



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Remoción de cromo (VI) empleando nanopartículas de Fe_3O_4 en las
aguas sintéticas de curtiembre preparadas a nivel laboratorio
Huancayo 2021.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Alanya Asto, Sindolfo Josue (ORCID: 0000-0003-2844-4589)

ASESOR:

Mg. Quijano Pacheco, Wilber Samuel (ORCID: 0000-0001-7889-7928)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Tomas Alanya y Eudosia asto mis padres, por haber sabido formarme, con buenos sentimientos, hábitos y valores, por sus indesmayables e incansables bríos día a día, creer y confiar en que llegaré lejos caminando con firmeza, fe, perseverancia, paciencia, sabiduría y humildad.

A Clara, Marleny, Carlos y Sandra mis hermanos, por ser ejemplos vivos de esfuerzo, superación y enseñarme a luchar y lograr todo cuanto me propongo.

A Julissa y Jaily mi nueva familia, por su apoyo incondicional, comprensión, amor, vivencias compartidas como bases de mi crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios quien me dio la vida y la ha llenado de bendiciones en todo éste tiempo, a él que con su infinito amor me ha dado la sabiduría y la fortaleza para que fuera posible alcanzar este triunfo.

A mi familia quiero expresarle mi reconocimiento y amor, por su comprensión, tolerancia y constantes estímulos en cada etapa que emprendo a lo largo de mi vida.

A mis amigos quiero agradecerles por los consejos, opiniones, sugerencias, conocimientos compartidos y buena amistad.

A todos los ingenieros de la universidad y centro de labor, por sus recomendaciones, conocimientos, también las enseñanzas con ejemplos y experiencia.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|------|
| CARÁTULA | i |
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | iv |
| ÍNDICE DE TABLAS | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vi |
| RESUMEN | vii |
| ABSTRACT | viii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 5 |
| III. METODOLOGÍA | 17 |
| 3.1 Tipo y diseño de la investigación | 18 |
| 3.2. Variables y Operacionalización | 19 |
| 3.3. Población, muestra y muestreo | 20 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 21 |
| 3.5. Procedimiento | 22 |
| 3.6. Método de análisis de datos | 24 |
| 3.7. Aspectos éticos | 25 |
| IV. RESULTADOS | 26 |
| V. DISCUSIÓN | 39 |
| VI. CONCLUSIONES | 55 |
| VII. RECOMENDACIONES | 57 |
| REFERENCIAS | 58 |
| ANEXOS | 67 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Cuadro de doble entrada de la investigación | 18 |
| Tabla 2. Matriz de Operacionalización | 19 |
| Tabla 3. Valores para determinar el tamaño de muestra | 21 |
| Tabla 4 Resultados de la remoción de Cr(VI) replica I | 27 |
| Tabla 5 Resultados de la remoción de Cr(VI) replica II | 27 |
| Tabla 6 Resultados de la remoción de Cr(VI) replica III | 28 |
| Tabla 7 Datos para las isotermas de adsorción | 29 |
| Tabla 8 Resumen del diseño factorial completo..... | 30 |
| Tabla 9 Análisis de varianza de la remoción de cromo(VI)..... | 31 |
| Tabla 10. Cuadro resumen del modelo | 32 |
| Tabla 11 Valor óptimo del pH..... | 34 |
| Tabla 12 Valor óptimo del tiempo de contacto | 36 |
| Tabla 13 Valor óptimo de la temperatura | 37 |
| Tabla 14 Parámetros de las isotermas de adsorción | 41 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Grafica de media del porcentaje de remoción de cromo (VI) | 29 |
| Figura 2. Grafica de probabilidad de los residuos de la remoción de cromo(VI) | 30 |
| Figura 3 .Diagrama de Pareto | 33 |
| Figura 4 .Intervalos de Ph1; Ph2 | 34 |
| Figura 5 .Grafica de comparación del tiempo de contacto en la remoción de cromo(VI). | 36 |
| Figura 6 .Grafica de comparación de la temperatura en la remoción de cromo(VI). | 38 |
| Figura 7 .soterma de Freundlich..... | 40 |
| Figura 8 Isoterma de Langmuir | 40 |
| Figura 9 .Mecanismo de adsorción del cromo(VI) con nanopartículas de magnetita | 43 |
| Figura 10 . Efecto del pH en la remoción de cromo(VI)..... | 44 |
| Figura 11 . Grafica de todos los datos del %RCr(VI) respecto al pH..... | 46 |
| Figura 12 . Grafica del tiempo de contacto en la remoción de Cr(VI)..... | 47 |
| Figura 13 . Grafica de todos los datos del %RCr(VI) respecto al tiempo de contacto..... | 48 |
| Figura 14. Grafica del efecto de la temperatura en la remoción de Cr(VI) | 48 |
| Figura 15 .Grafica de todos los datos del %RCr(VI) respecto a la temperatura. | 49 |
| Figura 16 .Grafica de la remoción de cromo(VI) con la interacción de las variables de pH, tiempo y temperatura | 51 |
| Figura 17 .Gráfica de efectos principales para el porcentaje de remoción de Cr(VI)..... | 52 |
| Figura 18 . Grafica de las interacciones para la remoción de Cromo(VI) | 53 |
| Figura 19 . Grafica de cubos de la remoción de cromo(VI) | 54 |

RESUMEN

La descarga de iones de metales pesados como el cromo, el plomo, el cobre, el níquel y el cobalto de las aguas residuales industriales al medio ambiente, ha generado una grave preocupación para la seguridad pública. Por ello el presente trabajo de investigación busca la remoción de cromo (VI) de las aguas residuales sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 , aplicando un diseño factorial completo de 2^3 , con una concentración inicial de agua residual sintética de curtiembre de 60 ppm. Se estudió el efecto del pH (2 – 3), tiempo de contacto (15 minutos – 25 minutos) y la temperatura (25 °C – 45 °C) con una dosis de nanopartícula de magnetita constante de 1 g en 250 mL de agua residual sintética de curtiembre, alcanzando una remoción de cromo (VI) de 96,71 % a un pH de 2, una temperatura de 45 °C y un tiempo de contacto de 25 minutos, siendo estos valores los óptimos en el tratamiento para la remoción de cromo (VI) con nanopartículas de magnetita. Se determinaron los parámetros de isoterma de Langmuir en el cual su coeficiente de correlación fue de 0,9147, con una adsorción máxima de 50,2513 mg/g y Freundlich, donde el modelo a seguir fue el de Freundlich con un coeficiente de correlación de 0,9832 el cual indica que el modelo de Freundlich ofrece un mejor valor de la capacidad de adsorción.

Palabras clave: remoción de cromo(VI), adsorción, nanopartícula de magnetita, modelo de Langmuir, modelo de Freundlich

ABSTRACT

The discharge of heavy metal ions such as chromium, lead, copper, nickel and cobalt from industrial wastewater to the environment has raised serious concerns for public safety. Therefore, this research work seeks the removal of chromium (VI) from synthetic tannery wastewater using Fe₃O₄ nanoparticles, applying a complete factorial design of 2³, with an initial concentration of synthetic tannery residual water of 60 ppm. The effect of pH (2-3), contact time (15 minutes - 25 minutes) and temperature (25 °C - 45 °C) was studied with a constant magnetite nanoparticle dose of 1 g in 250 mL of synthetic wastewater of tannery, reaching a chromium (VI) removal of 96,71 % at a pH of 2, a temperature of 45 ° C and a contact time of 25 minutes, these values being optimal in the treatment for chromium removal (VI) with magnetite nanoparticles. Langmuir isothermal parameters were determined in which its correlation coefficient was 0,9147, with a maximum adsorption of 50,2513 mg/g and Freundlich, where the model to follow was that of Freundlich with a correlation coefficient of 0,9832 which indicates that the Freundlich model offers a better value of adsorption capacity.

