



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

**“TIEMPO DE CONTACTO Y MASA DE ZEOLITA NATURAL
EN LA ADSORCIÓN DE CROMO TOTAL DE EFLUENTES
DE LA CURTIEMBRE CUENCA”**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental.

Autores:

Elmer Lee Alfaro Raggio
Mirtha Stefanía Gamboa Zavala

Asesor:

Mg.Ing. Liana Ysabel Cárdenas Gutiérrez

Trujillo - Perú

2019

DEDICATORIA

La presente Tesis está dedicada a nuestra familia por su comprensión, amor, consejo y apoyo incondicional.

A nuestros Padres, por su amistad, trabajo, cariño, constancia e infinito amor.

Alfaro Raggio Elmer Lee.

Gamboa Zavala Mirtha Stefania.



AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a Dios, por su bendición, por su palabra, por su misericordia,
porque a pesar de que no somos perfectos él siempre está allí.

A nuestros padres, por su amistad, consejo, ayuda y amor infinito.

A la Universidad Privada del Norte por habernos inculcado valores morales, éticos y
sociales que me permiten ser profesionales de bien.

A mis docentes que contribuyeron en nuestra formación profesional y personal.

De manera especial agradecemos a Mg. Ing. Carlos Zaldívar Revoredo, Mg. Ing. Víctor
Álvarez Armas e Mg. Ing. Liana Cárdenas Gutiérrez, por su apoyo, dedicación y disposición,
por toda su capacidad y experiencia académica para que la presente investigación se realice;
sus conocimientos han sido fundamentales para el desarrollo de la presente tesis, a ellos
nuestro admirable reconocimiento.

Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA	14
1.1.1 Problema de investigación	14
1.1.2 Marco Teórico	20
1.1.2.1 Antecedentes	20
1.1.2.2 Bases Teóricas	26
1.1.2.3 Definición de términos	46
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	47
1.3 OBJETIVOS	47
1.3.1 Objetivo general	47
1.3.2 Objetivos específicos	48
1.4 HIPÓTESIS	48
1.4.1 Hipótesis general	48
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	50
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	50
2.1.1. Subtipo de investigación	50



2.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	51
2.2.1.	Población.....	51
2.2.2.	Muestra	51
2.3.	TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	51
2.3.1.	Técnicas.....	51
2.3.2	Instrumentos.....	55
2.3.3	Procedimientos de recolección de datos	56
CAPÍTULO III. RESULTADOS		68
3.1	MASA DE ZEOLITA.....	68
3.2	CINÉTICA DE ADSORCIÓN.....	70
3.3	ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.....	74
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....		82
4.1	DISCUSIÓN.....	82
4.2	CONCLUSIONES.....	85
4.3	RECOMENDACIONES.....	86
REFERENCIAS.....		87
ANEXOS		92



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tipos de Zeolita con respecto a su origen.....	36
Tabla 2	Operacionalización de variables	49
Tabla 3	Recursos utilizados en la toma de muestra	52
Tabla 4	Equipos y métodos usados para la investigación	55
Tabla 5	Volumen de solución madre para preparación de soluciones patrones.....	58
Tabla 6	Variación de masa de zeolita en la adsorción de cromo total de 20 mg/L.....	68
Tabla 7	Cinética de adsorción de Pseudo Primer Orden.....	71
Tabla 8	Cinética de adsorción de Pseudo Segundo Orden.....	72
Tabla 9	Resultados de Pseudo Primer y Segundo Orden	74
Tabla 10	Resultados de isoterma de adsorción	75
Tabla 11	Valores de Q_0 y b se hallaron luego de graficar C_e/q_e versus C_e	77
Tabla 12	Resultado de Ecuación isoterma de adsorción de Freundlich.....	79
Tabla 13	Resultados de isotermas de adsorción Langmuir	80
Tabla 14	Adsorción de cromo total con zeolita natural de la muestra de efluentes de caja de registro de Curtiembre Cuenca.....	81
Tabla 15	Ficha de Identificación de Punto de Monitoreo de Agua.....	93

Tabla 16 Ficha de etiqueta para muestra de agua.....	94
Tabla 17 Valores máximos admisibles para descarga al sistema de alcantarillado	95
Tabla 18 Variación de tiempo de contacto para remoción de cromo total con zeolita natural (Clinoptilolita).....	97
Tabla 19 Determinación de la cinética de adsorción para remoción de Cromo Total con zeolita natural (Clinoptilolita)	99
Tabla 20 Variación de concentración de Cromo Total para su remoción con Zeolita.....	100
Tabla 21 Determinación de las isothermas de adsorción	102
Tabla 22 Variación de la masa de Zeolita Natural (Clinoptilolita) para remoción de Cromo.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas del proceso de adsorción.	30
Figura 2: Isotermas de adsorción. McCabe.	33
Figura 3: Estructura de zeolita clinoptilolita.	37
Figura 4: Masa de zeolita natural vs porcentaje de adsorción.....	69
Figura 5: Cinética de adsorción.....	70
Figura 6: Lagergren.....	71
Figura 7: Ho..	73
Figura 8: Isotermas de adsorción ce vs q_e	75
Figura 9: Langmuir ce vs ce/q_e	77
Figura 10: Freundlich.....	79
Figura 11: Ubicación de la Curtiembre Cuenca S.A.C.	92
Figura 12: Ficha Técnica de zeolita natural. Zeofish.....	96
Figura 13: Relación de equipos calibrados y reactivos utilizados.	105
Figura 14: Ficha de registro de resultados.	106
Figura 15: Ficha de registro de resultados.	107

Figura 16: Preparación de muestra patrón de Cromo Total en diferentes concentraciones.	108
Figura 17: Pesaje de la Zeolita Natural y preparación de instrumentos.	109
Figura 18: Experimentación con Zeolita Natural para la adsorción de Cromo Total	110
Figura 19: Muestras tratadas con Zeolita Natural para respectivo análisis.....	111
Figura 20: Toma de muestra de caja de registro y adición de preservante.	112
Figura 21: Se añadió Zeolita Natural en muestra de curtiembre Cuenca.	113
Figura 22: Se agitó a 500 RPM la solución de Zeolita Natural con la muestra de curtiembre.	114
Figura 23: Espectrofotómetro de Absorción Atómica utilizado para los análisis de Concentración de Cromo.	115
Figura 24: Resultados de Cromo Total (N° 4) de muestra de efluentes de curtiembre Cuenca S.A.C., caja de registro.	116
Figura 25: Resultados de los análisis de concentración de Cromo Total post condiciones ideales de Zeolita Natural.	116

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula química de la Zeolita	27
Ecuación 2: Lineal del modelo de Langmuir.	34
Ecuación 3: Forma lineal del modelo de Freundlich	35
Ecuación 4: Porcentaje de adsorción.....	54
Ecuación 5: Cálculo del volumen y concentración de cromo total 20 ppm (mg Cr/L).	57
Ecuación 6: Pseudo primer orden	62
Ecuación 7: Pseudo primer orden derivada.....	62
Ecuación 8: Pseudo primer orden linealizada	63
Ecuación 9: Pseudo Segundo Orden	63
Ecuación 10: Pseudo Segundo Orden derivada	63
Ecuación 11: Pseudo Segundo Orden linealizada	64
Ecuación 12: Ecuación lineal del modelo de Langmuir.....	66
Ecuación 13: Forma lineal del modelo de Freundlich	67



Ecuación 14: Ecuación para determinar masa de Zeolita Natural	69
Ecuación 15: Isotermas de adsorción	74
Ecuación 16: Ecuación lineal del modelo de Langmuir.....	76
Ecuación 17: Isotherma de adsorción de Freundlich	78
Ecuación 18: Masa de Zeolita Natural necesaria para adsorción de la concentración de Cromo Total	80



RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad determinar en qué medida influye el tiempo de contacto y masa de Zeolita Natural (*Clinoptilolita*) en la adsorción de Cromo Total de efluentes de la Curtiembre Cuenca S.A.C. El tipo de investigación es experimental pura de diseño factorial. Para ello, la muestra fue de 1 litro de efluente de la Curtiembre. Los ensayos se realizaron bajo el sistema por lotes, donde se utilizó desde 0.05 a 3 gramos de Zeolita y el tiempo de contacto fue de 30 a 240 minutos en soluciones patrones de 20 mg Cr/L. Además, se variaron las concentraciones desde 5 a 120 mg Cr/L con 2 gramos de Zeolita. Todas las soluciones se encontraron con pH 6 y temperatura ambiente de 23°C. Los análisis se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la empresa SEDALIB S.A. con el equipo de espectrofotometría de absorción atómica. Finalmente, se comprobó que el tiempo de contacto y masa de Zeolita influyeron en la adsorción de Cromo Total de efluentes de la Curtiembre Cuenca. Además, se determinó que 0.3840 mg Cr/g Ze es la capacidad de equilibrio de adsorción de la Zeolita y de acuerdo al modelamiento matemático, las Isotermas de Adsorción de Langmuir describen mejor el comportamiento de la capacidad de adsorción de la Zeolita Natural.

Palabras Clave: Adsorción, Cromo Total, Isotermas de Adsorción, Cinética de Adsorción

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to determine to what extent to influence the contact time and the mass of Natural Zeolite (*Clinoptilolite*) in the adsorption of Total Chromium from effluents of the Tannery Cuenca S.A.C. The type of research is experimental and bifactorial. For this, the sample was 1 liter of the Tannery effluent. The trials focus on the batch system, where 0.05 to 3 grams of Zeolite are shown and the contact time from 30 to 240 minutes in solutions of 20 mg Cr / L. In addition, they will be varied from 5 to 120 mg Cr / L with 2 grams of zeolite. All the solutions were found with pH 6 and ambient temperature of 23 ° C. The analyzes were carried out in the quality control laboratory of the company SEDALIB S.A. with the atomic absorption spectrophotometry equipment. Finally, it was found that the contact time and the mass of the Zeolite influenced the adsorption of Total Chromium from the Tannery Basin effluents. In addition, it was determined that 0.3840 mg Cr / g Ze is the equilibrium capacity of Zeolite and according to the mathematical mode, the Langmuir Adsorption Isotherms to improve the behavior of the adsorption capacity of Natural Zeolite.

Keywords: Adsorption, Total Chromium, Adsorption Isotherms, Adsorption Kinetics.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

1.1.1 Problema de investigación

En la actualidad, los efluentes industriales de cuero contienen diferentes tipos de metales pesados, los cuales en algunos casos se descargan en el sistema de alcantarillado sin ningún control; sumando la escasa ingeniería en estos sistemas, los efluentes al verterse a las fuentes de agua más cercanas producen efectos tóxicos en el ambiente. Este es un problema está vinculado a las actividades productivas que se presentan a nivel mundial, ya que, al realizar diversos procesos industriales para ofrecer bienes o servicios a la población alteran la composición natural del líquido elemento. Cabe mencionar que, según Environmental Protection Agency (EPA, 2003), la producción de cuero es liderada por Europa a pesar del aumento de producción en América y Asia. Por ello, a Italia se le considera como el país referente del continente en cuanto a la producción de cuero, comercio y la gestión ambiental. Cabe mencionar, que Italia maneja los más altos estándares de calidad en prevención y mitigación de la contaminación ambiental; así como la sustitución de insumos químicos contaminantes, integración de procesos de mejora, manejo y tratamiento de aguas residuales, entre otros.



En Argentina, la contaminación la cuenca Matanza - Riachuelo en la Provincia de Buenos Aires está relacionada con el desarrollo industrial, se tiene conocimiento que la principal culpable de esta contaminación son las actividades industriales relacionadas con el curtido de cuero. En esta región permanecen más de 24.000 establecimientos industriales y comerciales, del cual destacan como mayores contaminantes las curtiembres (Greenpeace, 2012). Por lo tanto, el sector de producción de cuero es asignado como el principal responsable de la degradación ambiental. Asimismo, las fuentes contaminantes más importantes que presentan las industrias de curtido son los efluentes, materia orgánica y emisiones hacia la atmósfera.

La industria de cuero en el Perú, se encuentra en un estado muy vulnerable debido a la presencia de fuerzas internas y externas que impactan negativamente en el ecosistema y por ende la biodiversidad, sobretodo la flora y fauna acuática. Además, es importante ostentar que las industrias de cuero en el Perú, tanto formales como informales, operan mayormente en las ciudades de Trujillo, Arequipa y Lima. Por tal motivo, son parte de los principales problemas que generan las industrias a estas localidades es la contaminación de la Zona Marino Costera Peruana, ya que en el Perú en gran parte no existe sistema de tratamiento de aguas residuales que garantice un proceso de tratamiento eficiente, finalmente todos estos efluentes son descargados al mar sometiendo a la naturaleza a futuras



alteraciones en el equilibrio ecosistémico. En consecuencia, el estado ha planteado el seguimiento y control de aquellas empresas que no cumplen con la normativa ambiental vigente, por ende, muchas industrias de cuero formales han cerrado debido a las sanciones que han recibido por no cumplir con la normativa de saneamiento que regula y fiscaliza a las empresas productivas que no cumplan con los Valores Máximos Admisibles o Límites Máximos Permisibles. Pese a ello, algunos operadores y empleados de las curtiembres formales que cerraron a causa de la fiscalización por parte de las autoridades del estado reaparecen como curtiembres informales en aras de continuar con las actividades productivas sin tomar en cuenta el impacto ambiental que estas generan (Muñiz, 2016).

En el distrito de Huachipa, Provincia de Lima, existe gran cantidad de industrias de cuero, las cuales generan descargas de efluentes con altos niveles de Cromo. En la etapa del curtido se utiliza sulfato de Cromo, que es remojado con las pieles y este cuero retiene 60% a 70% de sulfato de Cromo, lo restante como efluentes es vertido al alcantarillado o al Río Huaycoloro (Muñiz, 2016). De este modo, es necesario que se desarrollen diferentes tipos de tratamiento que permitan mejorar el control de efluentes de curtiembre; así sean capaces de extraer o remover materia orgánica, metales pesados, etc. presente en sus efluentes para minimizar el impacto ambiental y poder alcanzar límites aceptables para la calidad de agua según la normativa vigente.



En La Libertad, las curtiembres ubicadas en el distrito de la Esperanza y el Porvenir representan parte substancial de un sector industrial clave en el desarrollo regional; sin embargo, los efluentes que generan son altamente contaminantes porque estos son descargados al ambiente con altos contenidos de materia orgánica, sulfuro, cloruro, cromo, entre otros, en concentraciones que alcanzan niveles tóxicos, por lo que se requiere de inaplazable atención para minimizar su generación e impacto. Cabe indicar, que en la ciudad de Trujillo las industrias de cuero generan un impacto negativo en las masas de agua de esta localidad. En el área de ribera se caracteriza por contener cantidades significativas de contaminantes, la cual presentan altos niveles de pH, sustancias químicas y sólidos suspendidos generados en este proceso (Silva, 2016). Asimismo, cuando las aguas residuales o efluentes son descargados a un cuerpo de agua sin ningún tratamiento genera por consecuencia efectos negativos en la agricultura y en la salud.

La curtiembre Quimipiel S.A.C. del distrito de la Esperanza, presentó una problemática con respecto al incumplimiento de los límites máximos permisibles. Asimismo, según (Velarde, 2015), la empresa tuvo como plazo hasta el 2015 en adecuar sus límites máximos permisibles de los efluentes para alcantarillado tanto de pH, DBO₅, DQO, SST, cromo total, del cual la empresa viene realizando estudios con apoyo de profesionales universitarios y Organismos de Evaluación



y Fiscalización Ambiental (OEFA), para ajustar dichos valores con diversas propuestas de solución según los informes emitidos por dichas partes. Es por ello, que la curtiembre se encuentra realizando propuestas de solución para reducir la contaminación al medio ambiente.

La curtiembre Cuenca S.A.C. actualmente enfrenta el incumplimiento de los valores máximos admisibles por la ausencia de la implementación de un sistema completo de rejillas y escasez económica de dicha empresa. En el caso del incumplimiento de los parámetros ambientales, se está realizando análisis, tratamientos y monitoreos para lograr adecuar los niveles de contaminación a los parámetros ambientales establecidos. Sin embargo, no ha sido suficiente para controlar los estándares de calidad de los efluentes de la curtiembre. Con respecto a la implementación de equipos o medidas de mejora, solo se tiene implementado un sistema de rejillas, el cual solo es idóneo para la retención de materia orgánica y sólidos suspendidos; teniendo en cuenta los aspectos económicos de la microempresa de curtido se tendría que evaluar implementar un sistema de efluentes eficiente ya que una postura contraria no es favorable para la mejora continua de los procesos y por consecuente, los niveles de contaminación ambiental no se reducirían, así también se debe percibir conocimiento de las alternativas de solución y del impacto ambiental.



En relación a la evaluación de las aguas residuales de usuarios no domésticos y de acuerdo al D.S N° 010-2019-VIVIENDA, el monitoreo de la concentración de parámetros de descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, estará a cargo de las EPS. Es decir, en el Departamento de La Libertad, el área de control de calidad de la empresa SEDALIB S.A., es el responsable de fiscalizar las curtiembres y restaurantes (ya que son sus administrados) mediante la toma de muestras de aguas residuales, con el propósito de controlar los valores máximos admisibles (VMA). A la fecha, se han encontrado curtiembres que han superado los VMA, por ello se les notifica para que estos usuarios no domésticos implementen una propuesta técnica de las medidas que efectuarán para adecuarse a los VMA. De lo contrario, asumirán el pago adicional por exceso de concentración.

Por lo tanto, es ineludible y obligatorio adecuar los efluentes de las curtiembres para que cumplan la legislación ambiental vigente utilizando tratamientos físicos, químicos y biológicos de modo que se pueda tener una industria representativa de la región por la calidad de cueros que produce y no por la excesiva contaminación que genera. Es por ello, que frente a estos casos de contaminación generadas por curtiembres el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) exige cumplir con los VMA de los efluentes líquidos, el Ministerio de Producción regula los Límites Máximos Permisibles (LMP) y el Organismo de Evaluación y



Fiscalización Ambiental (OEFA), desde el año 2013 viene asumiendo progresivamente las competencias de fiscalización en el sector industria en los rubros de cerveza, papel, cemento y curtiembre, para lograr que se cumpla con la legislación en materia ambiental.

