fe(III)} - \text{Cr(III)}$ (Bair & Cann, 2014). Este proceso de reducción puede ocurrir de forma natural en suelos que contienen, por ejemplo, Fe^{+2} o compuestos de carbono orgánico que actúan como agentes reductores.

El cromo hexavalente es altamente móvil, ya que no se adhiere firmemente a muchos tipos de suelo. Sin embargo, en suelos con altos niveles de materia orgánica, puede ser transformado a su forma trivalente, la cual es menos móvil, a través de la acción de sustancias húmicas [CITATION Bai14 \l 10250].

Otra importante fuente potencial de cromo en el entorno proviene de su presencia en el arseniato de cobre cromado (ACC), un conservante de madera ampliamente utilizado que ha sido mencionado previamente [CITATION Bai14 \l 10250].^[7] El ACC consiste en una solución acuosa de óxidos metálicos que se utiliza para tratar la madera a través de un proceso de impregnación al vacío. Aproximadamente el 10% de la masa de la madera se impregna con ACC durante este proceso [CITATION Bai14 \l 10250].

El cromo utilizado en esta aplicación se encuentra inicialmente en su forma hexavalente. No obstante, durante el proceso de fijación,

que puede extenderse durante varias semanas después del tratamiento, la mayor parte del Cr(VI) se reduce a Cr(III) al reaccionar con el carbono presente en la madera. Este proceso da lugar a la formación de complejos insolubles que se liberan lentamente de la madera tratada a lo largo de su vida útil, ya que al menos el cobre y el cromo están unidos a la madera [CITATION Bai14 \l 10250].

El proceso de lixiviación de metales tóxicos desde la madera tratada es muy lento para el Cr disminuye significativamente varios meses después del tratamiento, observándose una mayor pérdida de cobre y arsénico en comparación con el cromo (Bair & Cann, 2014).

El ACC se utiliza para preservar las estructuras de madera destinadas a entornos acuáticos, como por ejemplo, los muelles residenciales [CITATION Bai14 \l 10250].

Por razones medioambientales y de salud, el arseniato de cobre cromado (ACC) ha sido ampliamente adoptado como reemplazo de conservantes orgánicos como la creosota y el pentaclorofenol en este tipo de aplicaciones. Sin embargo, con el paso del tiempo, no solo el cromo, sino también el arsénico y el cobre, se lixivian de las estructuras tratadas hacia el agua [CITATION Bai14 \l 10250].

2.2.3. Tratamiento de las aguas residuales

Procesos fisicoquímicos y biológicos destinados a devolver las propiedades iniciales de las aguas antes de su uso, según Reynolds (2002) citado por [CITATION Lar15 \p 13 \l 10250]^[1] refiere que los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales son:

[1] ▶  Pre tratamiento - remoción física de objetos grandes [CITATION Lar15 \l 10250]^[1].

 Deposición primaria - sedimentación por gravedad de las partículas sólidas y contaminantes adheridos [CITATION Lar15 \l 10250].

[1] ▶  Tratamiento secundario - digestión biológica usando lodos activados o filtros de goteo que fomentan el crecimiento de microorganismos [CITATION Lar15 \l 10250].

[1] ▶  Tratamiento terciario - tratamiento químico (por ejemplo, precipitación, desinfección)^[1]. También puede utilizarse para realizar los pasos del tratamiento primario [CITATION Lar15 \l 10250].

2.2.4. Decreto supremo N° 001-2015-VIVIENDA

Se modifica el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA que establece los valores máximos admisibles (VMA) para la descarga de aguas residuales insalubres a los sistemas sanitarios y de alcantarillado sanitario. Decreto Supremo no. 123, que establece los valores máximos permitidos (VMA) de descarga de aguas residuales no domésticas. Se deben modificar los artículos 2, 4, 5, 7, 8 y el Anexo 2 del 021-2009-VIVIENDA. A un sistema de alcantarillado doméstico. Permite los valores máximos permisibles (VMA) de

descarga de aguas residuales no domésticas a los sistemas de alcantarillado sanitario especificados en los Apéndices 1 y 2, los cuales son parte integral de esta norma.; donde se indica la concentración de cromo hexavalente es 0.5mg/L.