Keywords: chromium (VI) removal, adsorption, magnetite nanoparticle, Langmuir model, Freundlich model.

I. INTRODUCCIÓN

El cromo, con su gran importancia económica para uso industrial, se usa ampliamente en una variedad de procesos industriales tales como galvanoplastia de metal, curtido de cuero y fabricación de productos para protección contra el desgaste. Es uno de los contaminantes notables que se encuentran en el suelo, los sitios de desechos, las aguas subterráneas y superficiales del mundo. El cromo existe en el ambiente principalmente en dos estados de valencia: Cr (VI) y Cr (III). (Wu et al. 2009).

Con la rápida expansión de la industrialización y la urbanización en todo el mundo, nuestro medio ambiente acuático y nuestro ecosistema han sido drásticamente destruidos por la descarga de aguas residuales industriales y domésticas, que generalmente contienen muchos metales pesados tóxicos o sal nutritiva. Entre los metales pesados, el cromo (Cr) ha recibido una atención considerable en todo el mundo por sus influencias peligrosas en la salud humana. El Cr se produce principalmente a través de actividades industriales que incluyen el curtido de cuero, galvanoplastia y procesamiento de metales. (Cai et al. 2019).

En la región Junín se realizó un estudio de los indicadores ambientales, donde se evaluó la concentración de cromo en el río Mantaro, en el cuál se reportó un aumento creciente de la concentración en los últimos años en comparación con los valores de Estándares de Calidad de Agua (ECA) según el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, siendo este un problema de interés fundamental por solucionar. (DIGESA 2010).

Existen muchos métodos para la remoción de metales pesados, pero algunos de estos métodos no son tecnológicos y lo más importante para las empresas no son económicos. Sin embargo, una buena alternativa es emplear el principio de adsorción y la nanotecnología, esta última es un método revolucionario el cual se ha venido implementando lo largo de los últimos años ya que se aplica a diversas disciplinas como: biología, química También se ha introducido en los campos de tratamiento de aguas residuales y rehabilitación de sitios contaminados, debido al poder oxidante o reductor de los nanomateriales, o como nutrientes, se ha propuesto como una alternativa para metabolizar

contaminantes y sustancias tóxicas, así como para estimular la microbiota. crecimiento (Vazquez,2015) del mismo modo actúa en la remoción de metales de manera eficaz y sobre todo económico porque dicha tecnología es amigable con el medio ambiente por ser poco invasiva. Motivo por el cual, se propone en esta investigación remover el contaminante metálico mediante nanopartículas de Fe_3O_4 . (Reinaldo y Tamay, 2019).

El pH acuoso modifica significativamente la adsorción de metales pesados, influyendo en la química de la superficie, determinando el tiempo de contacto del adsorbente y la temperatura (Al-Qodah,2006). En sistemas acuosos, la superficie de los óxidos de hierro está cubierta con grupos FeOH . Los grupos hidroxilo superficiales protonan o desprotonan para generar cargas superficiales FeOH^{2+} o FeO^- funciona a valores de pH inferiores o superiores al pH_{ZPC} , respectivamente. (Al-Qodah, 2006).

Por lo expuesto anteriormente, el **problema general** de la investigación es ¿Cuánto será el porcentaje de remoción de cromo (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 , con la variación del pH, tiempo de contacto y temperatura? y los **problemas específicos** son: ¿Cuál será el pH que presenta una mayor remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 ?, ¿Cuánto tiempo de contacto será necesario para una eficiente remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 ? y ¿Qué efecto tendrá la temperatura en la remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 ?, en relación a los problemas planteados se consideró que el **objetivo general** Determinar el porcentaje de remoción de cromo (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 , con la variación del pH, tiempo de contacto y temperatura. Los **objetivos específicos** son: Determinar el pH que presentará una mayor remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 , Establecer el mejor tiempo de contacto que será necesario para una eficiente remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 y Evaluar el efecto que tendrá la temperatura en la remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 .

Como justificación del trabajo se plantea que la contaminación de las aguas por metales pesados ha impulsado una amplia gama de investigaciones para combatir este problema ambiental. Una de las alternativas que se ha venido estudiando con mayor profundidad es la adsorción, razón por la que desarrollaremos esta investigación aplicando este principio. Actualmente se cuenta con diversos estudios acerca de la remoción de cromo (VI) por el daño que este metal a elevadas concentraciones ocasiona al medio ambiente. Es por ello que este trabajo de investigación plantea utilizar nanopartículas magnéticas de hierro para la remoción de cromo (VI) como sorbente de aguas contaminadas por metales pesados. Así mismo, el empleo de la nanotecnología mediante las nanopartículas hace que este estudio sea amigable con el medio ambiente.

Basadas en la revisión bibliográfica planteamos la siguiente **hipótesis general**: La remoción de Cr (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre es eficiente mediante la variación de pH, tiempo de contacto y temperatura. asimismo, nos planteamos las **hipótesis específicas**: El pH influye significativamente en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre mediante las nanopartículas de Fe_3O_4 , El incremento del tiempo de contacto influye significativamente la capacidad de adsorción de las nanopartículas de Fe_3O_4 reduciendo la concentración de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre, A mayor temperatura de adsorción de las nanopartículas de Fe_3O_4 mayor es la influencia en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre.

La importancia de este estudio radica en que la tecnología empleada en la remoción de metales pesados como intercambio iónico u osmosis poseen un alto costo de inversión y mantenimiento, es por esto que muchas de las empresas se limitan a su aplicación. Es por eso el desarrollo de la nanotecnología en este trabajo, pues su importancia radica en su eficiencia, seguridad y valor económico en la remoción de cromo y otros metales a través de la adsorción. Por lo tanto, en esta investigación emplearemos la nanotecnología como una tecnología limpia para así contribuir al medioambiente, en la remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas a nivel laboratorio, con el fin de que la investigación a realizar sirva como referencia para otras investigaciones relacionadas con el tema y asimismo puedan optimizar los resultados que se obtendrán

II. MARCO TEÓRICO

Estudiamos la revisión bibliográfica para ahondar más en el tema de investigación y poder analizar los resultados, considerando los siguientes antecedentes internacionales para el trabajo de investigación:

Thinh et al., (2013) en su investigación prepararon nanopartículas de quitosán magnéticas mediante co-precipitación a través de la reacción de reticulación de epíclorhidrina. Obtuvieron el tamaño promedio de las nanopartículas de quitosán magnético, lo cual lo estimaron en 30 nm. Encontraron que la adsorción de Cr (VI) era altamente dependiente del pH y su cinética sigue el modelo de pseudo segundo orden. La capacidad máxima de adsorción (a pH 3, temperatura ambiente) que alcanzaron fue de 55,80 mg/g, según el modelo de isoterma de Langmuir. Las nanopartículas se caracterizaron completamente antes y después de la adsorción de Cr (VI). A partir de este resultado, se puede sugerir que las nanopartículas de quitosán magnéticas podrían servir como un adsorbente prometedor para Cr (VI) en la tecnología de tratamiento de aguas residuales.