1.1.2 Marco Teórico

1.1.2.1 Antecedentes

Shizato (2007), en su artículo científico titulado “Remoción de metales pesados en solución por Zeolitas Naturales”, publicado en la revista del Instituto Geológico de Sao Paulo, demostró la aplicación de Zeolitas para la eliminación de metales pesados, así como los parámetros asociados con eficiencia de adsorción e intercambio iónico, relacionados con estructura cristalina y características químicas; considerando temperatura, pH y concentración inicial que pueden interferir en el proceso de eliminación de metales pesados. Se concluyó que la eficiencia puede controlarse de acuerdo a la concentración, las Zeolitas naturales tienen gran potencial en el tratamiento de efluentes contaminados por metales pesados.



Asimismo, en el artículo “Evaluación del uso de Zeolitas en la remoción de Cromo (VI) de efluente de la industria metalúrgica”, publicado en el 70° congreso anual de la Asociación Brasileña de Metalurgia, Materiales y Minerales (ABM), se estudió la remoción de Cromo (VI) de las aguas residuales de una industria metalúrgica con Zeolitas. La experimentación se realizó en una columna de lecho fijo donde se filtraron soluciones con concentraciones de Cr (VI) desde 0,5 a 10 mg/L. A partir de los datos de adsorción se calcularon las isotermas de adsorción. El modelo de Langmuir fue significativo y predictivo con una confiabilidad del 97.93%. La capacidad máxima de la Zeolita para eliminar el Cr fue 0.02 mg Cr/g Ze. (Grespan, Bianchin & Tubino, 2015).

Por otro lado, Jiménez, Dal Bosco y Carvalho (2004) en su publicación en la revista Química Nova de la Universidad Pontificia Universidad Católica de Campinas en Brasil denominada “Remoción de metales pesados de efluentes acuosos por la Zeolita Natural esolecita - influencia de la temperatura y del pH en la absorción en soluciones con un solo metal”, estudió la capacidad de intercambio iónico de la Zeolita Natural brasileña esolecita, analizando la retención de cationes de metales pesados presentes en efluentes acuosos, siendo los metales estudiados el Cr (III), Ni (II), Cd (II) y Mn (II). Se llegó a la conclusión

que el poder de absorción incrementa en la remoción de Cr (III) y se demostró que la temperatura y el pH influyen en el proceso de absorción. Además, la isoterma de adsorción de Freundlich tiene mayor afinidad.

Rodríguez, F. y Rodríguez, I. (2018), en su investigación publicada en la Universidad de la Habana Madrid "Eliminación de metales tóxicos mediante Zeolitas Naturales", tuvo como objetivo analizar diferentes reportes sobre la remoción de metales tóxicos con Zeolita, en este sentido señala que la capacidad de intercambio iónico de la Zeolita muestra mayor selectividad por el Cu, Co y Mn que por el Ni y Fe, recalca que utilizando procesos como la precipitación-neutralización se presentan porcentajes de remoción de hasta un 99.91%. En conclusión, la utilización de Zeolitas naturales fundamentalmente la clinoptilolita se ha confirmado como una práctica importante en el control ambiental de efluentes industriales.

Del mismo modo, en la Revista Minería y Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa en Cuba, en el artículo "Zeolita natural de Palmarito de Cauto para el tratamiento de licores residuales de industrias de fibrocemento", se evaluó la posibilidad de utilizar Zeolita para el tratamiento del licor residual de la industria de



fibrocemento. Para ello se varió la granulometría de Zeolita (de 1 a 2 mm y 3 a 5 mm) con muestras del residual. Obteniendo mejores resultados de remoción de Cr (VI) con 1 a 2 mm. Además, se pudo concluir que la remoción de Cr (VI) ocurre a través de un proceso de adsorción, mientras la del Cr (III), por intercambio iónico. (Córdova, Rodríguez, Tito & Acosta, 2013).

Según García, Cid y Arriaga (1999), en su artículo científico “Retención de Cr (III) y Hg (II) en Zeolitas. Influencia de la naturaleza de la Zeolita y de variables de proceso”, publicado en el Boletín de la Sociedad Chilena de Química Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción en Chile se determinó la eficiencia en la retención de cromo y mercurio entre Zeolitas Naturales y Sintéticas; se estudió la temperatura, pH, concentración inicial y tamaño de partícula de la Zeolita. Se llegó a la conclusión que la velocidad inicial de intercambio del ion Cr (III) en las Zeolitas sintéticas y naturales depende del tamaño de los poros y la capacidad de intercambio del material.

En la investigación de la revista Tecnología Química “Remoción del Cromo de residuales alcalinos con Zeolita Natural, en una columna de adsorción de lecho fijo” publicada en Cuba, se evaluó la tecnología de

columna de adsorción de lecho fijo, para neutralizar y reducir la concentración de iones cromato del residual alcalino de una empresa de fibrocemento, utilizando como adsorbente Zeolita tipo Mordenita (ZN). Se realizaron pruebas con diferentes granulometrías. Se obtuvo experimentalmente, que el tamaño de partícula es la variable que más influye en la posición del punto de ruptura, siendo el ideal 0,85 mm. Finalmente se demostró que la ZN posee capacidad para neutralizar, y descontaminar de iones cromato. (Córdova, Rodríguez & Garcell, 2018).

En el artículo científico “Adsorción de Cr (VI) en un compuesto Zeolita Natural-Polímero magnético” de la Revista del Instituto de Ingenieros Químicos de Taiwan se determinó la eliminación de cromo hexavalente Cr (VI) mediante la preparación del compuesto de Zeolita-polipirrol natural magnética (MZ-PPy). Se investigaron los efectos de la carga de zeolita, el pH inicial, la dosis de adsorbente, temperatura y concentración de Cr. Se obtuvo una eficiencia de 99.99% con pH 2. Los datos cinéticos de adsorción se ajustaron al modelo de Pseudo Segundo Orden y los datos de isoterma al modelo de isoterma de Langmuir. La capacidad de adsorción máxima de la isoterma de Langmuir aumentó de 344.83 a 434.78 mg Cr/g Ze a medida que la temperatura se varió de 25°C a 45°C. (Mthombeni, Onyango & Aoyi, 2014).



Dursun y Pala (2007), en su investigación denominada “Lead pollution removal from water using a natural zeolite”, publicada en el instituto de Aplicación ambiental y ciencia de Turquía, investigaron la capacidad de adsorción de iones de plomo de la clinoptilolita del agua contaminada artificial del grifo. Para los estudios experimentales, utilizaron Clinoptilolita de malla de 25-140 activando con HCl. Los experimentos se estudiaron bajo condiciones de laboratorio en lotes, se realizaron a diferentes valores de pH, la mayor eficiencia de remoción se encontró en alrededor del 87% a pH 5. La mayor eficiencia de remoción se obtuvo con una velocidad de agitación de 200 RPM.

En el artículo científico: “Sorption of chrome It in zeolites and natural clays of the clinoptilolite and kaolinite type” presentado en el Primer Congreso Americano Internacional - Radiation Protection Association (IRPA) en la ciudad de México. Donde tiene como objetivo determinar las condiciones ideales para mayor adsorción de Zeolita. Donde los estudios de cinética de reacción muestran una absorción muy rápida en las primeras 5 horas de contacto, alcanzando el equilibrio en aproximadamente 24 horas. La cinética de adsorción de los iones del metal pesado se representó mejor por el modelo de reacción de segundo

orden. Los datos experimentales para las Zeolitas obtenidas a temperatura ambiente y variando la concentración se ajustaron a los modelos de las isotermas de Freundlich. (Davila & Solache, 2006).

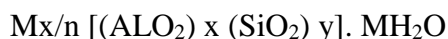
1.1.2.2 Bases Teóricas

A. Zeolitas Naturales

a. Zeolita natural

Las Zeolitas naturales son cristales minerales de aluminosilicatos hidratados con cationes alcalinos o alcalino térreos, que tienen alta capacidad de intercambio catiónico, hidratación y deshidratación sin modificar su estructura porosa, tridimensional, con canales internos (Villavicencio et al., 2009). Además, las Zeolitas naturales tienen la capacidad de adsorción y eliminación de iones metálicos como arsénico, cromo, cadmio, cobre, plomo, entre otros. Las Zeolitas pueden tener origen natural, la cual se encuentran frecuentemente en zonas volcánicas o pueden ser sintetizadas en el laboratorio (Abdullah, 2014).

Ecuación 1. Fórmula química de la Zeolita



Donde:

M= catión alcalino o alcalino térreo de valencia "n".

M= N° de moléculas de agua.

x + y= N° de tetraedros de Al y Si por celda unitaria.

b. Características

El intercambio iónico es una de las propiedades más importantes de las Zeolitas debido a que por un lado se pueden llevar a cabo modificaciones de las Zeolitas, para cambiar sus propiedades superficiales (afinidad por compuestos orgánicos) y, por otro lado, esta propiedad de intercambio iónico es útil en más de un proceso industrial, en la agricultura, en la acuicultura y en usos ambientales (EcuRed, 2019). Además, esta habilidad facilita tener un control en la desorción de iones a medios acuosos. Otra propiedad del material zeolítico es que la estructura microporosa (con dimensiones uniformes de poros) es abierta, permitiendo la transferencia de material entre el espacio intracrystalino y el medio que lo rodea. Este tipo de estructura microscópica hace que las

Zeolitas presentan una superficie interna extremadamente grande, entre 500 y 1000 m²/g, con relación a su superficie externa (Giannetto, 1990). Es importante mencionar, que las razones para utilizar Zeolitas son por que presentan una alta estabilidad térmica, buenas propiedades hidráulicas, y bajo costo de extracción y procesamiento.

- Diámetro de poro: 2 a 120 nm.
- Diámetro de cavidades: 6 a 120 nm.
- Superficie interna: varios cientos de m²/g.
- Capacidad de intercambio catiónico: 0 a 650 meq/100g.
- Capacidad de adsorción: <0.35 cm³/g.
- Estabilidad térmica: desde 200 °C hasta más de 1000 °C.

c. Estructura de las Zeolitas

La estructura consiste en un esqueleto o armazón basado en una extensa red tridimensional de tetraedros TO₄, siendo T iones de sílice (Si) o aluminio (Al) principalmente. La variada disposición o configuración espacial de los tetraedros origina un patrón continuo conformado por espacios vacíos y canales de tamaño discreto, lo cual le otorga una elevada área superficial y capacidad

para la discriminación molecular, tanto de tamaño y forma, razón por la cual se les conoce como tamices moleculares (Villavicencio et al., 2009).

Cabe mencionar, que la estructura de las Zeolitas está integrada por una red tridimensional surcada por una trama interna de poros y cavidades, y por dos unidades: la primaria y la secundaria es la más simple y consiste de un tetraedro de cuatro iones de oxígeno que rodean un ión central de sílice (Si) o aluminio (Al). La unidad primaria se enlaza entre sí para formar una estructura tridimensional en la que los iones de oxígeno que están en los vértices del tetraedro se comparten con otro tetraedro. Cuando en el centro del tetraedro se ubica un ión de sílice, la estructura es neutral, es decir, sin carga eléctrica (Paredes et al., 2013). Sin embargo, en la estructura de la Zeolita algunos iones de sílice son reemplazados por trivalentes, lo que causa un desbalance de carga positiva en la estructura, el cual es balanceado por otros cationes monovalentes y divalentes como sodio (Na^+), Potasio (K^+), calcio (Ca^{++}) y magnesio (Mg^{++}), que se ubican en la superficie externa del tetraedro y en la de las cavidades y canales internos (Paredes et al., 2013).

d. Adsorción

El proceso de adsorción es una operación que se basa en la transferencia de masa entre una fase sólida y una fase fluida (líquida o gaseosa), y que permite apartar selectivamente de una solución uno o varios compuestos de interés. La sustancia que se concentra en la superficie se detalla como el adsorbato, y el material sobre el cual este se acumula se detalla como el adsorbente (McCabe, Smith & Harriot, 2007). Además, cuenta con tres etapas, las cuales detallamos a continuación:

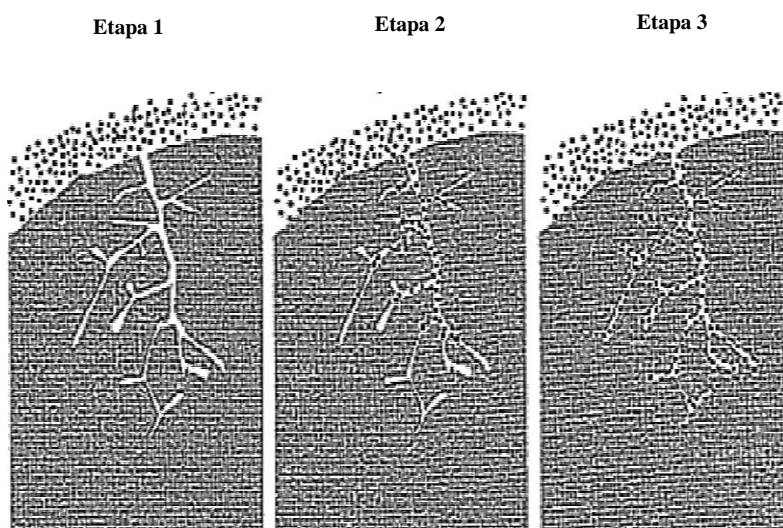


Figura 1. Etapas del proceso de adsorción.

Fuente: Paredes (2011).

Etapa 1. Difusión externa: El adsorbato se aproxima a la superficie externa del sólido.

Etapa 2. Difusión interna: Debido a que la superficie externa expuesta por las partículas tiende a ser menor al 1% del total, el adsorbato migra a través de la red porosa del sólido.

Etapa 3. La adsorción del adsorbato: El adsorbato se adhiere a la superficie del adsorbente.

- **Adsorción e intercambio iónico**

La adsorción y el intercambio iónico comparten tantos rasgos similares con respecto a la aplicación en procesos por cargas y tratamientos en lecho fijo que pueden agruparse juntos como sorción para un tratamiento unificado (Treybal, 1986).

El intercambio iónico utiliza una fase sólida que contiene grupos de enlace, que traslada una carga iónica junto con iones desplazables de carga opuesta. Las Zeolitas fueron los primeros intercambiadores de iones y actualmente se utilizan las Zeolitas naturales y sintéticas.

El intercambio iónico se expresa como una reacción reversible que comprende cantidades químicamente equivalentes (Perry, 2001).

- **Isotermas de adsorción**

Para determinar la capacidad de adsorción de un material dado, se deben realizar estudios de equilibrio, esto es importante para determinar el potencial del material como un adsorbente económico y comercialmente viable. Para esto el material se pondrá en contacto con el soluto hasta que alcance el equilibrio (Motsi, Rowson & Simmons, 2009).

Los datos experimentales obtenidos se ajustan normalmente a las 2 isotermas de adsorción convencional: Freundlich y Langmuir. Estos serán utilizados para predecir el rendimiento de adsorción de la Zeolita natural (Motsi et al., 2009).

(McCabe et al., 2007) en su libro "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química" define el concepto de Isotherma de Adsorción como la relación de equilibrio entre la concentración de la fase fluida y la concentración de las partículas de adsorbente a una temperatura determinada. Cuando esta curva se construye para

sistemas sólido – líquido, la concentración del fluido se expresa habitualmente en unidades de masa, tales como mg/L (ppm) o 10-3 mg/L (ppb) y la concentración de adsorbato sobre el sólido viene dada como masa adsorbida por unidad de masa de adsorbente original (McCabe et al., 2007). En la Figura 2 se presentan algunas formas típicas de isotermas:

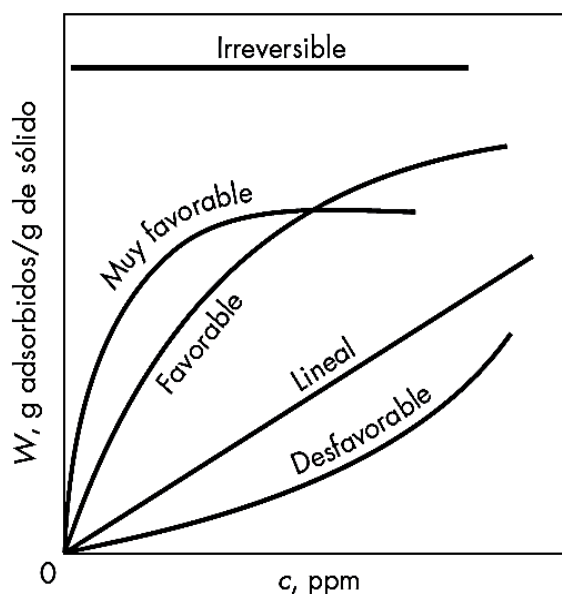


Figura 2. Isotermas de adsorción en relación a la concentración de la solución y la capacidad de absorción de la Zeolita Natural.

Fuente: McCabe, Smith y Harriot (2007).

La isoterma lineal pasa por el origen de coordenadas y la cantidad adsorbida es proporcional a la concentración en el fluido. Las isotermas que son convexas hacia arriba se denominan

favorables, debido a que puede obtenerse una carga relativamente elevada del sólido para una baja concentración en el fluido. El caso límite de una isoterma muy favorable es la adsorción irreversible, donde la cantidad adsorbida es independiente de la disminución de concentración hasta valores muy bajos. Una isoterma que es cóncava hacia arriba recibe el nombre de desfavorable debido a que se obtienen cargas de sólido relativamente bajas y a que conducen a largas zonas de transferencia de materia en el lecho (McCabe et al., 2007).

- **Isoterma de adsorción de Langmuir**

El modelo de Langmuir fue desarrollado originalmente para la adsorción de los gases en sólidos y se basa en la suposición de que la adsorción se produce en sitios localizados con ninguna interacción entre las moléculas de adsorbato (Motsi, et al., 2009).

Ecuación 2. Lineal del modelo de Langmuir.

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b} + \frac{c_e}{Q_0}$$

Donde:

C_e = Es la concentración en el equilibrio (mg/L).

Q_e = Representa la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg Cr(VI)/g).

Q_0 = Es la máxima cantidad de metal que puede ser adsorbido en la monocapa.

b = Es la constante relacionada a la energía de adsorción (L/mg).