2.2.5.^[4] Estándares de calidad ambiental (ECAS)

Los ECAS son el nivel de concentración de elementos o sustancias físicas, químicas y biológicas, presentes en el aire, agua o suelo, los cuales no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni para el medio ambiente [CITATION MIN14 \l 10250]

2.3. Definición de términos básicos

- Agua servida o residual: “Desecho líquido proveniente de las descargas por el uso de agua en actividades domésticas o de otra índole” [CITATION Org14 \p 25 \l 10250]
- Aguas servidas tratadas o aguas residuales tratadas: “Aguas servidas o residuales procesadas en sistemas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad señalados por la autoridad sanitaria, en relación con la clase de cuerpo receptor al que serán descargadas o a sus posibilidades de uso” (OEFA, 2014, p. 25)

2.4. HIPÓTESIS

Hi: La zeolita reduce la concentración de cromo hexavalente del agua residual industrial, Cajamarca 2023.

Ho: La zeolita no reduce la concentración de cromo hexavalente del agua residual industrial, Cajamarca 2023.

2.5. Operacionalización de Variables^[11]

Tabla 1

Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	INDICADORES
Independiente		
Concentración de cromo hexavalente	Cantidad de cromo hexavalente presente en agua residual industrial	mg/L
Dependiente		
Zeolita	Las zeolitas es su estructura abierta, similar a una jaula, y la forma en que pueden atrapar otras moléculas en su interior.	Capacidad de adsorción de la zeolita

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.^[2] Unidad de análisis, universo y muestra

3.1.1. Unidad de Análisis

Efecto de la zeolita sobre la concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial, Cajamarca 2023.

3.1.2. Universo

El universo de este estudio comprende todas las fuentes de agua residual industrial en la región de Cajamarca en el año 2023. Esto incluye todas las instalaciones industriales y procesos que generan agua residual con la potencial presencia de cromo hexavalente en la mencionada región.

3.1.3. Muestra

Serie de muestras de agua residual de diferentes fuentes industriales en Cajamarca, para evaluar el efecto de la zeolita sobre la concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial, Cajamarca 2023.

3.2. Métodos de investigación

De acuerdo con la metodología, este estudio es de naturaleza experimental y posee un diseño longitudinal, lo que implica la manipulación deliberada de la variable independiente. La investigación se llevará a cabo utilizando una muestra obtenida en un momento específico, con el propósito de evaluar el efecto de la zeolita en la concentración de cromo hexavalente en el agua residual industrial. El enfoque experimental incluye la aplicación de zeolita a las muestras de agua residual, seguida por la medición de la concentración de cromo hexavalente antes y después de dicha aplicación.

El esquema propuesto es el siguiente:

$$X \rightarrow Y \rightarrow Z$$

Donde:

X = Concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial, antes del tratamiento.

Y = Tratamiento (zeolita).

Z = Concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial tratada.

3.3. Técnicas de investigación

- Reconocimiento del lugar de muestreo.
- Medición de parámetros de campo.
- Toma de muestras y rotulado, las muestras se obtuvieron de talleres de planchado y pintura de vehículos en Cajamarca.
- Almacenamiento, conservación y transporte de muestras.

- Se realizó la selección, preparación de zeolitas, además de la preparación del material de soporte, mezcla de zeolita y el material de soporte en proporciones adecuadas, dependiendo de la concentración de Cr se utilizó diferentes cantidades de zeolita.
- Se realizó la carga y acondicionamiento de filtros, mediante el enjuague con agua para eliminar partículas sueltas y activar la zeolita.
- Se pesó 50 y 100 gramos de Zeolita.
- Se pesó 200 gramos de Zeolita, en vasos diferentes debido a que la balanza no permite pesar más de 150gramos.
- Se agito la muestra cruda durante 30 minutos en el agitador magnético para homogenizar.
- Se agregó la muestra cruda durante 24 horas.
- Se procedió abrir la válvula de paso, para obtener la alícuota que fue analizada en el laboratorio.
- Se llevó las muestras analizar antes de las 24 horas requeridas según el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

3.4. Materiales y reactivos

- Zeolita en forma de polvo o gránulos (natural o modificada).
- Material de soporte del filtro (arena y grava).
- Agua destilada o desionizada.
- Ácido clorhídrico (HCl) o hidróxido de sodio (NaOH) para el lavado y preparación de la zeolita.