Los investigadores Padmavathy, Madhu, y Haseena, (2016) realizaron la síntesis de nanopartículas de magnetita en el laboratorio con el fin de eliminar el cromo hexavalente (Cr(VI)) de aguas residuales preparadas sintéticamente. Caracterizaron las partículas sintetizadas por microscopía electrónica de barrido equipada con espectroscopia de rayos X de disgregación de energía, difracción de rayos X y analizador termogravimétrico. Realizaron estudios de adsorción por lotes para estudiar los efectos del pH, la dosis de magnetita, el tiempo y la concentración inicial en la eliminación de Cr (VI). También realizaron el estudio de isoterma de adsorción. El pH óptimo para el presente trabajo fue de 3,0. La adsorción siguió el modelo de isoterma de Freundlich. Usaron el espectrofotómetro UV VIS para medir la concentración de cromo hexavalente en agua.

Los autores (Nabin et al. 2019) sintetizaron dos nanocompuestos magnéticos, el primero de quitosano (qui- Fe_3O_4) y el segundo modificado con óxido de grafeno (qui- $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-GO}$), en dichos nanocompuestos evaluaron el potencial como adsorbentes para la eliminación del cromo (Cr(VI)) del agua. Las características fisicoquímicas de los nanocompuestos magnéticos lo obtuvieron

por (FTIR), espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier; (SEM), microscopía electrónica de barrido; (DRX) difracción de rayos X espectroscopia de Raman y Brunauer-Emmett-Teller (BET). Los adsorbentes sintetizados mostraron una eficacia de eliminación de Cr (VI) variada a una solución de pH 2. La cinética de reacción se correlacionó bien con el modelo de pseudo segundo orden. Se encontró que la capacidad máxima de adsorción era 142,32 mg/g y 100,51 mg/g para qui- Fe_3O_4 y qui- $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-GO}$ respectivamente. El análisis de los parámetros termodinámicos sugirió que la reacción ocurrió espontáneamente y fue de naturaleza endotérmica. Los estudios de reutilización mostraron que los adsorbentes se pueden reutilizar hasta 4 ciclos de regeneración. Los experimentos en columna de lecho fijo revelaron que el rendimiento de adsorción de qui- Fe_3O_4 se vio afectado por el caudal, la carga de adsorbente y la concentración de ión metálico influyente. Los resultados sugieren que los adsorbentes preparados tienen el potencial de ser utilizados para eliminar los iones Cr (VI) del agua contaminada.

Koushkbaghi et al., (2018) en su estudio prepararon membranas de matriz mixta de doble capa (MMM) incorporando nanopartículas de Fe_3O_4 aminadas en las nanofibras de quitosano/alcohol polivinílico sobre la membrana de polietersulfona (PES) para la eliminación de los iones Cr (VI) y Pb (II) en procesos de adsorción y membrana discontinua. Evaluaron el producto de los parámetros operativos de adsorción, como pH (2-7), el tiempo de contacto (0 min - 60 min), la concentración inicial de iones metálicos (20 mg/L - 1000 mg/L) y la temperatura (30 °C - 50 °C) en el Cr (VI) y estudiaron la sorción de iones Pb (II). Analizaron los datos de isotermas experimentales utilizando modelos de isotermas de Freundlich, Langmuir y Dubinin-Radushkevich. En el sistema de membrana, determinaron la influencia del espesor de la nanofibra (10 μm -30 μm), la concentración de Fe_3O_4 aminado (0 % - 4 % en peso), la concentración de alimentación (5 mg/L - 20 mg/L) y la temperatura (30 °C - 50 °C).

Cai et al., (2019) sintetizaron un nuevo compuesto de magnetita/pirita a nanoescala ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{FeS}_2$) se sintetizó, caracterizó y aplicó con éxito en la eliminación simultánea de Cr (VI) y fosfato. Se aplicaron microscopía electrónica de transmisión, espectroscopía de fotoelectrones de rayos X, magnetómetro de muestra oscilométrico, espectroscopía infrarroja transformada de Fourier y

análisis de difracción de rayos X para caracterizar los compuestos FeS_2 , Fe_3O_4 y $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{FeS}_2$ para la eliminación de Cr (VI) y fosfato. El compuesto $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{FeS}_2$ con una relación molar de 1:4 exhibió un rendimiento notable en la eliminación de Cr (VI) y fosfato a un pH inicial de 3,0. En comparación con Fe_3O_4 desnudo, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{FeS}_2$ exhibió una eliminación mejorada de Cr (VI). La eliminación de Cr (VI) incluye atracción y reducción electrostática. La eliminación del fosfato se debió a la atracción electrostática y la formación de precipitados de FePO_4 . La eliminación eficiente de Cr (VI) y fosfato y el gran rendimiento.

(Niu et al. 2019) estudiaron eficientemente las aguas residuales de cromo de baja concentración a bajo costo, se preparó con éxito ceramsita adsorbente modificada con hierro (FCM). El adsorbente se caracterizó por SEM, XRD, FT-IR, XPS, potencial ζ y VSM. A partir de los resultados experimentales, el pH de adsorción óptimo, la dosis de adsorbente y el tiempo de adsorción fueron 4,1 g/L y 120 min, respectivamente. El porcentaje de eliminación de Cr (VI) fue del 93 % y la eficiencia de reducción de Cr (VI) fue del 74,3 % cuando la concentración fue de 2 mg/L. Después de 5 ciclos, usando 0,1 mol/L de NaOH como agente de regeneración, la tasa de eliminación de Cr (VI) no disminuyó significativamente. Además, también se exploró el mecanismo de reducción profunda y adsorción, el proceso de regeneración, la cinética y las isothermas de adsorción. Este documento puede proporcionar soporte teórico y técnico para reducir la toxicidad y el tratamiento avanzado del cromo hexavalente.

Wu et al., (2009) utilizaron nanocompuestos de Fe^0 estabilizados con nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) altamente reactivos para la reducción y mitigación de especies de cromo hexavalente Cr (VI) en soluciones acuosas. Proporciones más altas de Fe_3O_4 en los nanocompuestos podrían aumentar la tasa de reducción de Cr (VI). En ausencia de magnetita, la tasa de mitigación de Cr (VI) fue de solo 51,4 % después de 60 min de reacción, mientras que con una carga de masa inicial de Fe_3O_4 de 3 gL^{-1} , la tasa de mitigación de Cr (VI) fue de casi 100 % después de 60 min. Se encontró que la proporción óptima de $\text{Fe}_3\text{O}_4:\text{Fe}^0$ para la mitigación de Cr (VI) era 40:1. De lo contrario, los pH de la solución afectaron significativamente la tasa de reducción de Cr (VI), con reacciones que ocurren más rápidamente en condiciones ácidas o neutras que las condiciones básicas. Se presume que la alta eficiencia de las nanopartículas

de Fe_3O_4 estabilizó los nanocompuestos de Fe^0 para la reducción de Cr (VI) fue un resultado directo de la unión de las nanopartículas de Fe^0 a la superficie de la magnetita, lo que impide la agregación de nano- Fe^0 , además, la transferencia de electrones durante el proceso de reducción, lo más probable es que tenga lugar a través de nanopartículas de Fe^0 que se encuentran en los sitios octaédricos de magnetita, que son centros redox versátiles, ya que pueden acomodar tanto Fe (III) como Fe (II), y esto promoverá la reducción de Cr (VI).