- **Isoterma de adsorción de Freundlich**

Describe el equilibrio sobre una superficie heterogénea que es más frecuente en los sistemas naturales. Además, la Zeolita es un adsorbente heterogéneo debido a la porosidad (Motsi et al., 2009).

Ecuación 3. Forma lineal del modelo de Freundlich.

$$\log q_e = \log K_f + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e$$

Donde:

K_f y n = Representan los factores que afectan la capacidad e intensidad de adsorción, respectivamente, y son indicativos de retención favorable del metal sobre la superficie del adsorbente.

e. Tipos de Zeolita

Tabla 1

Tipos de Zeolita con respecto a su origen

Naturales	Sintéticas
Chabazita	Zeolita A
Clinoptilolita	Zeolita X
Erionita	Zeolita Y
Faujasita	Zeolita P
Mordenita	Analcima

Fuente: Martínez Huertas, D. & Cicuamía Ayala, C. (2016)

f. Zeolita Clinoptilolita

La Zeolita natural clinoptilolita es una de las más abundantes y de mayor importancia económica. Es un aluminosilicato hidratado que tiene una estructura cristalina tridimensional microporosa (Farías et al., 2018). Cabe mencionar, que es una de las Zeolitas sedimentarias más abundantes en las zonas volcánicas de México. Además, es una de las Zeolitas de mayor abundancia en la naturaleza y por sus propiedades únicas, han sido objeto de investigación (Farías et al., 2018). En las últimas décadas, el mineral zeolítico clinoptilolita ha sido utilizado en el proceso de tratamiento de agua potable gracias a su poder adsorbente, resistencia mecánica, estabilidad química y los valores de abrasión que permiten que las Zeolitas Naturales puedan ser utilizadas como material de filtración (Farías et al., 2018).

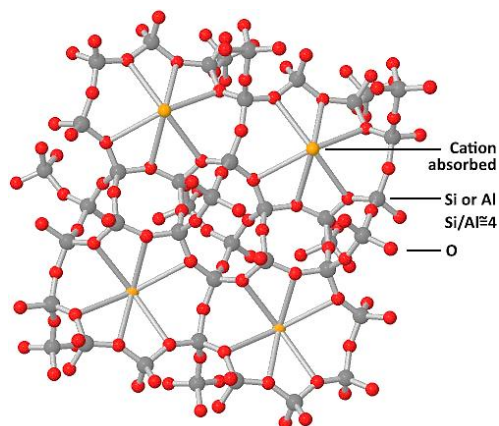


Figura 3. Estructura de Zeolita Clinoptilolita.

Fuente: Rota Mining Corporation (2018).

g. Tratamiento de aguas residuales con Zeolitas

La presencia de metales pesados como zinc, cromo, plomo, cadmio, cobre, arsénico, etc., en las aguas residuales es un grave problema ambiental y su eliminación por Zeolitas Naturales se han estudiado ampliamente junto con otras tecnologías, incluyendo la precipitación química, ion intercambio, adsorción, filtración de membrana, floculación coagulación, flotación y métodos electroquímicos (Margeta et al., 2013). Recientes investigaciones de Zeolitas Naturales como adsorbentes en agua y tratamiento de aguas residuales, sus propiedades y posible modificación de las Zeolitas Naturales han sido objeto de muchos estudios. Cabe mencionar, que la modificación de las zeolitas naturales se puede

realizar por varios métodos, tales como tratamiento con ácido, intercambio iónico, y funcionalización tensioactivo (Margeta et al., 2013).

B. Remoción de Cromo

a. Definición de Cromo

Es un elemento químico considerablemente usado en actividades industriales como el curtido de pieles, cromado electrolítico, y la producción de pigmentos y colorantes, entre otros (Coreño et al., 2010).

Debido a este uso intensivo, el equilibrio del cromo en la naturaleza se ha roto por la alteración de su ciclo geoquímico, convirtiéndolo en un contaminante del ambiente (Coreño et al., 2010). Es por ello, que los grandes volúmenes de residuos que generan estas industrias y su incapacidad de manejo han provocado la contaminación del aire, agua y suelo; lo cual hoy en día se ha convertido en un riesgo ambiental (Netzahuatl et al., 2010).

El cromo es capaz de formar compuestos con otros elementos en estados de oxidación como (II), (III), (IV). Además, el cromo existe en nueve estados de oxidación, del -2 al +6; sin embargo, en la naturaleza los estados más estables del cromo son el trivalente Cr (III) y el hexavalente Cr (VI) (Netzahuatl et al., 2010). Cabe mencionar, que la forma hexavalente del cromo es altamente soluble en agua, móvil en el medio ambiente, tóxico, mutagénica, carcinogénica y es la más utilizada en los procesos industriales, mientras que la forma trivalente es menos soluble, menos móvil, menos tóxica, menos mutagénica que la forma hexavalente. Es por ello, que es un elemento de traza esencial necesario para el metabolismo de la glucosa y de lípidos, así como para el manejo de aminoácidos (Netzahuatl et al., 2010).

b. Uso de cromo en las industrias

El cromo es un metal pesado ampliamente manejado en diversos procesos industriales, tales como en la galvanoplastia, curtido de pieles, producción de cintas magnéticas, pigmentos, tintas, películas fotográficas, partes automotrices, equipo eléctrico y electrónico, entre otros (Netzahuatl et al., 2010). Es por ello, que se han concebido grandes volúmenes residuos o efluentes como las

aguas residuales de las industrias, causando el deterioro del sistema de alcantarillado, los malos olores para la población, entre otros.

c. Uso de cromo en Industrias de cuero

El sector del cuero en general se agrupa bajo la preparación, curtido, y acabado del cuero. Las industrias con un mayor impacto medioambiental se agrupan bajo el epígrafe de la Nomenclatura de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE); es decir CNAE 44 = 19.10: "Preparación, Curtido y Acabado del Cuero". El número de industrias del sector curtido en España es del orden de 3.000, de las cuales cerca del 15% se dedica al curtido (Arce et al., 1999). El curtido es un proceso por el que se convierte la piel de un animal en cuero. Es por ello, que para conseguir un curtido se precisa que las fibras de colágeno reaccionen con los agentes de curtido para formar el cuero. Los procesos que se realizan son:

- Lavado y remojado.
- Desengrasado.
- Apelmbrado.

- Macerado.
- Piquelado.
- Curtido.
- Recurtido, coloreado e impregnación en grasa.
- Acabado.

d. Contaminación de agua por metales pesados

La contaminación por metales pesados como el arsénico, plomo, cromo, entre otros, es un problema de grado ambiental, debido a que no son eliminados por procesos naturales. Los metales pesados pueden ser altamente peligroso para los seres vivos y pueden ocasionar alteraciones celulares (Netzahuatl et al., 2010).

e. Aguas residuales industriales

Las aguas residuales contienen material suspendido y componentes disueltos, tanto orgánicos como inorgánicos (Silva et al., 2008). Las industrias, comercios y prestadores de servicios pueden descargar gran cantidad de contaminantes convencionales. Los tipos de contaminantes descargados al sistema de tuberías,

dependerán de las materias primas que son usadas en el proceso de fabricación de algún producto (Cortes et al., 2010). Es por ello, que las características de las aguas residuales pueden variar en función del proceso productivo que se utilice, en el caso de una fábrica de cuero se generan en las aguas residuales:

- Aguas ácidas procedentes de las etapas de curtido, tintura y engrase.
- Aguas básicas generadas en las etapas de remojo y apelmbrado fundamentalmente.
- Aguas sanitarias y pluviales.

f. Efecto del cromo en el ambiente y en la salud

El problema de la contaminación del medio ambiente por metales pesados es que su efecto es silencioso. Cabe mencionar, que las mayores actividades humanas que incrementan las concentraciones de Cromo (III) son el acero, las industrias textiles, pintura eléctrica y otras aplicaciones industriales del Cromo (VI). Por lo tanto, estas aplicaciones incrementarán las concentraciones del cromo en agua (Romero, 2009).

Cada metal y cada elemento químico contaminante tienen un mecanismo de acción y un lugar de acumulación preferido. Dentro de las sustancias tóxicas altamente peligrosas para la salud se encuentran los metales pesados y algunos metaloides (Romero, 2009). Los mismos son no biodegradables y pueden sufrir transformaciones químicas y biológicas en el medio ambiente, convirtiéndolas en sustancias de alto riesgo (García et al., 2016).

Cabe mencionar, que los riesgos a la salud en las industrias del cromo, se dan por la inhalación y contacto cutáneo-mucoso con polvos, vapores y nieblas, que se desprenden en la fabricación de compuestos de este elemento y baños galvanoplásticos (García et al., 2016). En el proceso de curtido del cuero, es un transcurso que genera miles de toneladas de desechos potencialmente tóxicos. Es por ello, que los diversos compuestos de cromo hexavalente representan la mayor amenaza, especialmente debido a sus efectos genéticos. El efecto cancerígeno de los compuestos de cromo (VI) se presentan como lesiones renales (García et al., 2016).

g. Ciclo del Cromo en el medio ambiente

En general, los efluentes industriales que contienen cromo se incorporan a los recursos hídricos, y eventualmente llegan al océano.

La forma química dependerá de la presencia de materia orgánica en las aguas, ya que, si se encuentra presente en grandes cantidades de cromo (VI) será reducido a (III), el cual se podrá absorber en las partículas o formar complejos insolubles (Miranda, 2007). De esta manera, se mantendrán en suspensión cerca del sitio de entrada al ambiente, ser transportados al océano. La proporción de cromo (III) es directamente proporcional a la profundidad de los sedimentos (Miranda, 2007).

h. Remoción de Cromo

La remoción es una técnica que permite remover metales pesados de distintos cuerpos contaminados. Cabe resaltar que la remoción de metales pesados de aguas residuales plantea un problema de difícil solución debido a que no son biodegradables y usualmente presentan una elevada toxicidad para los organismos acuáticos de los cuerpos receptores (Contreras, et al., 2009). Es por

ello, que el cromo es un contaminante ampliamente difundido en el ambiente, la cual es proveniente de industrias metalúrgicas, cromados, curtiembres y químicas (Contreras, et al., 2009).

i. Normatividad ambiental

- **Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.**

DECRETO SUPREMO N° 010-2019-VIVIENDA, aprueban los Valores Máximos Admisibles para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado, promulgado y publicado el 11 de Marzo del 2019.

- **Aprueban el Reglamento de Gestión Ambiental para la industria manufacturera y comercio interno**

DECRETO SUPREMO N° 017-2015-PRODUCE, publicada el 6 de junio del 2015, en su artículo 12 nombra 12.1 El titular es responsable por el adecuado manejo ambiental de las emisiones, efluentes, ruidos, vibraciones y residuos sólidos

que se generen como resultado de los procesos y operaciones en sus instalaciones; así como, por cualquier daño al ambiente que sea causado como consecuencia del desarrollo de sus actividades.

1.1.2.3 Definición de términos

- **Metales pesados:**

Son un grupo específicos de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierto nivel de toxicidad para el ser humano. Además, tienen aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios.

- **Tiempo de contacto:**

Se define como la longitud o variación de tiempo, cuando una sustancia está en contacto con un líquido, antes de ser eliminada por filtración o por la presencia de un cambio químico.

- **Temperatura:**

Es una magnitud escalar que mide el estado térmico de un



cuerpo, asignándole un valor numérico. Además, el grado de movimiento de las moléculas depende del estado de la sustancia.

- **El pH:**

Con respecto a los metales pesados tiene un impacto relevante, ya que influye en el estado químico del sitio activo, valores extremos de pH, grado de ionización, la acidez y alcalinidad del suelo, la carga de iones y cationes, y la especiación del adsorbato.

1.2 Formulación del problema

¿En qué medida influye el tiempo de contacto y masa de Zeolita Natural en la adsorción de Cromo Total de efluentes de la curtiembre Cuenca?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar en qué medida influye el tiempo de contacto y masa de Zeolita Natural (*Clinoptilolita*) en la adsorción de Cromo Total de los efluentes de la curtiembre Cuenca.



1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la masa adecuada de Zeolita Natural para la adsorción de Cromo Total de los efluentes de curtiembre.
- Determinar la influencia del tiempo de contacto y cinética de adsorción de Cromo Total de los efluentes de curtiembre.
- Realizar modelamiento matemático de isothermas de adsorción (Freundlich y Langmuir).
- Determinar la capacidad de adsorción de Zeolita Natural a condiciones adecuadas de los efluentes de curtiembre contaminados con Cromo.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

H0: El tiempo de contacto y masa de Zeolita Natural no influirá en la adsorción de Cromo Total de los efluentes de curtiembre Cuenca.

H1: El tiempo de contacto y masa de Zeolita Natural influirá en la adsorción de Cromo Total de los efluentes de curtiembre Cuenca.

Tabla 2

Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Tiempo de contacto	Es el tiempo transcurrido en el cual un fluido específico está en contacto con otra sustancia, en algunos casos el tiempo de contacto es un factor que determina la eficiencia en la remoción de metales pesados y contribuye en algunos a identificar la naturaleza del proceso.	Se realizó el estudio del tiempo de contacto a través de la cinética de adsorción en sistemas de tipo lote (Batch) hasta determinado tiempo para alcanzar el equilibrio de adsorción.	Tiempo de Contacto	N° de minutos	De razón
Masa de Zeolita	Es una magnitud física, una medida cuantitativa que permite calcular la cantidad necesaria de Zeolita para adsorber cromo. Es decir, la masa de Zeolita natural es la relación masa de Zeolita/volumen de efluente, por lo tanto, la masa adsorbente dependerá de la concentración del soluto.	La masa de Zeolita adecuada para la remoción de cromo total se determinó a través de la isoterma de Langmuir, donde se obtuvo la capacidad de absorción máxima de la Zeolita en relación de miligramos de cromo removido por gramos de Zeolita utilizado a bajo condiciones experimentales.	Masa de Zeolita	Cantidad de gramos de Zeolita	De razón
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Concentración de Cromo Total	La concentración de cromo total en una solución de agua (efluente) es la presencia de la masa del ion cromo en una solución acuosa que generalmente se encuentra en aguas negras provenientes en su mayoría del sector industrial.	Se realizó el análisis de la concentración final de la Zeolita Natural (<i>clinoptilolita</i>) con el equipo de espectrofotometría de absorción atómica, donde se analizó la cantidad de cromo resultante del proceso de adsorción en efluente de curtiembre contaminado con cromo, entre otros metales.	Propiedades físico - químicas	Temperatura	De intervalo
				pH	De intervalo
				Concentración de cromo adsorbido mg/L	De razón

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es experimental pura (Hernández, 2014).

2.1.1. Subtipo de investigación

Experimental puro factorial con replicas.

2.1.2. Diseño experimental

Tiempo de Masa de Zeolita contacto	30 minutos	60 minutos	90 minutos	120 minutos	150 minutos	180 minutos	210 minutos	240 minutos
0.05 gramos	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3
0.2 gramos	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3
0.5 gramos	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3
1 gramos	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3
1.5 gramos	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3
2 gramos	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3
2.5 gramos	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3
3 gramos	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2
	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3

Fuente: Elaboración Propia.



2.2. Población y Muestra

2.2.1. Población

En el presente proyecto de investigación se consideró como población a los efluentes resultantes de la actividad productiva de la empresa de curtiembre Cuenca S.A.C., ubicada en la ciudad de Trujillo, distrito La Esperanza; las mismas muestras que fueron tomadas durante el mes de enero del año 2019.

2.2.2. Muestra

El tipo de muestreo en el presente proyecto de investigación fue no probabilístico porque se seleccionaron las muestras en base al criterio del investigador de acuerdo a las necesidades propias del proyecto de investigación. La muestra utilizada fue 1 litro del efluente de la caja de registro de la curtiembre Cuenca, la misma que fue resultado de los procesos de pelambre, recurtido y remojo.

2.3. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

2.3.1. Técnicas

a) Toma de muestra de efluente de curtiembre

Se realizó la toma de muestra puntual, que fue tomada al azar desde la caja de registro de la curtiembre Cuenca, esta envía los efluentes que resultan de la

combinación de las aguas residuales de cada uno de los procesos (pelambre, recurtido, remojo, etc.) realizados en la curtiembre, hacia el alcantarillado sanitario. Cabe mencionar, que el volumen parcial se determinó de acuerdo a la proporción del caudal del agua residual en el momento del muestreo y lo necesario para realizar los análisis correspondientes.

Tabla 3

Recursos utilizados en la toma de muestra

Recurso	Descripción
Transporte	Vehículo para transporte terrestre (camioneta).
Instrumentos	Dos frascos de plásticos y vidrio, guantes y mascarillas.
Equipos	GPS y cámara fotográfica.
Formatos	Etiquetas, ficha de campo, cadena de custodia.
Permisos	Autorización por parte de la curtiembre Cuenca,
Equipo de protección	Botas de jebe cortas, lentes y casco.
Objetos	Plumones indelebles, lápices, cinta adhesiva y tablero.

Fuente: Elaboración Propia.

b) Pruebas en lotes

Para determinar de qué manera influye el tiempo de contacto y la masa de Zeolita natural (*Clinoptilolita*), se tomó en cuenta el sistema por lotes (*Batch Processing*) en este proceso se usa cierta cantidad de Zeolitas Naturales que se



colocan en contacto con las soluciones de muestras patrones, en primera instancia se varió el factor tiempo de contacto hasta encontrar el tiempo de equilibrio, que fue determinado de acuerdo a la variación del porcentaje de remoción, posteriormente se varió la masa de Zeolita natural, para mostrar que la eficacia en la remoción de iones metálicos por Zeolita natural depende de la cantidad y capacidad de intercambio iónico de la Zeolita, así como la presencia de otros cationes y aniones en el efluente tratado. Cabe indicar, que durante el proceso de experimentación se trabajó con un valor de pH 6 y a una temperatura ambiente de 23°C.

c) Preparación de muestra patrón de cromo

La concentración de cromo inicial fue de 20 mg/L, el valor escogido fue el doble del valor ideal del VMA para Cr Total de acuerdo al D.S N° 010-2019-VIVIENDA. Como se citó en el marco teórico, los estudios por lotes determinan la capacidad máxima de adsorción, al hacer variable algunos parámetros que influyen en el proceso de adsorción, tales como el tiempo de contacto y la masa de Zeolita Natural.