- **Solución de cromo hexavalente (Cr(VI)).**
- **Equipamiento de laboratorio: matraz, varilla de agitación, vidrio de reloj, papel de filtro, embudos, buretas, pipetas, guantes, libreta de apuntes, frascos, plumones, cooler, cámara fotográfica, etc.**

3.5. Técnicas de análisis de datos

En el estudio de datos se utilizará un enfoque cuantitativo para poder realizar el análisis de datos, y a su vez se usarán los datos brindados por los LMP establecidos en el D.S N° 004-2017-MINAM, ECAS-categoría 3, para poder realizar una comparación de resultados.

Por otro lado, El análisis estadístico utilizado para contrastar la hipótesis en este estudio consistió en la aplicación del análisis de varianza (ANOVA), ya que los datos cumplían con el supuesto de distribución normal (normalidad).

CAPÍTULO IV: ^[0] RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Presentación de resultados

Este estudio involucró la recolección de muestras de aguas residuales de un taller de reparación y pintura de vehículos en Cajamarca, seguido por la preparación de filtros de zeolita mediante la adición de 50, 100 y 200 gramos de zeolita, junto con transportadores de grava en cada lecho. Posteriormente, las muestras crudas fueron homogeneizadas mediante agitación en un agitador magnético durante 30 minutos después de su paso por un cono de sedimentación Imhoff. Para garantizar la precisión, se midieron los pesos en tubos de ensayo calibrados y se extrajeron 500 mL de cada cono de Imhoff. Las muestras crudas se enriquecieron durante 24 horas y se analizaron antes de que transcurrieran 24 horas, utilizando los métodos descritos en el SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 9221, 23.^a edición, 2017.

La contrastación de hipótesis se ejecutó aplicando el análisis de varianza (ANOVA), pues cumplen el supuesto de distribución normal (normalidad).

4.1. Parámetro: cromo hexavalente

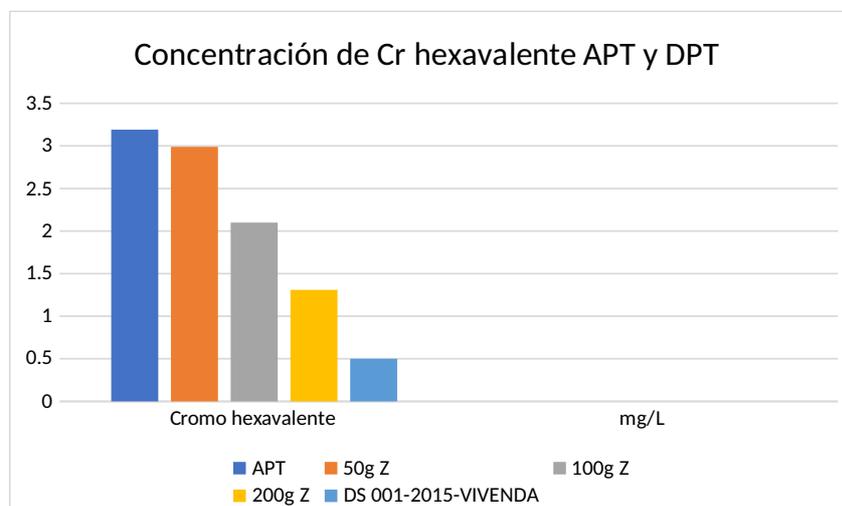
Los valores y resultados de las concentraciones de cromo hexavalente, tanto antes y después del tratamiento con el filtro de zeolita, son los siguientes:

Tabla 2

Concentración de cromo hexavalente antes y después del tratamiento

ORDEN	MA2337244	RESULTADO				D.S N° 001- 2015- VIVIENDA
FECHA DE MUESTREO	01 – 11 - 23					
HORA DE MUESTREO	06:20h a 06:40h					
PARÁMETRO	UNIDAD	APT	DPT			
			50g Z	100g Z	200g Z	
Cromo hexavalente	mg/L	3.1875	2.9930	2.0962	1.3062	0.50

En la Tabla 2 se muestran los valores de los análisis de laboratorio del cromo hexavalente presente en talleres de planchado y pintura automotriz en el año 2023. Se agregaron 50 g, 100 g y 200 g de zeolita en 24 horas tanto antes como después del proceso de filtración de la zeolita. Estos resultados representan la eficacia del filtro de zeolita. Sin embargo, ninguno de los tratamientos coincidió con los prescritos en D. S. N° 001-2015 – VIVIENDA.

Figura 1**Concentración de Cr hexavalente antes y después del tratamiento**

Para facilitar la comprensión de los resultados de laboratorio, en la figura 1 se muestra los valores presentados en la Tabla 2, resultados del análisis de laboratorio para el cromo hexavalente presente en talleres de planchado y pintura de automóviles en Cajamarca 2023. Además, el efecto de los 50 g, 100 g y 200g de zeolita para el proceso de filtración. Estos resultados demuestran la eficacia del filtro de zeolita. Sin embargo, no existe ningún tratamiento que coincida con el mostrado en D. S. N° 001-2015 – VIVIENDA.

Análisis estadístico:

En este estudio se desarrollaron análisis estadísticos descriptivos, pruebas de normalidad y pruebas de hipótesis.^[7]

Tabla 3

Resultado del **procesamiento de datos**

	Resumen de procesamiento de casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
APT	3	50,0%	3	50,0%	6	100,0%
DPT	3	50,0%	3	50,0%	6	100,0%

En el Cuadro 3 se muestra **que en el análisis de** cromo hexavalente en aguas residuales de talleres de carrocería de Cajamarca 2023, se rechazó el 50% de los datos porque se mantuvieron estables y el otro **50% de los casos** son válidos.

Tabla 4

Descriptivos estadísticos

Descriptivos ^a		Estadístico	Error típ.
Media		2,1333	,48526
	Límite inferior	,0454	
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite superior	4,2212	
Media recortada al 5%		.	
Mediana		2,1000	
DPT	Varianza	,706	
	Desv. típ.	,84050	
	Mínimo	1,31	
	Máximo	2,99	
	Rango	1,68	
	Amplitud intercuartil	.	
	Asimetría	,178	1,225
	Curtosis	.	.

a. APT es una constante y se ha desestimado.^[0]

En la Tabla 4 se muestran los resultados del análisis estadístico descriptivo de las concentraciones de cromo hexavalente en las aguas residuales de los talleres de pintura y planchado de vehículos de Cajamarca 2023.^[0] Después del proceso de tratamiento de zeolita. Cabe señalar que los valores característicos de APT (antes del procesamiento) no se muestran porque son constantes y rechazados.

Se presentan los siguientes valores: media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Tabla 5

Prueba de normalidad

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DPT	,182	3	,000	,999	3	,934

* APT es una constante y se ha desestimado.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la Tabla 5 se muestra la significancia (Sig) de la prueba de normalidad, es decir, valor de significancia de Shapiro-Wilk (0,934), es mayor que 0,05 ($\alpha = 0,05$). Con lo que si se demuestra que corresponde a una distribución normal (datos paramétricos), se deben utilizar pruebas paramétricas para un análisis estadístico adecuado de la prueba de hipótesis, y los valores p de Kolmogorov-Smirnov no están permitidos porque se consideran solo para una muestra grande (mayor a 50).



Donde:

Suma(x_i) = Suma para cada grupo.

Media = Promedios de grupo.

Suma total (x) = Suma total de las pruebas.

n_i = Elementos de cada grupo.

N = Total de elementos de todos los grupos.

K = Número de muestras.

SC_{Trat} = Suma de cuadrados del tratamiento.