(Zhang et al. 2015) analizaron nuevas nanopartículas magnéticas de doble hidróxido de $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-C-MgAl}$ en capas (LDH) se han preparado con éxito mediante los métodos químicos de autoensamblaje. Las propiedades de los grupos funcionales de la superficie, la estructura cristalina, el magnetismo y la morfología de la apariencia de las nanopartículas magnéticas se caracterizó por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), difracción de rayos X (XRD), gravedad térmica diferencial, gravedad térmica (TG-DTG), escaneo microscopía electrónica (SEM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM). Los estudios de adsorción del nuevo adsorbente en la eliminación de metales pesados Cr (VI) de las aguas residuales mostraron que la cantidad máxima de absorción de Cr (VI) fue de 152,0 mg/g a 40 °C y pH 6,0. La excelente capacidad de adsorción de los nanoabsorbentes $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-C-MgAl-LDH}$ más su fácil separación, composición ecológica y reutilización los convierte en adsorbentes más adecuados en la eliminación de iones metálicos del agua residual.

Yan et al., (2018) sintetizaron exitosamente mediante el método de reticulación, las nanopartículas de Fe_3O_4 funcionalizadas alcohol polivinílico/quitosán hidrogel compuesto magnético (Fe_3O_4 HCM). Determinaron que el $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MCH}$ se usaba como un adsorbente para eliminar el cromo (IV) (Cr VI) de la solución acuosa y muestra un rendimiento de adsorción alentador para el Cr VI, tanto en condiciones neutras como ácidas. En condición neutra, compartir electrones puede ser una de las posibles razones de adsorción, mientras que, en condición ácida, la atracción electrostática puede ser un posible mecanismo de adsorción.

Zhao et al., (2016) en su investigación, sintetizaron un novedoso compuesto magnético ternario que consiste en óxido de grafeno (GO), dietilentriamina y Fe_3O_4 nanopartículas (AMGO) mediante una vía de reacción fácil de un paso. Emplearon el AMGO como un adsorbente atractivo para la supresión de Cr (VI) de las soluciones acuosas y la opinión de bifurcación magnética. La capacidad máxima de adsorción de AMGO para Cr (VI) mostró una alta eficiencia para la eliminación de Cr (VI). El proceso de eliminación evidencia la dependencia del pH. El pseudo modelo de segundo orden describió bien los datos cinéticos de adsorción y el modelo de isoterma de Langmuir se ajustó mejor a los datos experimentales que el modelo de isoterma de Freundlich. Además, la excelente reproducibilidad indica que el AMGO puede ser un material de adsorción prometedor para la separación y preconcentración de iones Cr (VI) de soluciones acuosas en la limpieza de la contaminación ambiental.

Los alcances teóricos más relevantes son descritos a continuación:

Los metales pesados se definen comúnmente como un conjunto de metales/metaloides que poseen densidades al menos 5 veces más altas que las del agua. Los metales pesados son constituyentes naturales de la corteza terrestre, y fenómenos naturales como la intemperie y la actividad volcánica contribuyen significativamente a la contaminación de metales pesados. Las actividades antropogénicas, como la minería, la fundición, el uso industrial y agrícola, aumentan la abundancia de metales pesados en el medio ambiente ya sea liberándolos o concentrándolos en el medio ambiente. Los metales pesados se usan ampliamente en varios sectores industriales, agrícolas, médicos y tecnológicos. Pueden ser tóxicos para los organismos vivos a niveles muy bajos de exposición. El uso excesivo de los metales pesados en la salud humana a lo largo del tiempo y su entorno general se están estudiando ampliamente. Basándose en su amenaza inmediata para la salud humana y el medio ambiente, 4 de los 10 principales productos químicos de mayor preocupación pública revisados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) son metales pesados (arsénico, plomo, mercurio y cadmio). Además, el cromo también se considera un metal pesado muy tóxico (RoyChowdhury, Datta, y Sarkar, 2017).

La exploración minera de depósitos minerales metálicos tiene como consecuencia la exposición de grandes cantidades de sulfuros a procesos de meteorización (oxígeno, agua y bacterias) que generan entornos ácidos que promueven la solubilización del metal. El agua actúa como un reactivo, como el medio en el que se producen las reacciones químicas, y como un vector de transporte de los productos formados. Estas aguas constituyen el llamado drenaje ácido de la mina o drenaje ácido y metalífero (AMD)(Favas et al. 2016) asimismo estas tienen características marcadas como El pH de una posibilidad es una medida de la concurrencia de iones de hidrógeno; formalmente, se puede especificar como el logaritmo negativo de la concurrencia de iones de hidrógeno ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$). En la naturaleza, la mayoría de los valores de pH observados se encuentran entre 4 y 9, dependiendo de factores como la fuente de agua, la geología del lecho rocoso y la cubierta vegetal. Uno de los aspectos más significativos relacionados con el pH del medio consiste en su fuerte influencia en la solución de muchas sustancias. En el caso de los metales pesados, el bajo pH aumenta su solubilidad y por lo tanto su toxicidad. El agua es comúnmente llamada ácida o básica cuando el pH es más bajo o más alto que el neutro, respectivamente. Sin embargo, los términos ácido y básico en este contexto no deben confundirse con los términos acidez y alcalinidad (Favas et al. 2016).

La alcalinidad mide la concentración total de bases presentes en la muestra y se mide por la capacidad de la solución para consumir protones, es decir, por la capacidad de neutralización de un ácido fuerte. En aguas superficiales, la alcalinidad depende principalmente de los constituyentes que están relacionados con el contenido de CO_2 y con la mineralización del agua, es decir, bicarbonatos, carbonatos e iones hidroxilo (Favas et al. 2016).

La acidez mide la concentración total de ácidos presentes en la muestra y se mide por la capacidad de la solución para consumir iones hidroxilo, es decir, por la capacidad de neutralización de una base fuerte (Favas et al. 2016).

Las altas concentraciones de uno o más metales pesados son una característica común de los drenajes ácidos de minas. En principio, cualquier metal presente en el depósito mineral puede incorporarse al drenaje ácido de mina bajo ciertas condiciones geoquímicas. Otro aspecto que resalta la

importancia de esta característica se relaciona con la amenaza de toxicidad que representan niveles significativos de metales pesados para las formas de vida acuática aguas abajo de la fuente de contaminación, así como para los seres humanos. De hecho, las concentraciones de metales pesados y el pH son las dos características más importantes (Favas et al. 2016).

La turbidez es la capacidad del agua para dispersar y absorber la luz, impidiendo su transmisión en profundidad. Depende de sólidos suspendidos y disueltos. La turbidez es un parámetro medido in situ y está directamente relacionado con la apariencia visual del agua.

El total de sólidos suspendidos (SST) es un parámetro medido en el laboratorio y tiene la desventaja, en relación con la turbidez, de la necesidad de muestrear y almacenar. De hecho, durante el almacenamiento pueden ocurrir reacciones como la precipitación y la floculación, que alteran irreversiblemente la muestra en relación con las condiciones de campo (Favas et al. 2016).

La nanotecnología proporcionó soluciones innovadoras para el tratamiento del agua. Los nanomateriales están fabricados con características, tales como alta relación de aspecto, reactividad y volumen de poro ajustable, electrostática, hidrofílica e hidrofóbica, que son útiles en la adsorción, catálisis, sensores y optoelectrónica. Los procesos habilitados por nanotecnología son altamente eficientes y son de naturaleza multifuncional y ofrecen soluciones de tratamiento de aguas residuales de alto rendimiento. Los materiales que consisten en nanoobjetos son duraderos por una superficie específica alta (SBET). En otras palabras, una enorme relación de superficie a volumen controla la interacción con contaminantes y/o bacterias. Los procesos de nanotecnología habilitados para el tratamiento del agua constituyen desafíos importantes para los métodos existentes. Las nanotecnologías son ventajosas en el tratamiento de aguas residuales, ya que eliminan contaminantes y ayudan en el proceso de reciclaje para obtener agua purificada. Esto conduce a una reducción en la mano de obra, el tiempo y los gastos para que la industria resuelva diversos problemas ambientales (Kundururu et al. 2011).