Al estudio de la variación del tiempo de contacto con la finalidad de predecir la velocidad a la cual el contaminante se remueve del efluente tratado, se le denomina cinética de adsorción.

Por otro lado, al modelo matemático que estudia del proceso de variación de masa de la Zeolita Natural para determinar la capacidad de adsorción de estas, se le denomina isothermas de adsorción.

Los resultados fueron expresados en función de un porcentaje de adsorción teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Porcentaje de adsorción.

$$\%adsorción = \frac{C_i - C_f}{C_f} \times 100$$

Dónde:

C_i = Concentración inicial de cromo

C_f = Concentración final de cromo

d) Espectroscopia de absorción atómica

Es la técnica de laboratorio que se empleó para determinar la concentración de cromo total y se realizó mediante el uso del equipo de espectrofotometría de absorción atómica.

2.3.2 Instrumentos

a) Equipos o instrumentos

Tabla 4

Equipos y métodos usados para la investigación

Equipo y/ o material	Parámetro y/o uso	Método
pH-metro	Medición de pH	pH value. Electrometric Method. 4500-H+. APHA-AWWA.
Balanza analítica	Masa de Zeolita Natural	Pesaje
Espectrofotómetro de Absorción Atómica	Cromo total	Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method.3111 B. APHA-AWWA.
Agitador	Agitación	Método Shake Flask
Equipo de Filtración	Filtración	Filtración por gravedad

Fuente: Adaptado de APHA-AWWA-WEF. 23rd Edition, 2017.

b) Materiales de Laboratorio

- 04 Vasos de precipitado 500 ml.
- 02 Probeta 250 ml.
- 08 Vasos de precipitado 100 ml.
- 01 caja de Papel filtro.
- 06 Embudo para filtración.

- 06 Erlenmeyers de 100 - 125 ml.
- 02 Pipetas aforadas de 5 - 100 ml.
- 02 Matraces aforados de 25 - 1000 ml.

c) Reactivos

- 100 mililitros de Ácido nítrico (HNO_3).
- 10 mililitros de Ácido clorhídrico (HCl).
- 10 mililitros de Ácido sulfúrico (H_2SO_4).
- 02 litros de Solución estándar de Cromo de 1000 mg/L.
- 10 litros de Agua destilada.

2.3.3 Procedimientos de recolección de datos

a) Preparación de la Zeolita y de las muestras patrones de Cromo.

- Tamizado de la Zeolita

Para el presente proyecto no se realizó el proceso de tamizado, debido a que se tomó en cuenta que la Zeolita utilizada cuenta con una ficha técnica que especifica sus dimensiones, donde indican que las Zeolitas están formadas por canales cuyo diámetro no excede a los 0.5 a 2 mm por lo tanto se considera material microporoso.

- Preparación de muestras patrones de Cromo

Los ensayos se realizaron usando soluciones de muestras patrón. Las muestras patrón de Cromo Total fueron usadas en dos procesos diferenciados.

En el proceso de la cinética de adsorción se prepararon 1200 ml de solución a una concentración de 20 mg Cr/L a partir de un material de referencia certificada de 1000 mg Cr/L trazable a NIST que fue mezclado con agua ultra pura hasta llegar a la concentración deseada. Además, se ajustó el pH titulando la solución con NaOH de 5 N hasta llegar a un pH 6. Se realizaron los siguientes cálculos:

Ecuación 5. Cálculo del volumen y concentración de cromo total 20 ppm (mg Cr/L).

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ mg/L Cr} \times V = 20 \text{ mg/L Cr} \times 1200 \text{ ml}$$

$$V = 24 \text{ ml}$$

Las muestras patrón de Cromo Total usadas en el proceso de las isothermas de adsorción fueron preparadas a concentraciones de 5, 10, 20, 30, 50, 80 y 120 mg/L de Cromo Total, para lo cual se necesitó 200 ml de solución patrón por cada repetición de concentración trabajada. Asimismo, se realizaron los cálculos correspondientes a la determinación del volumen a usar de la solución madre de 1000 ppm de Cr con la *Ecuación 1*.

Tabla 5

Volumen de solución madre para preparación de soluciones patrones

Concentración Patrón (mg/L)	Volumen necesario de solución madre (ml)
5	3
10	6
20	12
30	18
50	30
80	48
120	72

Fuente: Elaboración Propia.

Se agregaron estos volúmenes de solución de madre de 1000 ppm de Cr y se aforaron con agua ultra pura hasta llegar a los 600 ml de solución por cada uno de las soluciones patrones y se ajustó el pH con NaOH de 5N hasta mantener un pH de 6, este pH fue controlado con bandas de medición.

b) Efecto de la masa del Adsorbente

Se varió la masa de la Zeolita con respecto a la concentración de Cromo, manteniendo el tiempo de contacto en equilibrio determinado en la etapa anterior, el mismo que fue de 30 minutos.



Además, se tuvo en cuenta que las soluciones patrones de cromo fueron de 150 ml en cada caso con un pH de 6 y una concentración de Cromo Total inicial de 20 mg Cr /L para las 3 repeticiones correspondientes; luego de ello se procedió a agitar durante 30 minutos a 500 RPM.

A partir de los resultados se construyó una gráfica para evidenciar la masa de adsorbente que obtuvo una mejor eficiencia de remoción de Cromo Total. La ecuación lineal que resulta de dicha grafica es la que se utilizó para determinar la masa ideal para diferentes concentraciones de cromo total.

Se usaron los siguientes materiales e instrumentos que se usaron para la preparación de las siguientes cantidades de zeolita: 0.05, 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 gramos, para determinar la masa adecuada de Zeolita Natural se utilizó:

- 1200 ml de una solución de 20 mg/L Cromo Total.
- 03 vasos de precipitado de 500 ml.
- 08 vasos de precipitado de 50 ml.
- 01 probeta de 250 ml.
- 03 agitadores magnético (usado a 500 RPM).

c) Ensayo de cinética de adsorción

La cinética de la adsorción describe la velocidad de atrapamiento del adsorbato, lo cual controla el tiempo de residencia de éste en la interfase sólido-disolución y además su conocimiento permite predecir la velocidad a la cual el contaminante se remueve del efluente tratado, por tal razón se requiere el conocimiento de las leyes de velocidad que describen el sistema de adsorción.

La remoción de iones metálicos de soluciones acuosas depende de las interacciones de los iones metálicos con los grupos activos específicos asociados con la pared celular del biosorbente. Por lo tanto, la cinética de la bioadsorción indica la evolución de cada una de las etapas a través de las cuales ésta se lleva a cabo y cuál de ellas es la que controla el proceso (reacción química, difusión y/o transferencia de masa).

- Metodología:

La determinación de la cinética de adsorción de las muestras de Zeolita Natural (*Clinoptilolita*) se llevó a cabo en un sistema Batch a la temperatura de 23°C y pH 6, ambos parámetros constantes, estas condiciones fueron determinadas mediante la revisión bibliográfica. Luego, en un vaso de precipitado de 500 ml, se colocaron 400 ml de la solución patrón de 20mg/L

de Cr Total y se pusieron en contacto con 2 g de Zeolita, con agitación constante de 500 RPM por un tiempo de 240 minutos, realizando mediciones de concentración en intervalos de 30 minutos.

- Determinación de la remoción de cromo:

Para medir la concentración de cromo final, se realizó la técnica de la Espectroscopía, mediante el uso del equipo de espectrofotometría de absorción atómica, para medir la concentración primero se preparó la muestra a analizar, se realizó así la digestión de la misma, que inició con la homogeneización de la muestra, luego se realizó una toma de 5.00 ml con pipeta aforada tal que la solución final esté en el rango de medida, al ser esta una muestra muy concentrada se debe diluir luego de la digestión. Paralelamente se realizó un blanco de digestión sustituyendo la muestra por agua destilada. Además, se agregó 5 ml de HNO_3 con esta solución se procedió a calentar un calefactor hasta tener ebullición leve, se tuvo en cuenta concentrar al menor volumen tal que no ocurra precipitación. Luego, se lavó el erlenmeyer con agua, además se recogió el filtrado en un matraz aforado. Finalmente, se dejó enfriar a temperatura ambiente y luego se aforo con agua destilada. Para la medición de la concentración se realizó la curva de calibración del equipo, esta curva fue determinada a partir de las soluciones estándar de 0,25 y 20,0 mg/L de cromo obtenidas de la solución, con el agregado de HNO_3 tal que su concentración final sea del 1%.

- Análisis matemático de la cinética de adsorción:

- Modelo matemático de Pseudo Primer Orden o Largengren.

Este modelo se ha aplicado a varios sistemas de adsorción. La expresión matemática se basa en que a cada ión metálico se le asigna un sitio de adsorción del material adsorbente, lo cual en términos de velocidad de reacción se expresa como:

Ecuación 6. Pseudo primer orden.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 * (q_e - q_t)$$

Donde:

q_t (mg/g) = es la cantidad adsorbida en un tiempo t

q_e (mg/g) = es la cantidad adsorbida en el equilibrio

k_1 : (min-L) = es la constante cinética de primer orden.

Integrando la ecuación y aplicando como condiciones de contorno a: $t=0$, $q_t=0$ y a $t=t$ $q_t=q_t$:

Ecuación 7: Pseudo primer orden derivada.

$$q_t = q_e * (1 + e^{-k_1*t})$$

Además, para poder ser aplicada a través de una ecuación lineal se despeja las variables obteniendo finalmente:

Ecuación 8. Pseudo primer orden linealizada.

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t$$

- Modelo matemático de Pseudo Segundo Orden o Ho.

Este modelo fue desarrollado por Ho y McKay. En él se supone que el adsorbato se adsorbe en dos sitios activos de la biomasa. En este caso, la ecuación de velocidad de la cinética de adsorción se expresa como:

Ecuación 9. Pseudo Segundo Orden.

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 * (q_e - q_t)^2$$

Integrando la ecuación anterior y manteniendo constantes las condiciones de contorno descritas para el modelo anterior, se tiene:

Ecuación 10. Pseudo Segundo Orden derivada.

$$q_t = \frac{t}{\frac{1}{K_2 * q_e^2} + \frac{t}{q_e}}$$



Donde:

q_t (mg/g) = es la cantidad adsorbida en un tiempo t .

q_e (mg/g) = es la cantidad adsorbida en el equilibrio.

k = es la constante cinética de primer orden (g/mg.min).

Asimismo, la ecuación lineal vendría a ser:

Ecuación 11. Pseudo Segundo Orden linealizada.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

d) Ensayo de las isothermas de adsorción.

Las isothermas de adsorción describen la manera como interactúa el adsorbato con la superficie del material adsorbente, en este caso la Zeolita; las isothermas fueron obtenidas graficando la capacidad de adsorción (q_e) expresado en mg de Cr/g Zeolita versus la concentración del Cr en equilibrio (C_e).

- Metodología:

La determinación de las isothermas de adsorción de las muestras de Zeolita Clinoptilolita Natural se llevó a cabo en un sistema Batch a la temperatura de 23°C y pH 6, ambos parámetros constantes, estas condiciones fueron determinadas mediante la revisión bibliográfica. Luego, en frascos erlenmeyer de 250 ml, se colocaron 200 ml de soluciones estándar de Cr preparadas a partir de la dilución una concentración patrón, a distintas concentraciones iniciales (5, 10, 20, 30, 50, 80 y 120 mg/L de Cr) y se pusieron en contacto con 2 g de Zeolita, con agitación constante de 500 RPM por un espacio de 30 minutos (tiempo establecido previamente para lograr las condiciones de equilibrio). Al cabo de este tiempo, la solución fue filtrada y se analizó la concentración remanente del Cr en la solución en equilibrio.

- Determinación de la remoción de cromo:

Para medir la concentración de cromo final, se realizó la técnica de la espectroscopía, mediante el uso del equipo de espectrofotometría de absorción atómica, para medir la concentración primero se preparó la muestra a analizar, se realizó así la digestión de la misma, que inició con la homogeneización de la muestra, luego se realizó una toma de 5.00 ml con pipeta aforada tal que la solución final esté en el rango de medida, al ser

esta una muestra muy concentrada se debe diluir luego de la digestión. Paralelamente se realizó un blanco de digestión sustituyendo la muestra por agua destilada. Además, se agregó 5 ml de HNO₃ con esta solución se procedió a calentar un calefactor hasta tener ebullición leve, se tuvo en cuenta concentrar al menor volumen tal que no ocurra precipitación. Luego, se lavó el erlenmeyer con agua, además se recogió el filtrado en un matraz aforado. Finalmente se dejó enfriar a temperatura ambiente y luego se aforo con agua destilada. Para la medición de la concentración se realizó la curva de calibración del equipo, esta curva fue determinada a partir de las soluciones estándar de 0,25 y 20 mg/L de cromo obtenidas de la solución, con el agregado de HNO₃ tal que su concentración final sea del 1%.

- Análisis de las isotermas de adsorción:
 - Modelo matemático de la Isoterma de Langmuir.

El modelo asume que la adsorción ocurre uniformemente en los sitios activados de la superficie del adsorbente, con la formación de una monocapa donde el calor de adsorción es constante para todos los sitios y que no existe interacción entre las moléculas adsorbidas.

Ecuación 12: Ecuación lineal del modelo de Langmuir.

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b} + \frac{c_e}{Q_0}$$

Donde:

C_e es la concentración en el equilibrio (mg/L)

Q_e representa la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg Cr/g)

Q_0 es la máxima cantidad de metal que puede ser adsorbido en la monocapa

b Es la constante relacionada a la energía de adsorción (L/mg).

- Modelo matemático de la isoterma de Freundlich

En el modelo de la isoterma de Freundlich se hace uso de una ecuación empírica, considerando que las energías de adsorción son heterogéneas y varían de acuerdo a la superficie cubierta.

Ecuación 13: Forma lineal del modelo de Freundlich.

$$\log q_e = \log K_f + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e$$

Donde:

K_f y n Representan los factores que afectan la capacidad e intensidad de la adsorción, respectivamente, y son indicativos de la retención favorable del metal sobre la superficie del adsorbente.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Masa de Zeolita

Se realizó la prueba para determinar la cantidad de Zeolita necesaria para remover una concentración inicial de 20 mg/L de Cromo Total.

Tabla 6

Variación de masa de Zeolita en la adsorción de Cromo Total de 20 mg/L

Masa de zeolita (g)	C _o (mg/L)	C _e (mg/L)	(C _o - C _e)	% Absorción
0.05	20.00	16.84	3.16	15.81
0.20	20.00	16.44	3.56	17.78
0.50	20.00	15.46	4.54	22.71
1.00	20.00	9.67	10.33	51.63
1.50	20.00	6.53	13.47	67.37
2.00	20.00	2.27	17.73	88.64
2.50	20.00	0.00	20.00	100.00
3.00	20.00	0.00	20.00	100.00

Fuente: Elaboración Propia

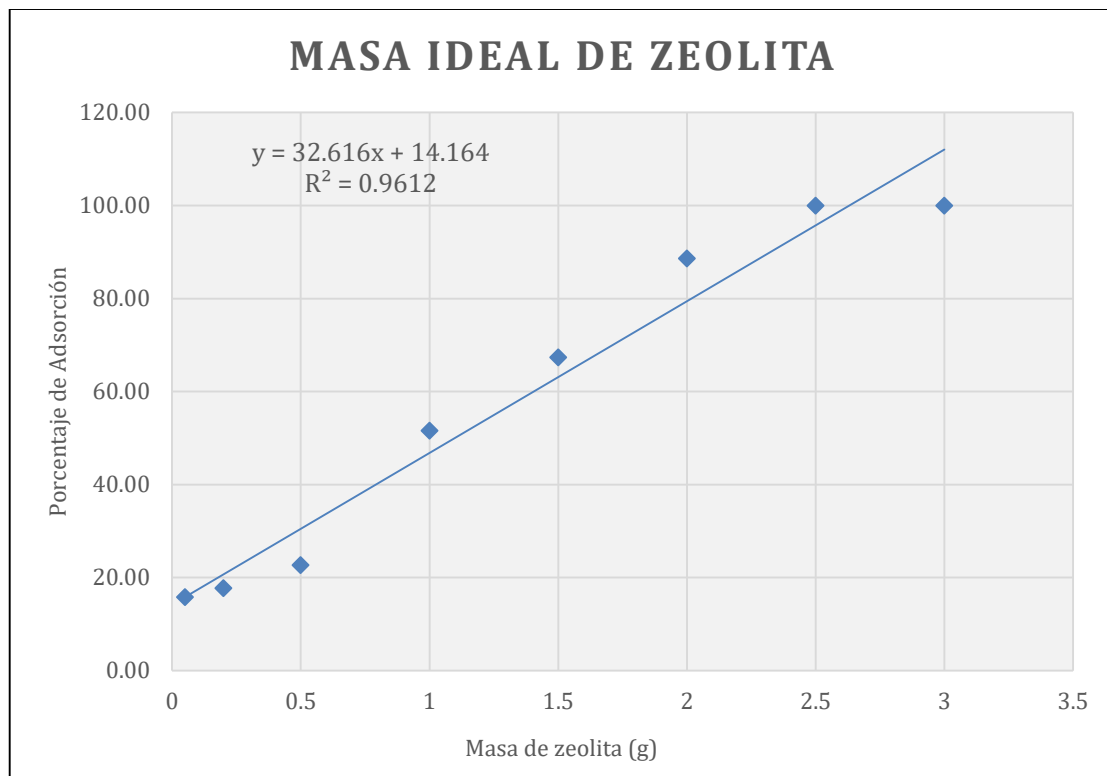


Figura 4. Masa de Zeolita Natural vs porcentaje de adsorción.

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la ecuación obtenida hallamos la masa de Zeolita que deberíamos agregar para obtener un porcentaje de adsorción del 100 %, así que despejamos la ecuación:

Ecuación 14. Ecuación para determinar masa de Zeolita Natural.

$$y = 32.616x + 14.164$$

$$100 = 32.616x + 14.164$$

$$32.616 x = 85.836$$

$$x = 2.6317 \text{ g}$$

La masa de Zeolita adecuada es de 2.6317 gramos, con una variación de +-15%.