SC_{Total} = Suma de cuadrados del total.

SC_{Error} = Suma de cuadrados del error.

Tabla 6

Resultados de los ensayos y réplicas

Número de prueba y réplica	50g de zeolita	100g de zeolita	200g de zeolita
1	3.188	2.99	1.31
2	3.19	2.92	1.34
3	3.185	2.95	1.28
4	3.2	2.3	1.3

Suma(x_i)=	12.763	11.16	5.23
Media=	3.2	2.8	1.3
Suma total(x.)=	29.153		
n_i =	4	4	4
N=	12	k=	3
SC_{Trat} =	7.873383		
SC_{Total} =	8.2		
SC_{Error} =	0.3		

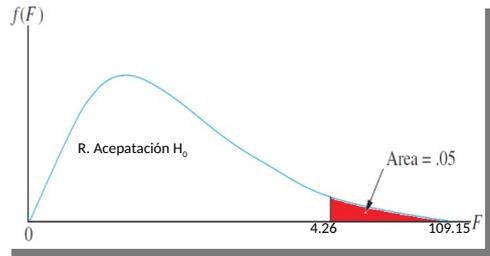
Tabla 7

Tabla ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	7.873383	2	3.936691	109.149825
Dentro de las muestras	0.3	9	0.03606686	
Total	30734578,9	11		

(Valor crítico) $F_{\alpha, k-1, N-k} = 4.256494729$

p-valor = 4.89099E-07



Por teoría, se rechazará la H_0 y concluir que hay diferencias en las medias de los tratamientos si: $F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$ es decir que el F_0 (F calculado), sigue una distribución F con $K - 1$ y $N - K$ grados de libertad.

Interpretación: 109.149825 > 4.26; con estos datos debemos rechazar la H_0 , además, se observa que el F_0 se encuentra en la zona de rechazo de la H_0 ; es decir, que

debemos rechazar la premisa: La zeolita no reduce la concentración de cromo hexavalente del agua residual industrial, Cajamarca 2023. Sin embargo, se debe considerar aceptar la H_1 , es decir, La zeolita reduce la concentración de cromo hexavalente del agua residual industrial, Cajamarca 2023.

Método de Tukey

$$T_{\alpha} = \frac{q_{\alpha}(k, N-k)}{\sqrt{CM_E/n_i}}$$

$k = 3$
 $N-k = 9$
 $CM_E = 876.4$
 $n_i = 4$
 $q_{\alpha}(k, N-k) = 3.95$
 $T_{\alpha} = 0.38$

Tabla 8

Diferencias entre pares de muestras

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu_A - \mu_B$	0.40	SIGNIFICATIVA
$\mu_A - \mu_C$	1.88	SIGNIFICATIVA
$\mu_B - \mu_C$	1.48	SIGNIFICATIVA

Como se puede evidenciar todos los valores de las diferencias muestrales son mayores al valor de Tukey calculado (0.38), es decir, que existen diferencias significativas entre los pares de muestras; pues existe diferencias en las concentraciones de cromo hexavalente en el tratamiento de acuerdo a la masa de los filtros de zeolita.

4.2. Discusión:

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran la efectividad del filtro de la zeolita en la disminución de la concentración del cromo hexavalente en agua, lo que se condice con Stefanakis y Tsihrintzis (2012), quienes desarrollaron e implementaron varios filtros para contaminación intensa, incluidos materiales de zeolita, bauxita y carbonato.⁽¹²⁾ Los resultados mostraron una mejora significativa en la calidad del efluente de VFCW durante un período de retención de un día. También, Stefanakis y Tsihrintzis (2009) evaluaron el desempeño de dos humedales de flujo cruzado a escala piloto equipados con filtros de zeolita natural para proporcionar tratamiento adicional de aguas residuales. Por primera vez en dos años, ambos humedales artificiales se operaron sin filtros de zeolita (Fase A). El sistema fue operado por un año más luego de la adición de dos filtros de zeolita (clinoptilolita fina y gruesa) (Fase B) y otro año con clinoptilolita fina y gruesa (Fase B). La adición de filtros de zeolita mejoró enormemente la producción de humedales.⁽¹⁰⁾ El complejo sistema de filtro y humedal eliminó el 90% de la materia orgánica, el 85% del nitrógeno y el 70% del ozono, y el filtro de zeolita de grano fino fue más eficaz para eliminar la materia orgánica, el nitrógeno y la materia gruesa. - Filtros de grano fino en el proceso de captura de ozono (Stefanakis & Tsihrintzis, 2009).