Del mismo modo las aplicaciones de la nanotecnología en el tratamiento de aguas o aguas residuales pueden ser: los nanoadsorbentes los cuales se

utilizan para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua y las aguas residuales. Las propiedades únicas de los nanoadsorbentes, como tamaño pequeño, potencial catalítico, alta reactividad, gran área de superficie, facilidad de separación y gran número de sitios activos para la interacción con diferentes contaminantes los convierten en materiales adsorbentes ideales para el tratamiento de aguas residuales. Hay una variedad de nanoadsorbentes: a base de carbono, a base de metal (> 99,5 % de pureza), nanoadsorbentes poliméricos, magnéticos o no magnéticos compuestos de óxido, y zeolitas se utilizan actualmente en tecnologías nanoadsorbentes en el tratamiento del agua. La eficiencia de adsorción de los compuestos depende del agua utilizada. Con las concentraciones crecientes de cualquier sustancia (natural o antropogénica) en el agua, la capacidad del compuesto específico se reduce debido a la unión competitiva con los sitios de superficie (Kundururu et al. 2011).

Las membranas que es un material poroso de capa delgada que permite que las moléculas de agua pasen a través de ella, pero al mismo tiempo restringe el paso de bacterias, virus, sales y metales. Las membranas utilizan fuerzas impulsadas por presión o tecnologías eléctricas. La tecnología de membrana prensada a presión es un método perfecto para la purificación del agua con cualquier calidad deseada. Los procesos de separación de membrana son métodos cada vez más avanzados para el tratamiento de aguas y aguas residuales. Las membranas separan las sustancias según el tamaño de los poros y las moléculas. Es un proceso confiable y automatizado para el tratamiento de aguas residuales. El desafío de la tecnología de membrana es el compromiso inherente entre la selectividad y la permeabilidad de la membrana. Esta técnica requiere un alto consumo de energía debido al proceso impulsado por presión. El ensuciamiento de las membranas hace que el proceso sea muy complejo y también reduce la vida útil de las membranas y los módulos de membrana. El rendimiento del sistema de membrana depende del tipo de material de membrana. La inclusión nanomaterial funcional en las membranas es definitivamente ventajosa en la mejora de la permeabilidad de la membrana, la resistencia al ensuciamiento, la estabilidad mecánica y térmica (Bagbi, Pandey y Solanki 2018).

La fotocatalisis los cuales son procesos avanzado de oxidación empleado en el tratamiento de aguas y aguas residuales. Esta técnica se basa en la eliminación oxidativa de microcontaminantes y patógenos microbianos. La mayoría de los contaminantes orgánicos pueden degradarse mediante fotocatalisis heterogénea. El TiO_2 es un fotocatalizador validado, ya que es de fácil disponibilidad, seguro y económico. Cuando el TiO_2 se irradia con luz UV en el rango de 200 nm – 390 nm, el par de orificios de electrones (e^- , h^+) se fotoexcita. Se mueven hacia las bandas de conducción (CB) y de valencias (VB), lo que da como resultado la separación de la carga para una función fotocatalítica efectiva que depende del potencial redox de un sustrato. Por lo tanto, la biodegradabilidad de sustancias altamente descomponibles se puede aumentar en una etapa de pretratamiento. La fotocatalisis muestra un potencial sustancial como tecnología de tratamiento de agua sostenible, de bajo costo, respetuosa con el medio ambiente y sostenible. Sin embargo, existen algunos desafíos técnicos para su aplicación a gran escala, tales como (1) la optimización del catalizador para mejorar el rendimiento cuántico o para utilizar la luz visible; (2) diseño eficiente de reactor fotocatalítico y técnicas de recuperación/inmovilización del catalizador; (3) mejor selectividad de reacción (Deng et al. 2018).

Los métodos actuales de desinfección aplicados en el tratamiento del agua potable pueden controlar eficazmente los patógenos microbianos. La investigación realizada en las últimas décadas, sin embargo, revela un dilema entre la desinfección efectiva y la formación de subproductos de desinfección nocivos (DBPs). Los desinfectantes químicos más utilizados en la industria del agua son el cloro, las cloraminas y el ozono. Pueden reaccionar con otros constituyentes en el agua y generar DBP dañinos. La mayoría son cancerígenos. Hubo más de 600 DBP, como los DBP halogenados, nitrosaminas carcinogénicas, bromato, etc., informados en la literatura. Los procesos de desinfección UV han surgido como una alternativa para la desinfección oxidativa, ya que generan menos DBP, mientras que la dosis alta requerida para ciertos virus, como los adenovirus. Todas estas limitaciones exigen el desarrollo de métodos alternativos que puedan mejorar la robustez de la desinfección y evitar la formación de DBP.

Las nanopartículas macromoleculares matan a los microorganismos liberando antibióticos, péptidos antimicrobianos y agentes antibacterianos o eliminando el contacto de superficies catiónicas, como compuestos de amonio cuaternario, alquilpiridinio o fosfonio cuaternario. Se informa que diferentes mecanismos antibacterianos muestran cómo estos grupos catiónicos pueden romper la membrana celular bacteriana. El principal mecanismo es que las cadenas hidrófobas de ciertas longitudes penetrarán y explotarán la membrana bacteriana. Se ha demostrado que altos niveles de carga positiva son capaces de conferir propiedades antimicrobianas independientemente de la longitud de la cadena hidrófoba, tal vez por un mecanismo de intercambio iónico entre la membrana bacteriana y la superficie cargada. Los materiales antimicrobianos nanopoliméricos muestran actividad antimicrobiana a largo plazo. Son no volátiles y químicamente estables. Pueden unirse a la superficie de interés y apenas penetrar a través de las membranas biológicas. Los antimicrobianos policatiónicos contienen una alta densidad superficial de grupos activos, lo que resulta en una mayor actividad antimicrobiana. Los compuestos de amonio cuaternario tienen un extenso espectro de actividad antibacteriana contra bacterias Gram-positivas y Gram-negativas. Las poliaminas que se han descrito como nanopartículas antimicrobianas altamente efectivas son polietileniminas de amonio cuaternario, que tienen un amplio rango de dianas bacterianas cuando se incorporan en varias matrices poliméricas (Dutta y Sharma, 2019).

La adsorción se ha convertido en la técnica más eficaz para la eliminación de metales pesados porque el proceso de adsorción brinda flexibilidad en el diseño y la operación. Hoy en día, existen diversas formas de adsorbente que se han desarrollado como las nanopartículas y las perlas. No obstante, se utilizaron diversos materiales como adsorbentes, como surfactantes, carbón activado sintético, productos industriales y desechos, materiales ferrosos, enmienda de suelos a base de hierro y productos minerales. Más recientemente, el óxido de grafeno (GO) y sus compuestos han atraído una amplia atención como nuevos adsorbentes para la adsorción de varios contaminantes de metales pesados. El GO, y sus compuestos se exploran ampliamente como materiales adsorbentes avanzados para la eliminación de iones de metales pesados del agua debido a

su alta eficiencia, rápida cinética y fuerte afinidad a varios iones metálicos (Adam et al. 2018).