3.2 Cinética de Adsorción

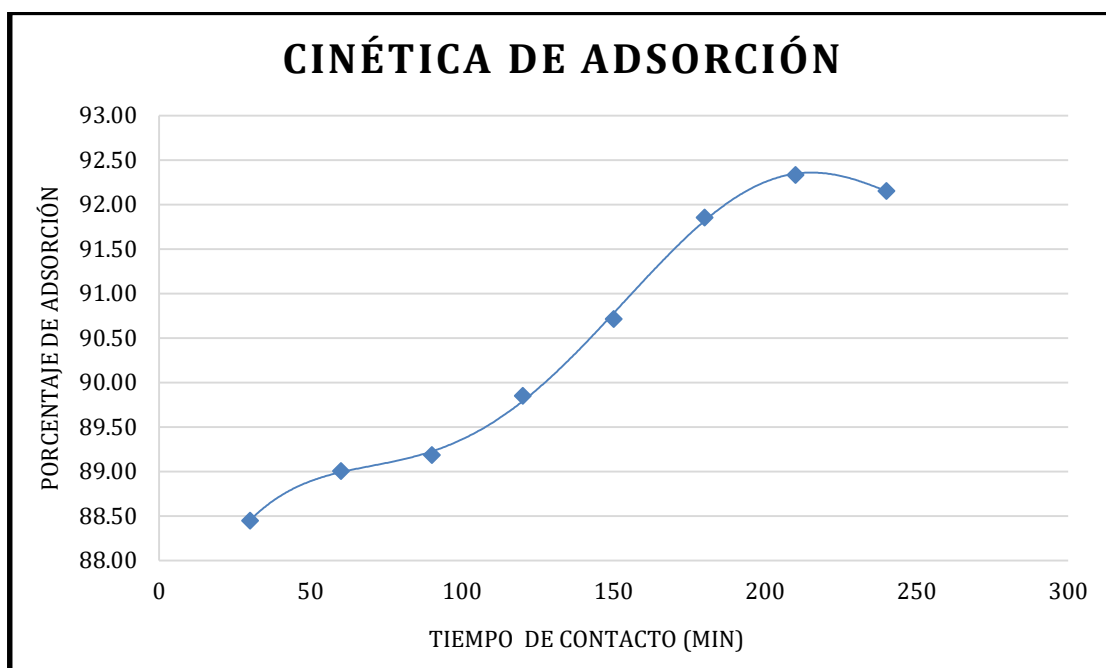


Figura 5. Cinética de adsorción de la Zeolita Natural, donde se determinó el tiempo ideal a través de la gráfica de tiempo versus porcentaje de adsorción, siendo el punto más alto (210 minutos) de la línea de tendencia del tiempo ideal de adsorción puesto que una vez superado este tiempo comienza a estabilizarse la adsorción.

Fuente: Elaboración Propia

- **Resultados de la experimentación para la cinética de adsorción de Pseudo**

Primer Orden o Lagergren

Para realizar el modelo matemático de la cinética de adsorción de Pseudo Primer

Orden se graficaron los valores de $\log(Q_e - Q_t)$ vs t.

Tabla 7

Cinética de adsorción de Pseudo Primer Orden

$\log(Q_e - Q_t)$	T
-0.8083	30
-0.8755	60
-0.9000	90
-1.0031	120
-1.1882	150
-1.7164	180
-2.1419	240

Fuente: Elaboración Propia

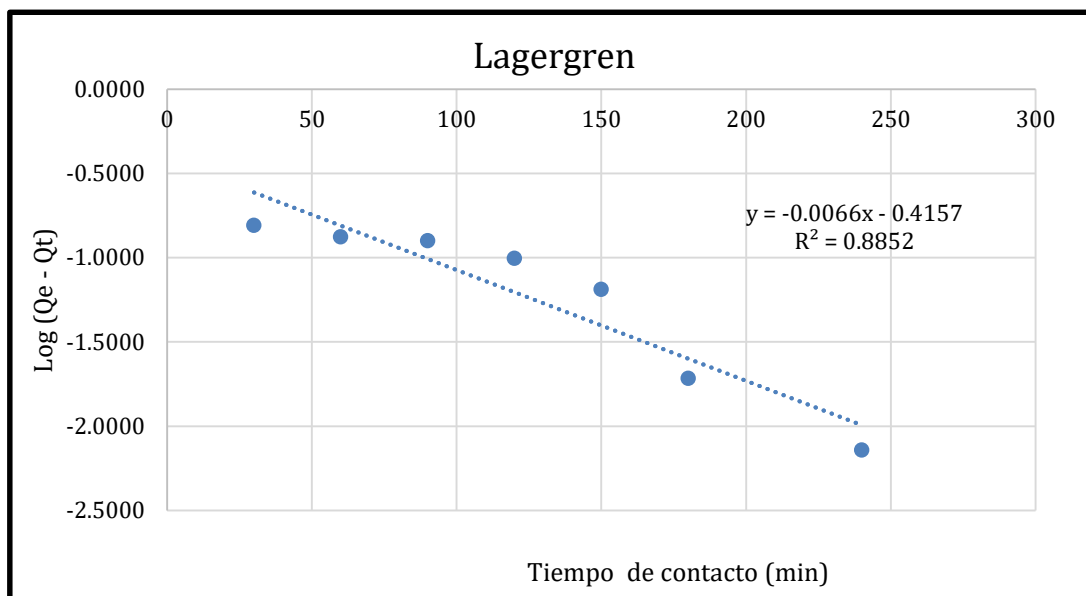


Figura 6. La cinética de adsorción de Lagergren obtenida al graficar $\log(Q_e - Q_t)$ vs tiempo de contacto no tuvo una buena correlación, siendo esta un valor de 0.8852, resultando en una capacidad de equilibrio (Q_e) de 0.3840 mg Cr/g Zeolita y la constante cinética de primer orden (K_1) igual a 0.0152.

Fuente: Elaboración Propia

- **Resultados de la experimentación para la cinética de adsorción de Pseudo Segundo Orden o Ho**

La cinética de adsorción de Pseudo Segundo Orden o Ho se obtuvo al graficar los valores de t/Q_t vs tiempo de contacto.

Tabla 8

Cinética de adsorción de Pseudo Segundo Orden

t / Q_t	t
8.4795	30
16.8529	60
25.2277	90
33.3877	120
41.3385	150
48.9903	180
56.8580	210
65.1077	240

Fuente: Elaboración Propia.

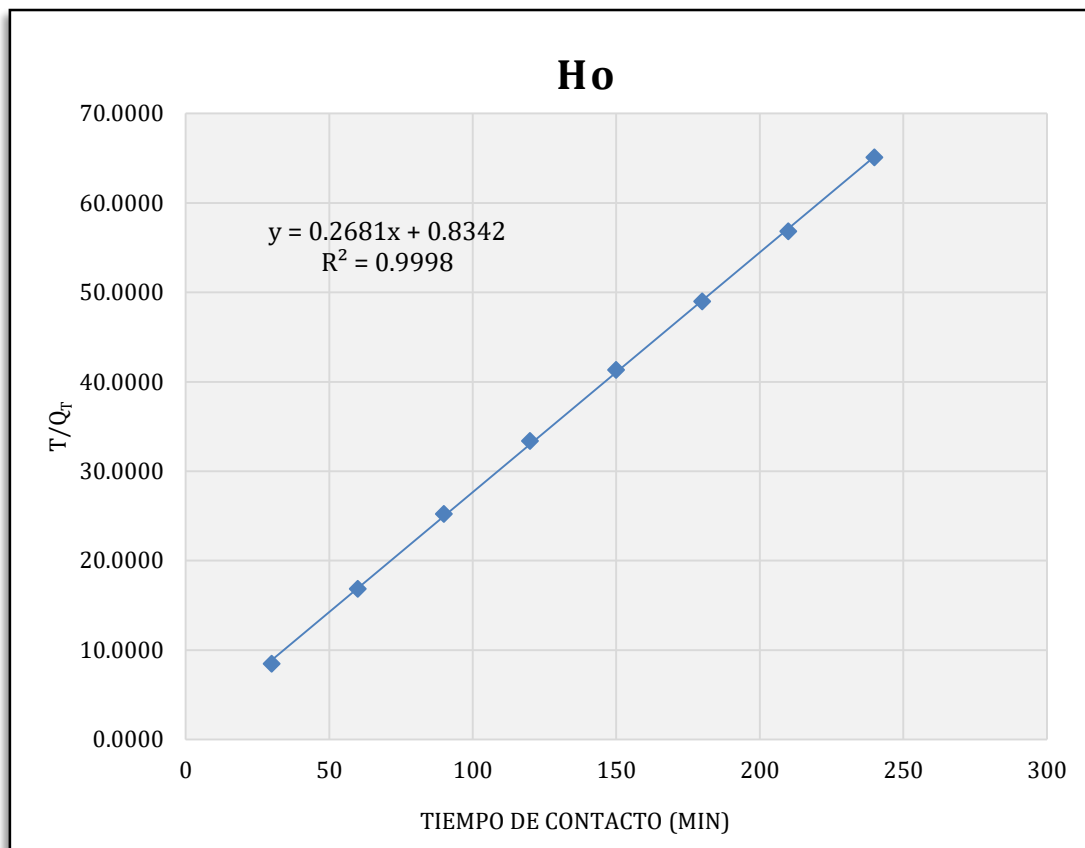


Figura 7. En esta gráfica se obtiene una mejor correlación entre los valores de t/Q_t vs tiempo de contacto, teniendo una correlación igual a 0.9998, esto nos indica que los valores de la cinética de adsorción se ajustan mejor al modelo de Ho. Asimismo, al despejar la ecuación se tiene valores para Q_e de 3.7300, mientras que para la constante de Pseudo Segundo Orden (K_2) un valor de 0.0862.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados del análisis de los modelos matemáticos para la cinética de adsorción del cromo usando Zeolita Clinoptilolita Natural fueron obtenidos a través de la experimentación a condiciones de temperatura ambiente (23 °C) y pH 6.

Tabla 9

Resultados de Pseudo Primer y Segundo Orden

Pseudo Primer Orden o Lagergren			Pseudo Segundo Orden o Ho		
Q _e	K ₁	R ²	Q _e	K ₂	R ²
mg / g	min ⁻¹		mg / g	g / mg * min	
0.3840	0.0152	0.8852	3.7300	0.0862	0.9998

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Isotermas de adsorción

Para determinar la capacidad de adsorción en el equilibrio (q_e) de la Zeolita se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 15. Isotermas de adsorción.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{M}$$

Donde:

q_e = es la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg Cr / g Zeolita).

C_0 = es la concentración inicial (mg/L).

V = es el volumen de la solución de Cr.

C_e = es la concentración en el equilibrio (mg/L) luego de la adsorción.

m = es la masa del adsorbente (g).

Tabla 10

Resultados de isoterma de adsorción

C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	Masa (g)	Volumen (L)	Q_e (mgCr/g Ze)
5	0.0000	2	0.2	0.5000
10	0.0000	2	0.2	1.0000
20	2.1457	2	0.2	1.7854
30	5.6210	2	0.2	2.4379
50	12.5120	2	0.2	3.7488
80	32.5400	2	0.2	4.7460
120	64.5007	2	0.2	5.5499

Fuente: Elaboración Propia

Las isotermas de adsorción describen la manera como interactúa el adsorbato con la superficie del material adsorbente, en este caso la Zeolita; las isotermas fueron obtenidas graficando la capacidad de adsorción (q_e) expresado en mg de Cr/g Zeolita versus la concentración de Cr en equilibrio (C_e).

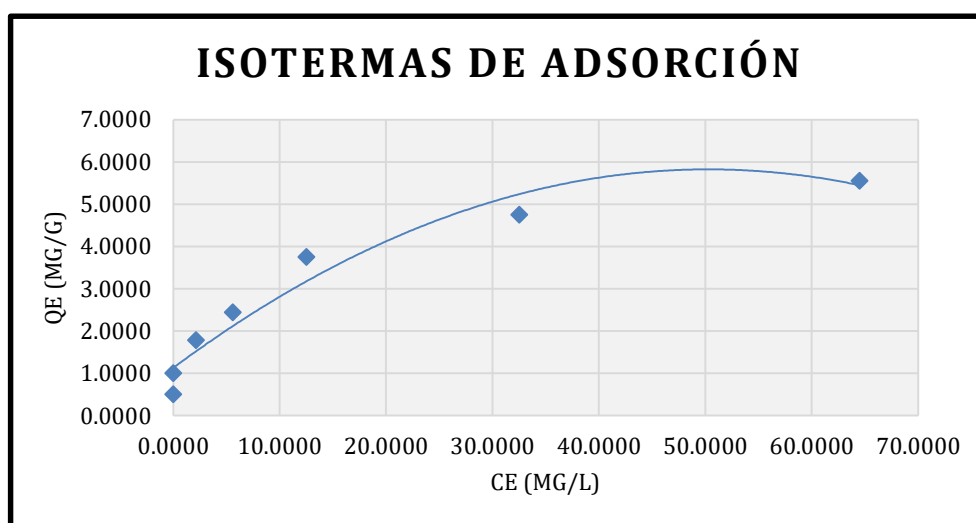


Figura 8. Isotermas de adsorción c_e vs q_e .

Fuente: Elaboración Propia.

- **Correlación de los valores experimentales con los modelos de isotermas:**

Los modelos de Langmuir y Freundlich son los más frecuentemente empleados para describir la relación entre la cantidad de adsorbato retenido y su concentración en el equilibrio en los sistemas de adsorción sólido - líquido.

- **Isoterma de adsorción de Langmuir:**

El modelo de Langmuir asume que la adsorción ocurre uniformemente en los sitios activados de la superficie del adsorbente, con la formación de una monocapa donde el calor de adsorción es constante para todos los sitios y que no existe interacción entre las moléculas adsorbidas.

Ecuación 16. Ecuación lineal del modelo de Langmuir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b} + \frac{C_e}{Q_0}$$

Donde:

C_e = es la concentración en el equilibrio (mg/L).

q_e = representa la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg Cr/g).

Q_0 = es la máxima cantidad de metal que puede ser adsorbido en la monocapa.

b = es la constante relacionada a la energía de adsorción (L/mg).

Tabla 11

Valores de C_e/q_e versus C_e

C_e / Q_e	C_e
0.0000	0.0000
0.0000	0.0000
1.2018	2.1457
2.3057	5.6210
3.3376	12.5120
6.8563	32.5400
11.6219	64.5007

Fuente: Elaboración Propia

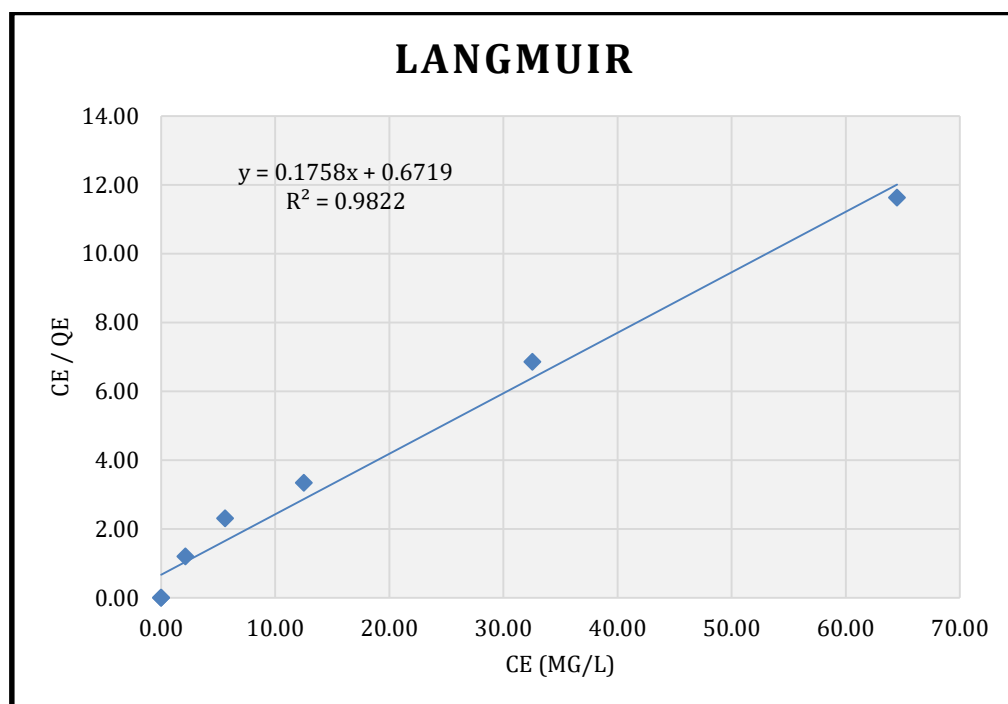


Figura 9. Los valores obtenidos con la isoterma de Langmuir tienen una correlación de 0.9822, al igualar la ecuación lineal con el modelo matemático se obtiene una capacidad máxima de adsorción de 5.6883mg/g, mientras que la constante de este modelo (b) tuvo un valor de 0.2616.

Fuente: Elaboración Propia

Este modelo grafica mejor el comportamiento de las isothermas de adsorción de la Zeolita Clinoptilolita Natural.

- **Isoterma de adsorción de Freundlich:**

En el modelo de la isoterma de Freundlich se hace uso de una ecuación empírica, considerando que las energías de adsorción son heterogéneas y varían de acuerdo a la superficie cubierta. La forma lineal del modelo de Freundlich es la siguiente

Ecuación 17. Isoterma de adsorción de Freundlich.

$$\log q_e = \log K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e$$

Donde:

K_f y n : Representan los factores que afectan la capacidad e intensidad de la adsorción, respectivamente, y son indicativos de la retención favorable del metal sobre la superficie del adsorbente. Estos valores se hallaron luego de graficar $\log q_e$ versus $\log C_e$, sin embargo, para los dos primeros valores no se pudieron añadir a la gráfica dado que no se puede resolver el logaritmo de un valor cero. Solo se tomaron en cuenta aquellos valores que pudieron ser resueltos.