Nuestros resultados nos indican similitud en la efectividad de la zeolita, como en la investigación donde se demostró que dos filtros de zeolita eliminaron el 60,6% y el 63,2% de la DBO₅ del efluente y el 52,5% y 62,0% del DQO del efluente, respectivamente. Las tasas de eliminación de

contaminantes de nitrógeno fueron mayores: 75,1% y 83,2% para TKN y 78,3% y 85,8% para NH₄-N. Las tasas promedio de eliminación de ortofosfato para los dos filtros de zeolita fueron 56,4% y 39,2%, y las tasas promedio de eliminación total de fósforo fueron 56,8% y 40,5% [CITATION Ste09 \l 10250].

^[10] La presente investigación se ve reforzada por investigaciones que demuestran la efectividad de la zeolita en la adsorción de diversos contaminantes, tanto metálicos, aniones no metálicos y compuestos orgánicos, como en el estudio de Stefanakis y Tsihrintzis (2008), quienes construyeron tres filtros de gravedad y de escala piloto utilizando diferentes medios filtrantes para proporcionar un método adicional para el tratamiento de aguas residuales a escala piloto en humedales de flujo vertical (VFCW).

^[10] Dos filtros contenían zeolita natural con un tiempo de retención (RT) apropiado de 1 y 2 días, y un filtro se llenó con bauxita con un TR de 1 día (B1). El filtro trató 10 litros de efluentes de humedales. Después de la extracción, las muestras de agua se analizaron en el laboratorio para detectar los componentes de nitrato y fósforo de la materia orgánica. Los resultados muestran que la presencia de filtros de zeolita y bauxita en las aguas residuales de los humedales mejora significativamente la capacidad de tratamiento y aumenta significativamente las tasas de eliminación de contaminantes (Stefanakis y Tsihrintzis, 2008). Al igual que en la investigación de Yzquierdo (2018), cuyo objetivo de investigación fue conocer el efecto de las zeolitas naturales en el mejoramiento de la calidad del agua potable de dos fuentes hídricas de la región de Serafinpampa. El filtro de

zeolita natural se fabricó con materiales locales con las siguientes capas de relleno: grava 3/4 de 0,20 m de diámetro, 0,10 m no. Grava con 4 mallas, finalmente 0,30 m No. capa de zeolita de 14 mallas; Por ello, se determinaron los valores de cinco parámetros esenciales según el Reglamento de Calidad del Agua de 2011 (Yzquierdo, 2018).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Se logró determinar el efecto del filtro de zeolita sobre la concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial, Cajamarca 2023; disminuyendo la concentración de cromo hexavalente.
- Se detectó concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial, Cajamarca 2023; antes del tratamiento que fue de 3.1875 mg/L.
- Se detectó concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial, Cajamarca 2023; después del tratamiento que fueron los siguientes resultados: con un filtro de 50g de zeolita se identificó el valor de 2.9930 mg/L de Cr^{6+} ; 100g de zeolita se obtuvo 2.0962 mg/L de Cr^{6+} y 200g de zeolita se determinó la concentración de 1.3062 mg/L de Cr^{6+} . Y de acuerdo con el análisis estadístico realizado, mediante el ANOVA, se determinó que $F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$, entonces (109.149825 > 4.26); con lo que debemos rechazar la H_0 .
- Al comparar y analizar los resultados obtenidos del tratamiento con el filtro de zeolita sobre la concentración de cromo hexavalente en agua residual industrial con lo establecido en el D.S. N° 001-2015-VIVIENDA; es evidente que no se cumple con la norma antes mencionada.