En un estudio mostraron adsorción de plomo y mercurio de una solución acuosa utilizando óxido de grafeno reducido con material magnético CoFe_2O_4 . En el trabajo, se aplicó el método Hummers modificado en la síntesis de GO con la colaboración a través de la oxidación de polvo de grafito. Luego, una cantidad deseada de GO se mezcló primero en agua por ultrasonidos para la síntesis de CoFe_2O_4 -rGO. Se continuó agitando vigorosamente para estas mezclas. Después de eso, se añadió la mitad de NaOH gota a gota para ajustar la solución a pH 12. Interesantemente, los productos sólidos sintetizados se separaron mediante un imán, se lavaron a fondo con agua y etanol absoluto para eliminar cualquier impureza y luego se secaron en un horno de vacío (Adam et al. 2018).

El proceso de adsorción se suele estudiar a través de isothermas que muestran la cantidad de adsorbato en el adsorbente en función de su presión parcial o concentración a temperatura constante. La cantidad de adsorbente usualmente se normaliza a la masa del adsorbente con el fin de permitir la comparación y contraste entre los diferentes materiales. La observación de las ramas de adsorción y desorción de una isoterma puede proporcionar mucha información. La forma isotérmica depende de las condiciones fisicoquímicas y de la textura porosa sólida (Yurdakal et al. 2019).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la investigación

La investigación es de tipo aplicada, porque está basado netamente a la adquisición de nuevos conocimientos, basado en conocimientos existentes de la experiencia práctica o el obtenido de la búsqueda (Tamayo 2003).

El diseño de investigación fue experimental porque se observó los efectos que producen las variables independientes sobre la dependiente (Hernandez, Fernandez, y Baptista, 2014).

El diseño para la investigación se determinó a partir del cuadro de doble entrada, detallado en la tabla 1.

Tabla 1. Cuadro de doble entrada de la investigación

| | | Tiempo de contacto (t_c) = 5 min | | Tiempo de contacto (t_c) = 9 min | |
|--------------------|----|---|-------------------------|---|-------------------------|
| | | pH = 2 | pH = 3 | pH = 2 | pH = 3 |
| Temperatura (T) | 25 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | °C | Remoción Cr (VI) (%) | Remoción Cr (VI) (%) | Remoción Cr (VI) (%) | Remoción Cr (VI) (%) |
| | 45 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | °C | Remoción Cr (VI) (%) | Remoción Cr (VI) (%) | Remoción Cr (VI) (%) | Remoción Cr (VI) (%) |

Fuente: Elaboración propia

La tabla 1 nos determinó un diseño factorial de variables independientes (2^k) cada una con dos niveles y tres variables, esto nos indica un 2^3 por lo tanto se considerará 8 pruebas principales para el desarrollo de los experimentos, para la validación y confiabilidad de datos obtenidos en los experimentos se tomará 3 réplicas para cada experimento principal, haciendo un total de 24 pruebas experimentales que se realizará.

Modelo Aditivo Lineal

Según (Montgomery, 2004):

$$X_{ij(t)} = \mu + \delta_i + \beta_j + \tau(t) + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$X_{ij(t)}$ = Observación cualesquiera dentro del experimento

μ = Media poblacional

δ_i = Efecto aleatorio de la i -ésima primera variable (pH)

β_j = Efecto aleatorio de la j -ésima segunda variable (t_c)

$\tau(t)$ = Efecto aleatorio del t -ésimo tercera variable (T)

ε_{ij} = Error experimental

- i = 1, 2,, r; primera variable
 j = 1, 2,, r; segunda variable
 t = 1, 2,, r; tercera variable

3.2. Variables y Operacionalización

Variables

Independiente: PH, Tiempo de contacto, Temperatura

Dependiente: Remoción de Cr (VI)

Operacionalización

Variable independiente:

Características físicas y químicas del agua sintética.

Variable dependiente:

Remoción de Cr (VI): Es la cantidad de Cr (VI) removido, después del tratamiento con

Tabla 2. Matriz de Operacionalización

| VARIABLES | DEFINICIÓN | DIMENSIONES | INDICADORES | UNIDAD DE MEDIDA |
|--|--|--------------------------|-----------------|--------------------|
| Características físicas y químicas del agua sintética. | Son agua que en su composición presenta diversos tipos de residuos como : alimenticios, fecales, sales y minerales, detergentes. | pH | Unid. de pH | pH |
| | | Tiempo de adsorción | Minutos | min |
| | | Temperatura | °C | Grados centígrados |
| Remoción de Cr (VI) | Es la cantidad de Cr (VI) removido por las nanopartículas de Fe ₃ O ₄ | % de remoción de Cr (VI) | Cr (VI) inicial | ppm (mg/L) |
| | | | Cr (VI) final | |

Fuente: Elaboración propia

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

La población serán las aguas sintéticas contaminadas con Cr (VI), que se prepararán en laboratorio para el desarrollo del trabajo de investigación en una cantidad de 7 500 mL.

Muestra

Hallando el tamaño de muestra para poblaciones finitas se determinó el número de muestra.

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times P \times Q}{s^2 \times (N-1) + Z_{\alpha}^2 \times P \times Q} \dots 1$$

n: Tamaño de muestra aproximado

N: Tamaño de la población bajo estudio

Z_{σ} : Valores correspondientes al valor de significancia

ε : Error de la tolerancia de investigación

Dónde:

N: Es el tamaño de la población que para nuestro trabajo será de 7 500 mL.

Z_{σ} : Para nuestro caso se trabajará a un nivel de confianza del 95 %, por hecho el nivel de significancia será:

$$\alpha = 1 - 0,95$$

$$\alpha = 0,05$$

$$1 - \frac{\alpha}{2} = 0,975$$

Se buscó el valor de 0,975 en la tabla de distribución normal del apéndice de la página 256 del libro de metodología de la investigación de (Carrasco Díaz 2006) tenido como valor $Z_{\sigma} = 1,96$ (véase anexo TD-1)

ε : el error estimado para nuestro trabajo fue de 0,056

P: La probabilidad a favor (0,5)

Q: La probabilidad en contra (0,5)

Tabla 3. Valores para determinar el tamaño de muestra.

| | |
|---------------|-------|
| P= | 0,5 |
| Q= | 0,5 |
| E= | 0,061 |
| Z(a)= | 1,96 |
| N= | 7 500 |

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando los valores en la ecuación 1 tenemos:

$$n = \frac{7500 \times 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5}{0,061^2 \times (7500 - 1) + 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5}$$

$$n = 249,5480$$

redondeando:

$$n = 250 \text{ mL}$$

Unidad muestral

El volumen requerido será de 250 mL de agua sintética de curtiembre

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos Técnicas de investigación

Experimentos en laboratorio: preparación del agua sintética y preparación de las nanopartículas magnéticas de hierro Fe₃O₄.

Instrumentos de investigación

- Monitoreo de parámetros pH, tiempo de contacto y temperatura.
- Reportes de los laboratorios (espectroscopia UV VIS y TEM).
- Resúmenes de artículos científicos.

3.5. Procedimiento

El procedimiento constó de 3 etapas, que están descritas a continuación:

A) Preparación del agua sintética

Según (Padmavathy, Madhu y Haseena 2016):

- Se disolvió 2,835 g de dicromato de potasio en un litro de agua destilada, obteniendo 1000 ppm de solución madre.

B) Preparación de la nanopartícula de Fe_3O_4

Según (Vanegas, Vázquez, Moscoso, y Cruzat, 2014):

- Para la síntesis de nanopartículas de magnetita se empleó el método Co-precipitación química.
- Se preparó la solución (1) de $\text{FeCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ al 0,64 M, con la ecuación de molaridad.