Tabla 12

Valores de $\log(Q_e)$ vs $\log(C_e)$

$\log(Q_e)$	$\log(C_e)$
0.2517	0.3316
0.3870	0.7498
0.5739	1.0973
0.6763	1.5124
0.7443	1.8096

Fuente: Elaboración Propia

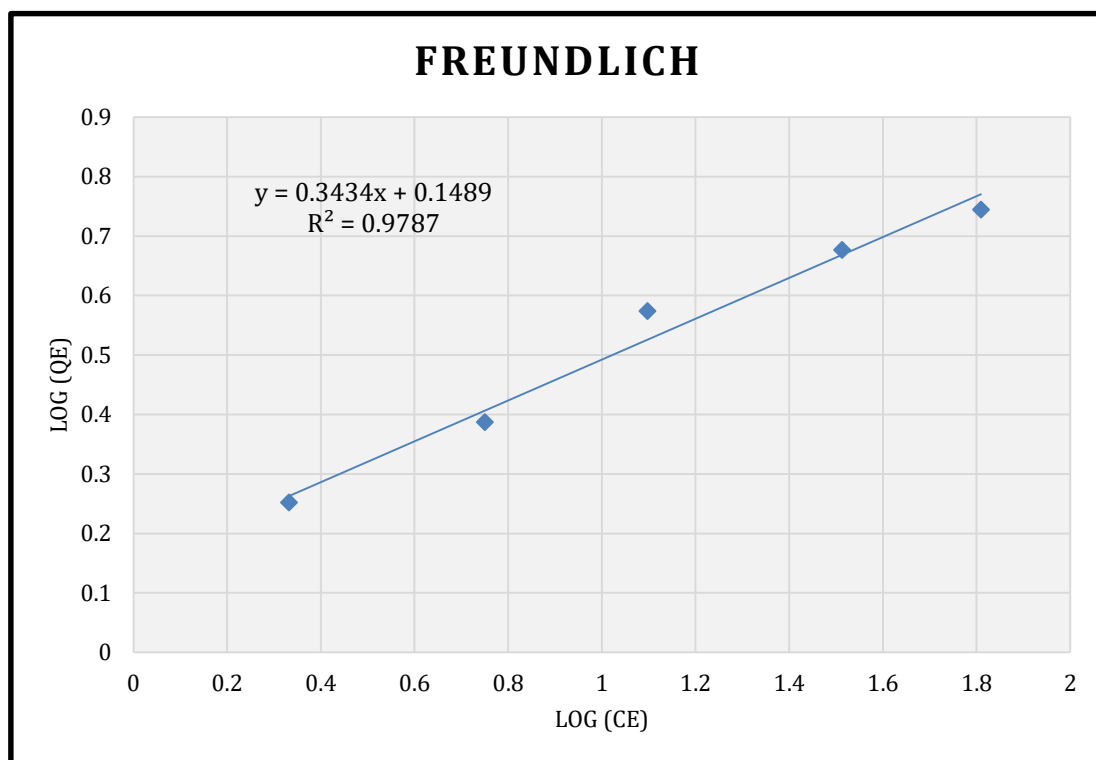


Figura 10. Los resultados obtenidos en esta gráfica nos muestran una correlación entre sus valores de 0.9787, mientras que despejando la ecuación lineal y la del modelo matemático se observa unos valores de 1.4089 y 2.9120 para k_f y n respectivamente.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados del análisis de los modelos matemáticos de las isothermas de adsorción del cromo usando Zeolita Clinoptilolita Natural fueron obtenidos a través de la experimentación a condiciones de temperatura ambiente (23 °C) y pH igual a 6 y se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 13

Resultados de isothermas de adsorción Langmuir

Langmuir			Freundlich		
Q _o	b	R ²	K _f	n	R ²
mg/g	L/mg				
5.6883	0.2616	0.9822	1.4090	2.9121	0.9787

Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de cromo del efluente de la curtiembre usando las condiciones óptimas de tiempo y masa de la Zeolita.

Luego de obtener las condiciones ideales tanto de masa de Zeolita como de tiempo de contacto se realizaron los ajustes para obtener una remoción adecuada dependiendo de la concentración inicial de un efluente real de la curtiembre Cuenta.

Teniendo una concentración inicial de 28.58 mg/L se realizó la siguiente ecuación

Ecuación 18: Masa de Zeolita Natural necesaria para adsorción de la concentración de Cromo Total

$$C_o * V / Q_e = M$$



Donde:

C_o = Concentración inicial de muestra del efluente a tratar

V = Volumen de la solución en la que se agregará zeolita

Q_e = Capacidad de adsorción hallada en la cinética de adsorción

M = Masa de zeolita natural necesaria para adsorción el C_o

$$28.5802 \text{ mg/L} * 0.4 \text{ L} / 3.73 \text{ mg/g} = 3.0649 \text{ g zeolita}$$

Se utilizó 3 gramos de Zeolita Natural a un tiempo de 210 minutos siendo estas las condiciones ideales para adsorción de Zeolita para muestra de efluentes de caja de registro de la curtiembre cuenca.

Tabla 14

Adsorción de Cromo Total con Zeolita Natural de la muestra de efluentes de caja de registro de Curtiembre Cuenca

Tiempo de contacto (Min)	Repeticiones	C(Cr) mg/L Inicial	C(Cr) mg/L Final	Desv. Est.	Promedio Final Cr mg/L	Concentración Removida Cr mg/L	% Adsorción
210	R1	28.5802	0.8432	0.0228	0.8678	27.7124	96.96
	R2	28.5802	0.8721				
	R3	28.5802	0.8881				

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados obtenidos muestran una remoción del 96.96% del total de la concentración de cromo inicial en la muestra.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En la figura 5 de cinética de adsorción se determinó que el tiempo adecuado a través de la gráfica de tiempo vs porcentaje de adsorción fue de 210 minutos el tiempo adecuado de acuerdo a la línea de tendencia; cabe mencionar que la experimentación se realizó con una muestra patrón de 20 mg Cr/L. Por otro lado, según (Davila & Solache, 2006) en sus estudios manifiestan que la cinética de adsorción de la Zeolita Natural Clinoptilolita muestra una adsorción más rápida en las 5 primeras horas de contacto y, posteriormente, alcanzó el equilibrio de adsorción en 24 horas con una muestra patrón de 200 mg/L. Esto se debe a que el tiempo de contacto depende de la concentración inicial de la solución.

De acuerdo a la figura 6 que describe la cinética de adsorción de Lagergren se obtuvo una correlación baja con un valor de 0,8852; lo que para este estudio significó la escasa adaptación al comportamiento cinético de la Zeolita Natural. Esto discrepa con (Jimenez Dalbosco y Carvalho, 2004), quienes en su artículo científico demostraron que la cinética de adsorción más utilizada para describir la adsorción de metales pesados de efluentes acuosos por Zeolita es la Ecuación de Primer Orden o Lagergren, la misma que se adecua a los datos experimentales con valor de correlación 0.9678. Sin embargo, referente a la figura 7 relacionada al tiempo de contacto de la Zeolita vs T/Q_T se obtiene mejor correlación en la cinética de Adsorción de Pseudo Segundo Orden con un valor de 0.9998, lo mismo que concuerda con las conclusiones de (Mthombeni, Onyango & Aoyi, 2014) que indican según los datos experimentales realizados para la cinética de

Absorción que el modelo matemático se ajustó mejor al modelo de Pseudo Segundo Orden con una correlación de 0.999; para valores de concentración inicial de 100, 175 y 300 mgCr/L se obtuvo valores iguales a 92.507, 128.205 y 157.723 respectivamente.

Todos los resultados anteriores sobre los análisis de modelos matemáticos para determinar la cinética de adsorción de Cromo Total usando Zeolita Natural (*Clinoptilolita*) fueron obtenidos bajo experimentación de laboratorio en condiciones estándares como: el tamaño de la Zeolita (2 mm), temperatura ambiente (23° C) y pH 6 del medio, lo que se aproxima a lo señalado por Dursun y Pala, (2007) quienes determinaron la capacidad de adsorción de la Zeolita Clinoptilolita en agua contaminada bajo condiciones de laboratorio; por lo tanto, variaron el pH de las soluciones, concluyendo que la mayor eficiencia de adsorción fue del 87% a un pH 5 a una velocidad de agitación de 200 RPM. En cuanto al tamaño de la Zeolita, según Córdova et al., (2013) al variar la granulometría de la Zeolita Natural obtuvieron mejores resultados de remoción de Cromo Hexavalente con diámetro de partícula de 1 a 2 mm, lo que se ajusta al diseño experimental. Así también lo confirman García et al., (1999) quienes concluyen que la velocidad inicial de intercambio del ion Cr (III) en las zeolitas Sintéticas y Naturales depende del tamaño de los poros y la capacidad de intercambio del material.

En cuanto a las Isotermas de Adsorción de Freundlich y Langmuir, el modelo de Langmuir tiene una correlación de 0.9822, lo que hace que este modelo matemático se adapte mejor que la isoterma de adsorción de Freundlich, lo que concuerda con Grespan et al., (2015) que concluyen de acuerdo a su diseño de investigación con soluciones

patrones de 0.5 a 10 mg/L que el modelo del Langmuir fue significativo y predictivo con una confiabilidad del 97.93%. Por otro lado, de acuerdo a la ecuación lineal de Langmuir se obtuvo la capacidad máxima de adsorción de 5.6883 mg Cr/g Zeolita lo que difiere con lo mencionado con el autor anterior ya que la capacidad máxima de la Zeolita para adsorber Cromo fue de 0.02 mg Cr/g Zeolita.

En la tabla 14 que detalla la adsorción de Cromo Total con Zeolita Natural Clinoptilolita de efluentes de Curtiembre Cuenca de concentración inicial 28.5802mgCr/L con tiempo de contacto de 210 minutos, se obtuvo un porcentaje de remoción de 96.96%, teniendo en cuenta los datos obtenidos durante la experimentación a través de los modelos matemáticos; lo que ratifica Rodríguez, F. y Rodríguez, I. (2018) al mencionar que las Zeolitas naturales, fundamentalmente la clinoptilolita son sustancias importantes en el control ambiental de residuales industriales. Además, que la eficiencia puede variar de acuerdo a la concentración inicial, temperatura, pH, tiempo de contacto, entre otros, debido a la susceptibilidad que tienen las Zeolitas Naturales a parte de su gran potencial en el tratamiento de efluentes contaminados por metales pesados (Shirato, M. 2007).

4.2 Conclusiones

En la investigación se concluyó que tanto el tiempo de contacto como la masa de Zeolita Natural (*Clinoptilolita*) influyeron directamente en el proceso de adsorción de Cromo Total de efluentes de la curtiembre Cuenca.

Se determinó a través de una ecuación lineal entre el porcentaje de remoción y la masa usada de Zeolita Natural (*clinoptilolita*) la adsorción de cromo de una muestra patrón de 20 mg/L de concentración inicial, por lo tanto, la masa adecuada de Zeolita Natural debe ser 2.6317 gramos en soluciones de pH 6 y temperatura ambiente.

Se realizó el modelamiento de las ecuaciones de la Cinética de Adsorción, donde el modelo del Pseudo Segundo Orden u Ho es el que mejor se adaptó a la presente investigación. Asimismo, al graficar se pudo observar en la curva de variación de la remoción de Cromo de acuerdo al tiempo de contacto que 210 minutos es el tiempo adecuado para la remoción de Cromo Total de la muestra patrón de 20 mg/L Cr.

Se realizó el modelo matemático de las Isotermas de Adsorción y se determinó que la Isoterma de Langmuir describe mejor la capacidad de adsorción de la Zeolita Natural.

Finalmente, se determinó que la capacidad de adsorción de la Zeolita Natural a condiciones adecuadas (tiempo de contacto y masa) tuvo un porcentaje de adsorción de hasta 99.96% donde la concentración inicial de la muestra de curtiembre fue de 28.5802 mg/L Cr y la concentración final fue de 0.8678 mg/L Cr.

4.3 Recomendaciones

- Determinar la influencia de la variación de las revoluciones de la solución, la temperatura ambiente y el diámetro de la partícula de la Zeolita Natural para la adsorción de cromo total en efluentes.
- Desarrollar un modelamiento matemático de ecuaciones para calcular la cantidad de Zeolita de acuerdo a la capacidad máxima de adsorción a condiciones ideales para efluentes de flujo continuo y variación de concentraciones.

REFERENCIAS

- Abdullah A. (2014) Aluminum Pollution Removal from Water Using a Natural Zeolite. *Revista Pollution Effects & Control*, 2(120), 1-4. doi: 10.4172/2375-4397.1000120
- Arce R., Blanco C., Bosch C., Khayat N., Monfort I., Neieto A., Padilla J., Pérez F., Picazo A., Sáenz C., Serna A., Visedo M., y Zahera M. (Ed.). (1999) Aguas residuales industriales. Madrid, España: Fundación Cotec.
- Córdova, V., Garcell, L., & Rodríguez, I. (2018). Remoción del cromo de residuales alcalinos con zeolita natural, en una columna de adsorción de lecho fijo. *Tecnología Química*, 38(2), 210-222. Recuperado en 14 de marzo de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S222461852018000200001&lng=es&tlng=es.
- Córdova, V., Rodríguez, I., Tito, D. y Acosta, R. (2013). Zeolita natural de Palmarito de Cauto para el tratamiento de licores residuales de industrias de fibrocemento. *Minería y Geología*, 29 (1), 42-59.
- Coreño A., Tomasini A., y Reyna G. (2010) Cromo: Lo bueno y lo malo, los inicios de una historia. *Revista enlace químico*, 2(7), 44-54. Recuperado de <http://www.dcne.ugto.mx/Contenido/revista/numeros/17/A5.pdf>
- Cortes F., Betancourt F., y Medran J. (2010) Control Inicial en la Descarga de Aguas Residuales Industriales y Comerciales. *Revista Conciencia Tecnológica*, (39), 43-49.
- Contreras, E., Ferro, O., Urriza, M. & Zaritzky, N. (2009). Cinética de remoción de Cromo (VI) con carbón activado. Centro de investigación y desarrollo en criotecnología de alimento (CIDCA). La Plata, Argentina. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/contreras.pdf>

- Davila R, J I, & Solache R, M. (2006) Sorption of cobalt in zeolites and natural clays of the clinoptilolite and kaolinite type; Sorcion de cobalto en zeolitas y arcillas naturales del tipo clinoptilolita y caolinita. Mexico.
- Dursun, S. & Pala, A., (2007). Lead pollution removal from water using a natural zeolite. Una revisión. *Environmental application & science*, 2(1&2), 11-19. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/c7ca/9ea808dbc51dc13ec3236ecd37241be32538.pdf>
- EcuRed. (2019) Zeolita. Intercambio iónico y selectividad. Cuba. Recuperado de <https://www.ecured.cu/Zeolita>
- Environmental Protection Agency. (2003). *European Commision*. Recuperado el 24 de julio de 2018 de <http://www.epa.ie/pubs/advice/brefs/tanning.pdf>
- Farías, T., Picazo, O., Concepción, B., y Charles. Louis. (2018) Cuban clinoptilolite for rhodamine B adsorption. Characterization of the obtained zeolite-dye materials. *Revista Cubana de Química*, 30 (2), 175-190. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4435/443557939001/index.html>
- García, R., Cid, R., y Arriagada, R. (1999). Retención de Cr (III) y Hg (II) en zeolitas. Influencia de la naturaleza de la zeolita y de variables de proceso. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 44(4), 435-442. <https://dx.doi.org/10.4067/S0366-16441999000400006>
- García, C., Lima, C., Ruiz, C., Santana, C., y Calderón, P. (2016). Agroecosistemas con probables riesgos a la salud por contaminación con metales pesados. *Revista Cubana de Química*, 28 (1), 378-393. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543743004>



- Greenpeace. (2012). *Cueros tóxicos II*. Recuperado de <https://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2013/contaminacion/Cueros-toxicos-II-Greenpeace.pdf>
- Grespan, G., Bianchin, L. y Tubino, R. (2015). Avaliação do uso de zeólitas na remoção de Cromo (VI) de efluente da indústria metalúrgica. *ABM Week*, 70 (70) 818 827. doi 10.5151/1516-392X-26449
- Giannetto, P. (1990). *Zeolitas: Características, Propiedades y Aplicaciones Industriales*, Caracas, Ed. Editorial Innovación Tecnológica, pp. 19.
- Hernandez Sampieri, R. (2014) *Metodología de la investigación*. Sexta edición. McGraw-Hill. Mexico. ISBN: 978-1-4562-2396-0
- Jimenez, R., Dal Bosco, S., & Carvalho, W. (2004). Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita - influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. *Química Nova*, 27(5), 734-738. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422004000500011>
- Margeta, K., Zabukovec, N., Šiljeg, M. y Farkas, A. (2013). Natural Zeolites in Water Treatment – How Effective is Their Use, En W. Elshorbagy y R. Kabir (Ed), *Water Treatment* (pp 81 – 112) DOI: 10.5772/50738. Recuperado de: <https://www.intechopen.com/books/water-treatment/natural-zeolites-in-water-treatment-how-effective-is-their-use>
- Martinez Huertas, D. & Cicuamía Ayala, C. (2016). *Síntesis y caracterización de zeolitas a partir de cenizas volantes de carbón*. (Tesis de grado) Universidad de ciencias aplicadas y ambientales “U.D.C.A.”, Bogotá.
- McCabe, Warren., Smith, Julian. & Harriot, Peter (2007) *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Séptima Edición. ISBN: 0-07-284823-5. Ciudad de México.