Recomendaciones:

- Ampliar las investigaciones con la utilización de otros materiales con capacidad adsorbtiva.

REFERENCIAS

- Bachoon, D., Markand, S., Otero, E. P., & Ramsubaugh, A. (2010). Assessment of non-point sources of fecal. *Marine Pollution Bulletin*, 60:1117–1121.
- Bair, C., & Cann, M. (2014). *Química Ambiental*. Barcelona: Reverté.
- CoChigor, V., Umoh, V., Okuofu, C., Ameh, J. I., & Okoh, A. (2012). Water quality assessment: surface water sources used for drinking and irrigation in Zaria, Nigeria are a public health hazard. *Environ Monit Assess*, 184(5):3389-3400.
- Chigor, V., Umoh, V., Okuofu, C., Ameh, J., Igbinsosa, E., & Okoh, A. (2012). Water quality assessment. *Environ Monit Assess*, 184(5):3389-3400.
- Geoxnet, E. (2014). *Geología publicaciones*. Recuperado el 28 de Marzo de 2018, de <https://post.geoxnet.com/zeolitas/>
- Jacobs, P., Flanigen, E. J., & Van Bekkum, H. (2001). *Introducción a la ciencia de la zeolita*. Recuperado el 28 de 11 de 2022, de [books.google.es:](https://books.google.es/books?id=UsLE2XGd8noC) <https://books.google.es/books?id=UsLE2XGd8noC>
- Larios, F., González, C., & Morales, Y. (2015).^[1] **LAS AGUAS RESIDUALES Y SUS CONSECUENCIAS EN EL PERÚ**. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2(2). Obtenido de <https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>
- MINAM. (2014).^[4] **Estándares de calidad ambiental para agua**. Lima - Perú: El Peruano.
- Montiel, M., Zambrano, J., Castrejón, O., Oliveros, C., & Botero, L. (2005). Indicadores bacterianos de contaminación fecal y colifagos en el agua de la Laguna de Sinamaica, Estado Zulia, Venezuela. *Ciencia*, 3(3):1-12.
- OEFA. (03 de junio de 2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

- Ramaiah, N., Kenkre, V., & Verlecar, X. (2002). Marine environmental pollution stress. *Water Res*, 36:2383-2393.
- Staley, C., Reckhow, K., Lukasik, ..., & Harwood, V. (2012). Assessment of sources of human pathogens and fecal. *Water Research*, 2012; 46:5799-5812.
- Stefanakis, A., & Tsihrintzis, V. (2008). Mejora de la calidad de los efluentes de humedales construidos utilizando zeolita y bauxita como medios filtrantes. . EnAQUA 2008, 3rd International Conference on Water Science and Technology with Emphasis on Water & Climate (pág. pp.). Atenas, Grecia: Exhibition Center Helexpo Palace.
- Stefanakis, A., & Tsihrintzis, V. (2009). Filtros naturales de zeolita (clinoptilolita) para el tratamiento de efluentes de dos humedales construidos con flujo subsuperficial horizontal a escala piloto. Conferencia conjunta de la Unión Hidrotécnica Griega y el Comité Griego para la Gestión de los Recursos Hídricos, Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Condiciones de Cambio Climático, (pág. pp.001). Volos, Grecia.
- Stefanakis, A., & Tsihrintzis, V. (2012). Uso de zeolita y bauxita como medio filtrante para tratar el efluente de humedales construidos de flujo vertical. *Materiales microporosos y mesoporosos*, 155, 106-116.
- Stefanakis, A., Akratos, C., Gikas, G., & Tsihrintzis, V. (2009).^[12] Mejora de la calidad del efluente de dos humedales construidos a escala piloto, con flujo subsuperficial horizontal utilizando zeolita natural (clinoptilolita). *Materiales microporosos y mesoporosos*, 124(1-3), 131-143.
- WWAP. (2017).^[8] Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017. Colombella, Perugia - Italia: UNESCO.

Yzquierdo, E. (2018). Incorporación de filtros de zeolita en la calidad de agua en las capataciones del sistema de agua potable del barrio Serafinpamapa. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.