Dónde:

Peso molecular de $\text{FeCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 253 \text{ g/mol}$

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$M = \frac{w}{\frac{M}{w}}$$
$$0,64 = \frac{w}{253 \times 0,015}$$

$$w = 2,4288 \text{ g}$$

Se utilizó 2,4288 g de $\text{FeCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ para preparar 15 mL a 0,64 M

- Se preparó otra solución (2) de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ al 1,28 M. con la ecuación de molaridad.

Dónde:

Peso molecular de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 270,5 \text{ g/mol}$

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$M = \frac{w}{\frac{M}{w}}$$
$$1,28 = \frac{w}{270,5 \times 0,015}$$

$$w = 5,1936 \text{ g}$$

Se utilizó 5,1936 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ para preparar 15 mL a 1,28 M

- Se tomó 15 mL de cada solución y se mezclarán.

- Se vertió la mezcla de sales de hierro en una bureta de 25 mL.
- Se preparó 250 mL de una solución (3) de NH₄OH al 1,5 M

Dónde:

Densidad de NH₄OH = 0,91 g/mL (véase anexo H-1)

Peso molecular = 35,05 g/mol (véase anexo H-1)

Porcentaje = 27 % (véase anexo H-1)

Utilizando la densidad del NH₄OH se tiene que en 1 L hay 910 g de NH₄OH.

Sacando el porcentaje en peso

$$\text{gramos} = \frac{27}{100} \times 910$$

$$\text{gramos} = 245,7$$

Aplicando la ecuación de molaridad

$$M = \frac{w}{\overline{M}}$$

$$M = \frac{245,7}{35,05 \times 1}$$

$$M = 7$$

Utilizando la ecuación de disolución

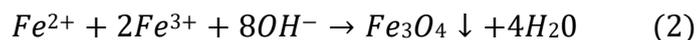
$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$7 \times V_1 = 1,5 \times 250$$

$$V_1 = 53 \text{ mL}$$

Se utilizó 53 mL de NH₄OH para preparar 250 mL a 1,5 M

- Se colocó la solución (3) en un vaso de precipitados de 1000 mL
- Luego se adiciono gota a gota la mezcla de sales de hierro a la solución (3), bajo agitación constante (800 rpm) y a 30 °C.
- Se realizó la siguiente reacción de precipitación:



- Se obtuvo el precipitado de magnetita Fe₃O₄, se lavó 4 veces con agua destilada, sedimentándolas bajo la acción de un campo magnético externo y retirando el sobrenadante
- Se secó en una mufla a 60 °C durante 12 horas

C) Desarrollo de pruebas experimentales: proceso de remoción de Cr (VI)

- Se empleó 250 mL de agua residual sintética para cada muestra experimental que se vertió en un vaso de precipitación de 500 mL de capacidad.
- Se añadió a cada prueba experimental 5 gramos de adsorbente (nanopartícula de Fe_3O_4) (Padmavathy, Madhu y Haseena 2016) y se mantuvo con un tiempo de contacto de 5 y 9 minutos.
- Se manipulo el pH, que se varió con HCl 0,1 M y NaOH 0,1 M con el cual se obtuvo el pH deseado (Padmavathy, Madhu y Haseena 2016).
- Se varió la temperatura de 25 °C a 45 °C.
- Después de completar las pruebas experimentales las soluciones se filtraron usando papel filtro N° 41 Whatman.
- Finalmente, el agua residual sintética se analizó después del tratamiento, tomando un volumen de alícuotas de agua representativo de 20 mL.

3.6. Método de análisis de datos

3.6.1. Estadísticos

Para tratar los datos, se hizo uso del Microsoft Excel y MINITAB versión 18, softwares estadísticos que nos permitió obtener los análisis de dispersión y resultados confiables.

3.6.2. Representación

- Tablas
- Histogramas
- Gráficas de superficie

3.6.3. Técnica de comprobación de la hipótesis

Se realizó un análisis de ANOVA del diseño factorial 2^3 , para evaluar los resultados de porcentaje de remoción de Cr (VI) final obtenidas por las pruebas experimentales. Para las hipótesis específicas se utilizó una comparación de Tukey para ver los parámetros óptimos.

3.7. Aspectos éticos

El trabajo de investigación respetó la autoría intelectual citando a los autores y la ética en investigación de la universidad, RCU N° 0126-2017/UCV. Además, se ajusta a la Resolución Rectoral N° 0089 -2019/UCV, Reglamento de investigación de la Universidad César Vallejo y mediante Disposición N° 7.4 de la Resolución de Vicerrectorado de Investigación N° 008-2017-VI/UCV: la cual se comprobó con el turnitin, la evidencia de no copia del trabajo de investigación, con un porcentaje de 19%.

La confiabilidad de los datos presentados se sustenta con el registro fotográfico e informes de laboratorio reportados en los anexos.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización del agua sintética de curtiembre

Se realizó un análisis preliminar del agua sintética de curtiembre, para lo cual se llevó al laboratorio acreditado de análisis ambientales S.C.R.L. LABECO, donde dio como resultado la concentración inicial de 60,01 ppm de cromo (VI).

Para mayor veracidad, se llevó una muestra del mejor tratamiento obtenido en las pruebas experimentales al laboratorio acreditado de análisis ambientales S.C.R.L. LABECO, el cual dio un resultado de 1,99 ppm

IV.1.1. Preparación del agua sintética de cromo

Se utilizó el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) el cual tiene un 35,35 % de cromo(VI), donde se pesó 2,835 g de dicromato de potasio, luego se disolvió en un litro de agua destilada, obteniendo 1000 ppm de solución madre.

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Aplicando la ecuación:

$$1000 \times V_1 = 60 \times 250$$

$$V_1 = 15 \text{ mL}$$

Se tomó 15 mL de la solución madre, se llevó a una fiola y se aforo hasta los 250 mL. Obteniendo así la concentración inicial del agua sintética de cromo (VI) a 60 ppm, con dicho valor se trabajó todas las corridas experimentales de acuerdo al diseño experimental mencionado capítulos arriba.

4.2. Resultados de las pruebas experimentales

Las pruebas de agua sintética de cromo (VI) después de los tratamientos a una temperatura de 25 °C y 45 °C, tiempo de 15 minutos y 25 minutos, pH de 2 y 3 y con una masa de 1 g de nanopartículas de Fe_3O_4 , se enviaron al laboratorio de análisis instrumental de la Universidad Nacional del Centro del Perú, donde se analizó por espectrofotometría de absorción atómica.

Tabla 4 Resultados de la remoción de Cr(VI) replica I.

| pH | Tiempo (min.) | Temperatura (°C) | Concentración Final Cr(VI) | %RCr(VI) |
|-----------|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 2 | 15 | 25 | 14,72 | 75,48 % |
| 2 | 15 | 45 | 10,81 | 82,00 % |
| 2 | 25 | 25 | 3,83 | 93,62 % |
| 2 | 25 | 45 | 1,97 | 96,72 % |
| 3 | 15 | 25 | 18,5 | 69,19 % |
| 3 | 15 | 45 | 12,33 | 79,46 % |
| 3 | 25 | 25 | 5,19 | 91,36 % |
| 3 | 25 | 45 | 2,84 | 95,27 % |

La tabla 4, muestra los valores de las variables siendo: pH 2 y 3, tiempo de contacto 15 min. y 25 min, temperatura 25 °C y 45 °C, teniendo como resultado un valor máximo de 96,72 % de remoción de cromo(VI) y un valor mínimo de 69,19 %.