- Miranda, H. (2007). Bioindicadores, bioacumuladores y biosorción. Universidad Nacional de Trujillo.
- Muñiz, J. (2016). *Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Huachipa* (tesis de título profesional). Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú.
- Mthombeni, Onyango & Aoyi (2014). Adsorption of hexavalent chromium onto magnetic natural zeolite-polymer composite. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 50, pp. 242-251. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.12.037>
- Motsi T., Rowson N.A., Simmons M.J.H., 2009, Adsorption of heavy metals from acid mine drainage by natural zeolite, *Int. J. Miner. Process.*, 92, 42-48.
- Netzahuatl A., Cristiani M., y Cristiani E. (2010). Estudio cinético de la remoción de cromo hexavalente y de cromo total por la corteza del árbol de pirul. *Revista Cubana de Química*, XXII (3), 3-8. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543720001>
- Paredes, D. (2011). Estudio de la adsorción de compuestos aromático mediante carbón activado preparado a partir de la cáscara de castaña. Lima.
- Perry, Robert. H. (2001) Manual del ingeniero químico. Tomo I. México: McGraw-Hill. pp. 16-20. Sexta edición
- Paredes R., Maria A., Osuna E., Alamilla P., y Mandujano A. (2013) Zeolita Natural. Recuperado de http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3919/CIRCE_010208153800039686ok.pdf?sequence=1
- Rodríguez, G. y Rodríguez, I., (2018). *Eliminación de metales tóxicos mediante zeolitas naturales*. Madrid, España: Instituto de Catálisis y Petroleoquímica.

Romero Ledezma, K. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12 (1), 45-46. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426041218013>

Rota Mining Corporation, (2018) WHAT IS CLINOPTILOLITE? The Industrialized One. Recuperado de: <http://www.rotamining.com/clinoptilolite/>

Shizato, M. (2007). Remoção de metais pesados em solução por zeólitas naturais: revisão crítica. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, 27-28 (1/2), 65-78.

Silva Flores, J. (2016). Efecto coagulante de la alúmina en la remoción de sulfuros y sólidos suspendidos del efluente de pelambre, inversiones Harod S.A.C. (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú.

Silva J., Torres P., y Madera C. (2008) Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Revista Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180314732020>

Treybal, Robert. (1986) Operaciones de transferencia de masa. México: McGraw-Hill pp 625-645.

Velarde Hurtado, K. (2015). *Propuesta para la implementación de un sistema de gestión ambiental, basada en la norma ISO 14001:2004, para disminuir el número de aspectos ambientales significativos en la empresa curtiembre Quimipiel S.A.C. para el año 2014.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

Villavicencio C., Molina A., y Fernández L. (2009) Estudio de la adsorción de aniones sobre zeolitas sintéticas modificadas con surfactantes. *Revista de la facultad de ingeniería U.C.V.*, 24(3), 95-107. Recuperado de <https://docplayer.es/50634844-Estudio-de-la-adsorcion-de-aniones-sobre-zeolitas-sinteticas-modificadas-con-surfactantes.html>

ANEXOS

Anexo N°1: Mapa de Ubicación de la Curtiembre Cuenca S.A.C.

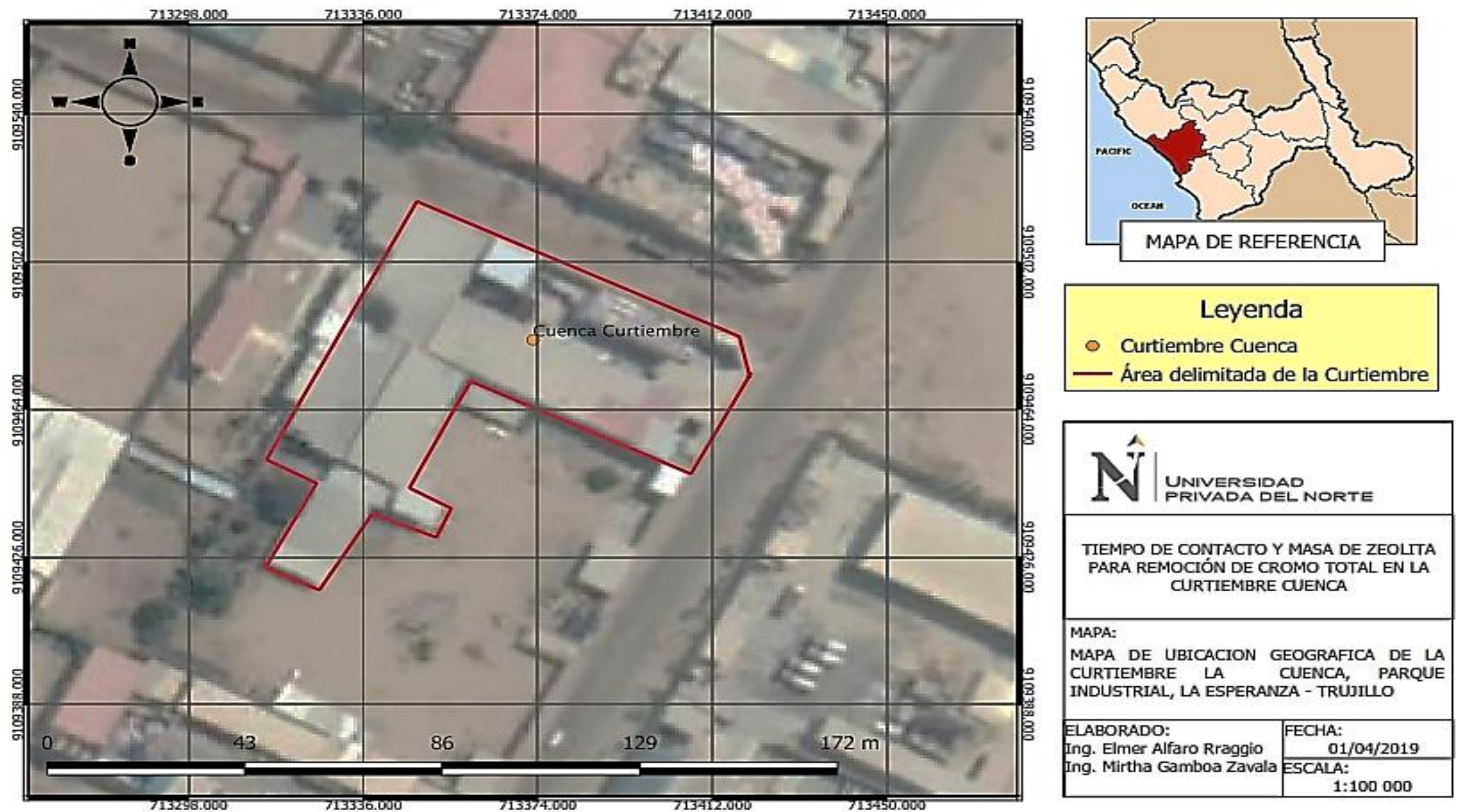


Figura 11. Ubicación de la Curtiembre Cuenca S.A.C.

Fuente: Elaboración Propia



Anexo N°2: Ficha de Identificación de Punto de Monitoreo de Agua

Tabla 15

Ficha de Identificación de Punto de Monitoreo de Agua

FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PUNTO DE MONITOREO	
PUNTO DE MONITOREO	CAJA DE REGISTRO DE USUARIO
CLASIFICACIÓN	AGUAS RESIDUALES
DESCRIPCIÓN (ORIGEN/UBICACIÓN)	CURTIEMBRE CUENCA S.A.C. – LA ESPERANZA
FINALIDAD DEL MONITOREO	TESIS
UBICACIÓN	DISTRITO La Esperanza
	PROVINCIA Trujillo
	DEPARTAMENTO La libertad
COORDENADAS (WGS84)	NORTE/LATITUD 7133740
	ESTE/LONGITUD 9109502
	ZONA (17,18 O 19 UTM) 17 s
	ALTITUD (M.S.N.M.) 77
ELABORADO	Bach. Elmer Alfaro Raggio Bach. Mirtha Gamboa Zavala
	FECHA 12/01/19

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°3: Ficha de Etiqueta de Muestra de Agua.

Tabla 16

Ficha de etiqueta para muestra de agua

ETIQUETA PARA MUESTRA DE AGUA			
NOMBRE LABORATORIO	SEDALIB S.A.		
CÓDIGO PUNTO DE MONITOREO	CURTIEMBRE CUENCA S.A.C.		
TIPO DE CUERPO DE AGUA	AGUA RESIDUAL		
FECHA DE MUESTREO	12/01/2019	HORA	08:30 a.m.
MUESTREADO POR	Bach. Elmer Alfaro Raggio y Bach. Mirtha Gamboa Zavala		
PARÁMETRO REQUERIDO	CROMO TOTAL		
PRESERVANTE	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	REACTIVO HNO ₃

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°4: Valores Máximos Admisibles (VMA).

Tabla 17

Valores máximos admisibles para descarga al sistema de alcantarillado

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr+6	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO4-2	1000
Sulfuros	mg/l	S-2	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH+4	80
Potencial Hidrógeno	Unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Fuente: Adaptado del D.S. N°010-2019-VIVIENDA

Anexo N°5: Ficha Técnica de Zeolita Natural



	<p>Ficha Técnica Zeolita Natural <i>Clinoptilolita</i></p>	
IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO		
Nombre del producto	Zeolita Natural	
Descripción del producto	Zeolita 100% natural clinoptilolita	
Granulometrías disponibles	2 – 5 mm	
Nombre químico	Aluminosilicato cálcico potásico magnésico hidratado	
CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS		
Componente principal	Clinoptilolita >95% (Análisis DRX)	
Otros componentes	Tridimita-M (SiO ₂ monoclinico) <5%	
Color	Marfil	
Densidad de la roca	2000 - 2400 kg/m ³	
Dureza MOHS	2,0 – 3,0	
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS		
Composición química	SiO ₂ : 71,0 % Al ₂ O ₃ : 11,8 % K ₂ O: 2,40 % CaO: 3,40 % MgO: 1,40 % Na ₂ O: 0,40 % Fe ₂ O ₃ : 1,70 % TiO ₂ : 0,10 %	Metales pesados: As <7 ppm Cd <1 ppm Pb <30 ppm Hg <0,1 ppm
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	1,5 a 1,8 meq/g	
Porosidad aparente	49 %	
Superficie Específica (Método BET)	70 – 80 m ² /g	
pH (10% en agua)	7 - 8	
Estabilidad Térmica	< 450 °C	
Estabilidad Química (pH)	3 < pH < 11	
Densidad Aparente	0,85 – 1,0 g/cm ³ (según granulometría)	
PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO		
Tipo de envase	Bolsa de 1kg (1000 gramos)	
Corporación Zeoworld Perú S.A.C. Av. José Gálvez N° 1200 Urb. José Gálvez La Perla – Prov. Const. del Callao	Tel: (0034) 93 848 2594 Fax: (0034) 93 848 3838 E-mail: azulcronos@gmail.com Fertimexyl@gmail.com	

Figura 12. Ficha Técnica de Zeolita Natural.

Fuente: Zeofish, 2018.

Anexo N°06: Variación de tiempo de contacto para remoción de cromo total con Zeolita Natural (clinoptilolita).

Tabla 18

Variación de tiempo de contacto para remoción de cromo total con Zeolita Natural (Clinoptilolita)

Tiempo de contacto (Min)	Repeticiones	C(Cr) mg/L Inicial	C(Cr) mg/L Final	Desv. Estándar	Promedio Final Cr mg/L	Concentración Removida Cr mg/L	% Adsorción
30	R1	20	2.3100	0.0009	2.3104	17.6896	88.45
	R2	20	2.3114				
	R3	20	2.3097				
60	R1	20	2.2000	0.0010	2.1989	17.8011	89.01
	R2	20	2.1987				
	R3	20	2.1980				
90	R1	20	2.1640	0.0084	2.1625	17.8375	89.19
	R2	20	2.1700				
	R3	20	2.1534				
120	R1	20	2.0400	0.0116	2.0293	17.9707	89.85
	R2	20	2.0310				
	R3	20	2.0170				



TOTAL DE EFLUENTES DE LA CURTIEMBRE CUENCA”

150	R1	20	1.8540	0.0159	1.8571	18.1429	90.71
	R2	20	1.8743				
	R3	20	1.8430				
180	R1	20	1.6150	0.0164	1.6290	18.3710	91.86
	R2	20	1.6470				
	R3	20	1.6250				
210	R1	20	1.5410	0.0113	1.5329	18.4671	92.34
	R2	20	1.5200				
	R3	20	1.5378				
240	R1	20	1.5590	0.0182	1.5690	18.4310	92.16
	R2	20	1.5580				
	R3	20	1.5900				

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°07: Determinación de la cinética de adsorción para remoción de cromo total con Zeolita Natural (clinoptilolita)

Tabla 19

Determinación de la cinética de adsorción para adsorción de Cromo Total con Zeolita Natural (Clinoptilolita)

Tiempo de contacto (Min)	C(Cr) mg/L Inicial	Promedio Final Cr mg/L	Removida Cr mg/L Concentración	% Adsorción	V L	M g	Q _t mg/g	Q _e mg/g
30	20.000	2.3104	17.6896	88.45	0.4	2	3.53793	3.69341
60	20.000	2.1989	17.8011	89.01	0.4	2	3.56022	3.69341
90	20.000	2.1625	17.8375	89.19	0.4	2	3.56751	3.69341
120	20.000	2.0293	17.9707	89.85	0.4	2	3.59413	3.69341
150	20.000	1.8571	18.1429	90.71	0.4	2	3.62858	3.69341
180	20.000	1.6290	18.3710	91.86	0.4	2	3.67420	3.69341
210	20.000	1.5329	18.4671	92.34	0.4	2	3.69341	3.69341
240	20.000	1.5690	18.4310	92.16	0.4	2	3.68620	3.69341

Fuente: Elaboración propia.



Anexo N°08: Variación de concentración de Cromo Total para su remoción con Zeolita Natural
(*Clinoptilolita*)

Tabla 20

Variación de concentración de Cromo Total para su remoción con Zeolita

C(Cr) mg/L Inicial	Repeti- ciones	Masa de zeolita	C(Cr) mg/L Final	Desv. Est	Promedio Cr mg/L	Final	Concentración Removida mg/L	Cr	% Adsorción
5	R1	2	0.0000						
	R2	2	0.0000	0.0000	0.0000		5.0000		100.00
	R3	2	0.0000						
10	R1	2	0.0000						
	R2	2	0.0000	0.0000	0.0000		10.0000		100.00
	R3	2	0.0000						
20	R1	2	2.1500						
	R2	2	2.1458	0.0044	2.1457		17.8543		89.27
	R3	2	2.1412						
30	R1	2	5.6149						
	R2	2	5.6230	0.0054	5.6210		24.3790		81.26
	R3	2	5.6252						



TOTAL DE EFLUENTES DE LA CURTIEMBRE CUENCA”

	R1	2	12.5130	0.0033	12.5120	37.4880	74.98
	<hr/>						
50	R2	2	12.5147				
	<hr/>						
	R3	2	12.5084				
	<hr/>						
	R1	2	32.5445				
	<hr/>						
80	R2	2	32.5385	0.0039	32.5400	47.4600	59.33
	<hr/>						
	R3	2	32.5371				
	<hr/>						
	R1	2	60.0429				
	<hr/>						
120	R2	2	59.9472	0.1548	59.9101	60.0899	50.07
	<hr/>						
	R3	2	59.7401				
	<hr/>						

Fuente: Elaboración propia



Anexo N°09: Determinación de las isotermas de adsorción

Tabla 21

Determinación de las isotermas de adsorción

C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	$C_o - C_e$ (mg/L)	M (g)	V (L)	Q_e (mg/g)
5	0.0000	5	2	0.2	0.5000
10	0.0000	10	2	0.2	1.0000
20	2.1457	17.8543	2	0.2	1.7854
30	5.6210	24.3790	2	0.2	2.4379
50	12.5120	37.4880	2	0.2	3.7488
80	32.5400	47.4600	2	0.2	4.7460
120	59.9101	60.0899	2	0.2	6.0090

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo N°10: Variación de la masa de Zeolita Natural (*clinoptilolita*) para adsorción de Cromo.

Tabla 22

Variación de la masa de Zeolita Natural (*Clinoptilolita*) para adsorción de Cromo

Masa (g)	Repeticiones	C(Cr) mg/L Inicial	C(Cr) mg/L Final	Desv. Est.	Promedio Final Cr mg/L	Concentración Removida Cr mg/L	% Adsorción
0.05	R1	20	17.3030	0.7386	16.8387	3.1613	15.81
	R2	20	17.2260				
	R3	20	15.9870				
0.2	R1	20	16.6126	0.2802	16.4448	3.5552	17.78
	R2	20	16.6004				
	R3	20	16.1213				
0.5	R1	20	14.7132	0.6447	15.4571	4.5429	22.71
	R2	20	15.8537				
	R3	20	15.8045				
1	R1	20	10.1614	0.5187	9.6743	10.3257	51.63
	R2	20	9.7325				
	R3	20	9.1289				




TOTAL DE EFLUENTES DE LA CURTIEMBRE CUENCA”

	R1	20	6.6004				
1.5	R2	20	6.4851	0.0647	6.5258	13.4742	67.37
	R3	20	6.4919				
	R1	20	2.0223				
2	R2	20	2.0014	0.4494	2.2712	17.7288	88.64
	R3	20	2.7900				
	R1	20	0.0000				
2.5	R2	20	0.0000	0.0000	0.0000	20.0000	100.00
	R3	20	0.0000				
	R1	20	0.0000				
3	R2	20	0.0000	0.0000	0.0000	20.0000	100.00
	R3	20	0.0000				

Fuente: Elaboración Propia.


Anexo N°11: Relación De Equipos Calibrados y Reactivos Utilizados

 UNIVERSIDAD
PRIVADA DEL NORTE

Relación De Equipos Calibrados y Reactivos Utilizados

Para garantizar y asegurar la confiabilidad de los resultados se adjunta la relación de equipos calibrados según su código de calibración y la lista de reactivos utilizados durante la experimentación

NOMBRE DEL EQUIPO	MARCA	FECHA DE CALIBRACIÓN	CÓDIGO DE CALIBRACIÓN
Ácido Nítrico	EMSURE	22/12/2017	K49843556
Ácido Sulfúrico	EMSURE	20/02/2018	K50052531
Balanza Electrónica	SARTORIUS	11/10/2018	LCCAR-001
Cromo Estándar 100 mg/L	CERTIPUR	21/09/2016	HC60089979
Espectrofotómetro de Absorción Atómica	VARIAN	07/08/2018	AA1001M007
Matraz 100ml	BLAUBRAND	13/10/2018	LCCFQ-031-1
Pipeta de un solo trazo 1 ml	KIMAX	13/10/2018	LCCAR-0371
Pipeta de un solo trazo 2 ml	KIMAX	13/10/2018	LCCAR-024
Pipeta de un solo trazo 5 ml	KIMAX	13/10/2018	LCCAR-022



Responsable de Laboratorio de Control de Calidad SEDALIB S.A.

Figura 13. Relación de equipos calibrados y reactivos utilizados.

Fuente: SEDALIB S.A.

Anexo N°12: Ficha de registro de datos

FICHA DE REGISTRO DE DATOS

PROYECTO: “Tiempo de contacto y masa de zeolita natural en la adsorción de Cromo Total de efluentes de la curtiembre Cuenca”

DURACIÓN: La experimentación se realizó desde el 15 de Enero al 17 de febrero de 2019

Tabla 1 Variación del tiempo de contacto (min) en la adsorción de Cromo Total con Zeolita Natural (Clinoptilolita)

Tiempo de Contacto	CONCENTRACION DE CROMO TOTAL		
	Muestra patrón (20 mg Cr/l)		
	400 ml de muestra con pH6		
	R1	R2	R3
30	7,8051	7,9002	7,8102
60	7,7613	7,7400	7,7600
90	7,4879	7,4982	7,4888
120	6,7507	6,7297	6,7411
150	6,5071	6,5000	6,5490
180	6,3744	6,3744	6,3700
210	5,9817	5,9747	5,9888
240	6,0021	6,0000	5,9991

Tabla 2 Variación de masa (g) en la adsorción de Cromo Total con Zeolita Natural (Clinoptilolita)

Variación de masa	CONCENTRACION DE CROMO TOTAL		
	Muestra patrón (20 mg Cr/l)		
	400 ml de muestra con pH6 en 30 min		
	R1	R2	R3
0.05	17,3030	17,2260	15,9870
0.2	16,6126	16,6004	16,1213
0.5	14,7132	15,8537	15,8045
1	10,1614	9,7325	9,1289
1.5	6,6004	6,4851	6,4919
2	2,0223	2,0014	2,7900
2.5	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000

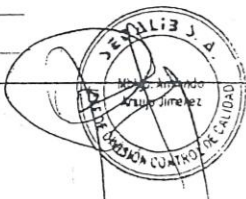


Figura 14. Ficha de registro de resultados.

Fuente: SEDALIB S.A.

Tabla 3. Variación de concentración de Cromo Total inicial para la adsorción Cromo Total con Zeolita Natural (Clinoptilolita)

CONCENTRACION DE CROMO TOTAL			
Masa de 2 gramos			
200 ml de muestra con pH 6 en 30 min			
Concentración mg Cr/l	R1	R2	R3
5	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,0000	0,0000	0,0000
20	0,1500	2,1458	2,1412
30	5,6149	5,6230	5,6252
50	12,5130	12,5147	12,5084
80	32,5445	32,5385	32,5371
120	60,0429	59,9472	59,7401

Tabla 4 Adsorción de Cromo Total en muestra de curtiembre Cuenca S.A.C. mediante el uso de Zeolita Natural

CONCENTRACION DE CROMO TOTAL			
Masa de 3 gramos de Zeolita en 400 ml de muestra con pH 6 en 30 min			
Tiempo de contacto (min)	Repeticiones	C(Cr) mg/L Inicial	C(Cr) mg/L Final
30	R1	28.5802	0.8432
	R2	28.5802	0.8721
	R3	28.5802	0.8881

Elaborado:	
Gamboa Zavala, Mirtha Stefania Bach. Ingeniería Ambiental	Alfaro Raggio, Elmer Lee Bach. Ingeniería Ambiental
Validado:	
Responsable de Laboratorio de Control de Calidad SEDALIB S.A.	

Figura 15. Ficha de registro de resultados.

Fuente: SEDALIB S.A.

Anexo N°13: Preparación de muestra patrón



Figura 16. Preparación de muestra patrón de Cromo Total en diferentes concentraciones.

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo N°14: Adsorción de Cromo Total en muestras patrones



Figura 17. Pesaje de la Zeolita Natural y preparación de instrumentos.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 18. Experimentación con Zeolita Natural para la adsorción de Cromo Total

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 19. Muestras tratadas con Zeolita Natural para respectivo análisis.

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo N°15: Adsorción de Cromo Total en muestra de curtiembre Cuenca



Figura 20. Toma de muestra de caja de registro y adición de preservante

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 21. Se añadió Zeolita Natural en muestra de curtiembre Cuenca.

Fuente: Elaboración Propia.

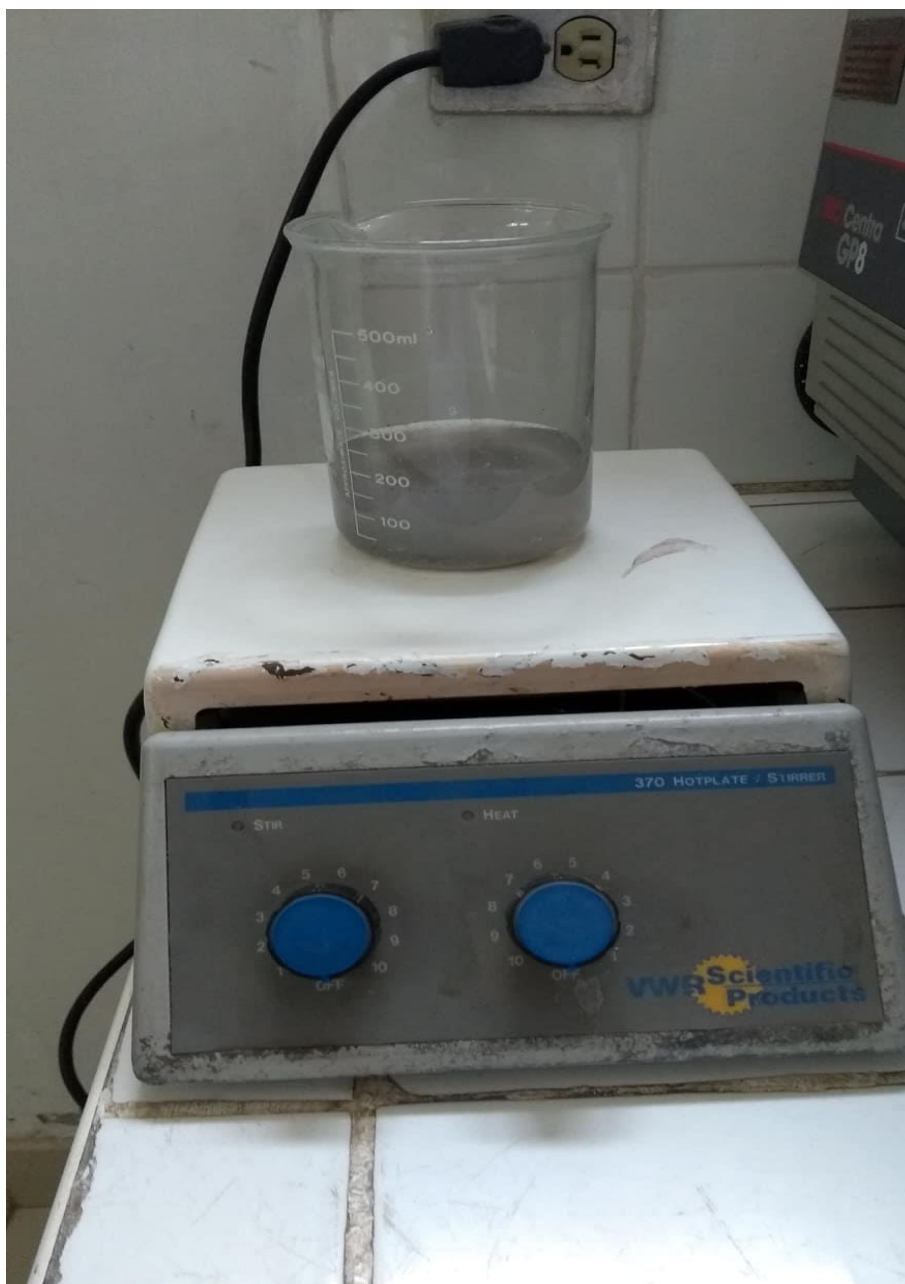


Figura 22. Se agitó a 500 RPM la solución de Zeolita Natural con la muestra de curtiembre.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 23. Espectrofotómetro de Absorción Atómica utilizado para los análisis de Concentración de Cromo.

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo N°16: Resultados del Espectrofotómetro de Absorción Atómica

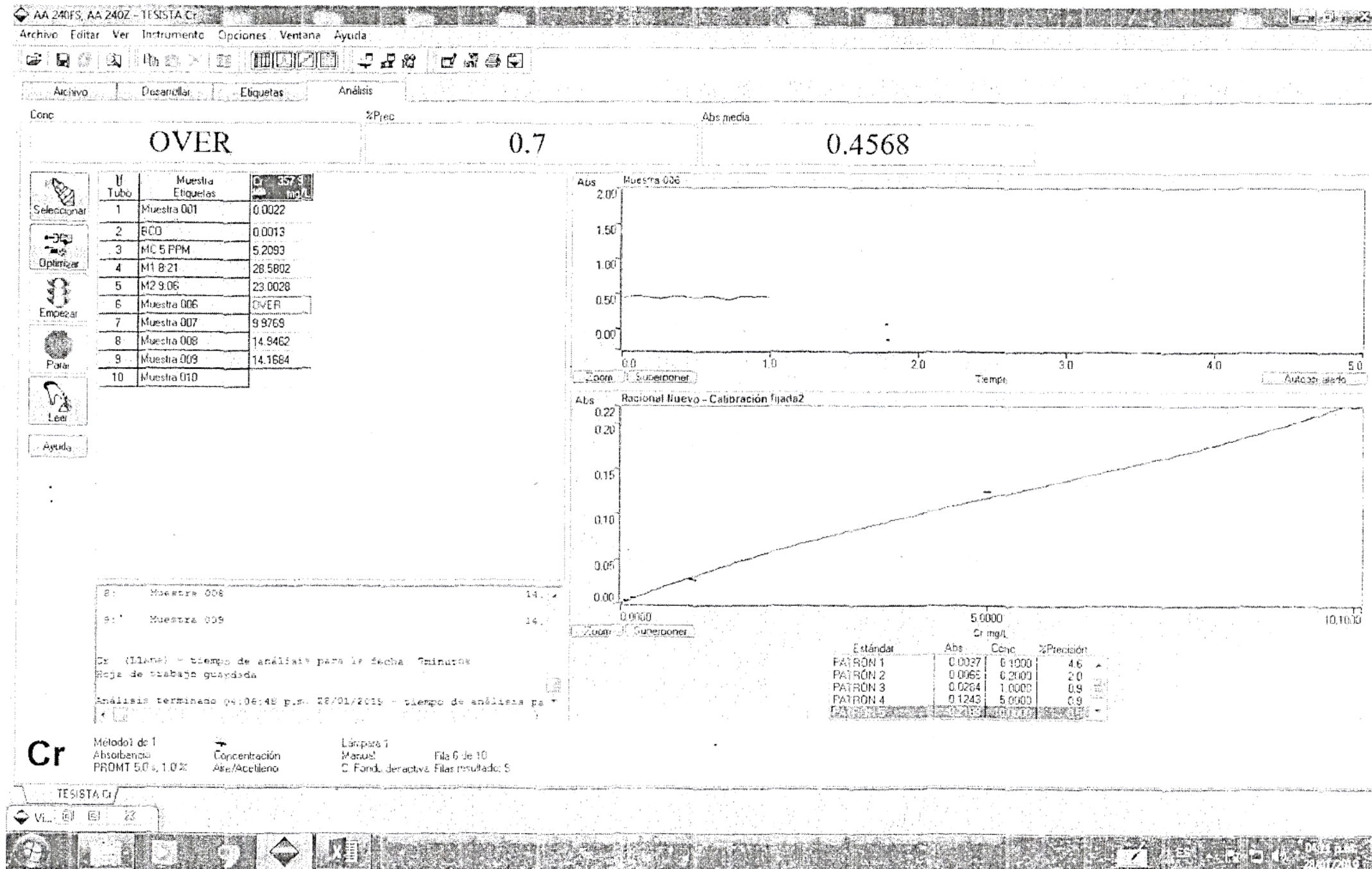


Figura 24. Resultados de Cromo Total (N° 4) de muestra de efluentes de curtiembre Cuenca S.A.C., caja de registro.

Fuente: SEDALIB S.A.

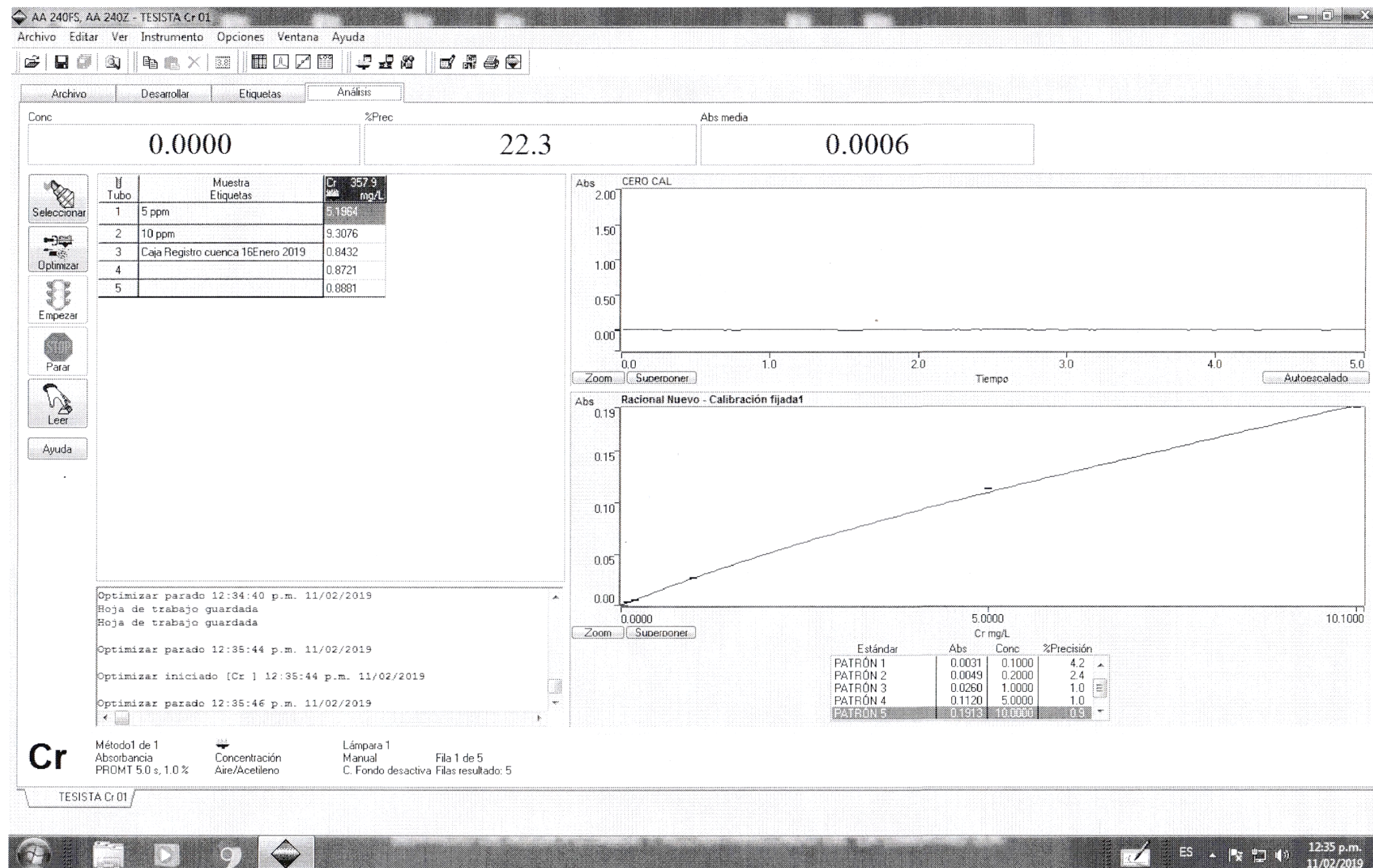


Figura 25. Resultados de los análisis de concentración de Cromo Total post condiciones ideales de zeolita Natural.

Fuente: SEDALIB S.A.



Anexo N°17: Matriz de consistencia

“TIEMPO DE CONTACTO Y MASA DE ZEOLITA NATURAL EN LA ADSORCIÓN DE CROMO TOTAL DE EFLUENTES DE LA CURTIEMBRE CUENCA”				
PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	METODOLOGIA
¿En qué medida influye el tiempo de contacto y masa de zeolita natural en la adsorción de Cromo Total de efluentes de la curtiembre Cuenca?	H1: El tiempo de contacto y masa de zeolita natural influirá en la adsorción de Cromo Total de los efluentes de curtiembre Cuenca.	Determinar la influencia en el tiempo de contacto y masa de zeolita natural (Clinoptilolita) en la adsorción de Cromo Total de los efluentes de la curtiembre Cuenca.	Tiempo de contacto	<p>Diseño</p> <p>La Investigación es Experimental Pura – Diseño factorial</p>
			Masa de Zeolita	<p>Población</p> <p>En el presente proyecto de investigación, la población estuvo conformada por los efluentes de la empresa de curtiembre Cuenca durante el mes de enero del año 2019.</p>
		OBJETIVOS ESPECIFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	Muestra
	H0: El tiempo de contacto y masa de zeolita natural no influye en la adsorción de Cromo Total de los efluentes de curtiembre Cuenca.	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la masa adecuada de zeolita natural para la adsorción de Cromo Total de los efluentes de curtiembre. Determinar el tiempo de contacto ideal y la cinética de adsorción de Cromo Total de los efluentes de curtiembre. Realizar modelamiento matemático de isothermas de adsorción (Freundlich y Langmuir). Determinar la capacidad de adsorción de zeolita natural a condiciones adecuadas de los efluentes de curtiembre contaminados con Cromo. 	adsorción de cromo total	La muestra utilizada en el presente proyecto fue de 1 litro del efluente de la caja de registro de la curtiembre Cuenca, la misma que resultó de los procesos de pelambre, recurtido y remojo.

Fuente: Elaboración Propia.