Tabla 5 Resultados de la remoción de Cr(VI) replica II

| pH | Tiempo (min.) | Temperatura (°C) | Concentración Final Cr(VI) | %RCr(VI) |
|-----------|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 2 | 15 | 25 | 14,69 | 75,53 % |
| 2 | 15 | 45 | 10,76 | 82,08 % |
| 2 | 25 | 25 | 3,8 | 93,67 % |
| 2 | 25 | 45 | 1,99 | 96,69 % |
| 3 | 15 | 25 | 18,47 | 69,24 % |
| 3 | 15 | 45 | 12,29 | 79,53 % |
| 3 | 25 | 25 | 5,17 | 91,39 % |
| 3 | 25 | 45 | 2,84 | 95,27 % |

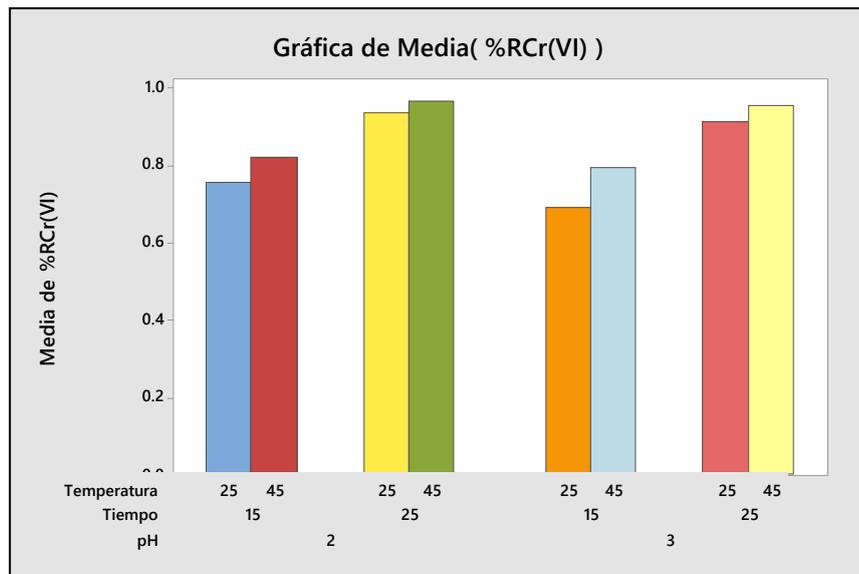
Como se ve en la tabla 5, los resultados tuvieron una variación mínima comparado con los resultados de la tabla 3, esto es porque se trabajó a las mismas condiciones en las variables y por eso no afectó a los resultados. Donde la mayor remoción de cromo(VI) fue de 96,69 % y la mínima de 69,24 %.

Tabla 6 Resultados de la remoción de Cr(VI) replica III

| pH | Tiempo (min.) | Temperatura (°C) | Concentración Final Cr(VI) | %RCr(VI) |
|-----------|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 2 | 15 | 25 | 14,7 | 75,52 % |
| 2 | 15 | 45 | 10,88 | 81,88 % |
| 2 | 25 | 25 | 3,79 | 93,69 % |
| 2 | 25 | 45 | 1,95 | 96,75 % |
| 3 | 15 | 25 | 18,49 | 69,20 % |
| 3 | 15 | 45 | 12,35 | 79,43 % |
| 3 | 25 | 25 | 5,22 | 91,31 % |
| 3 | 25 | 45 | 2,8 | 95,34 % |

La tabla 6 muestra los resultados de la remoción de cromo(VI) en la réplica 3, donde la máxima remoción fue de 96,75 % a las condiciones de pH igual a 2, tiempo de contacto de 25 minutos y temperatura de 45 °C, la menor remoción de cromo(VI) fue de 69,20 % a las condiciones de pH igual a 3, tiempo de contacto de 15 minutos y temperatura de 25 °C.

Figura 1 Gráfica de media del porcentaje de remoción de cromo (VI)



La figura 1, muestra una gráfica en barra de la media de los porcentajes de remoción de cromo(VI) donde la mayor remoción se dio a un pH de 2 con un tiempo de 25 minutos a una temperatura de 25 °C se removió un 93,659 % y a 45 °C se removió un 96,659 %.

4.2.1. Resultado de los datos para las isotermas de adsorción

Tabla 7 Datos para las isotermas de adsorción

| Masa (g) | Concentración de Cr(VI) mg/L |
|----------|------------------------------|
| 0,2 | 18,7 |
| 0,4 | 9,28 |
| 0,6 | 5,19 |
| 0,8 | 3,67 |
| 1 | 1,99 |

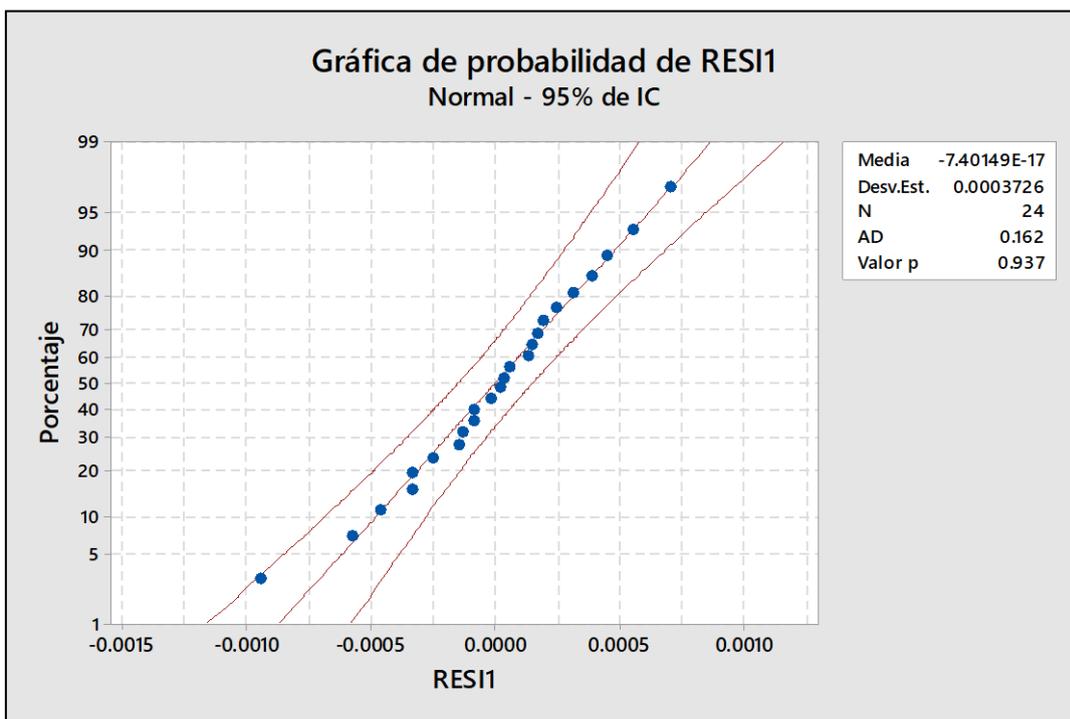
La tabla 7, muestra los datos obtenidos después del tratamiento a diferentes masas de las nanopartículas de Fe₃O₄.

4.2.2. Contrastación de Hipótesis

Probabilidad

Se hizo la gráfica de probabilidad para observar la normalidad de los datos recolectados después de los tratamientos experimentales.

Figura 2. Gráfica de probabilidad de los residuos de la remoción de cromo(VI)



La figura 2, se observa la gráfica de probabilidad del residuo de la remoción de cromo (VI), donde hubo una normalidad con los datos tratados, porque la gran parte de los puntos están en la diagonal, concluyendo que no hay valores atípicos que influyan en los cálculos hechos. El valor de p fue de 0,937, lo que indica que es una distribución normal, debido que supera al valor de la significancia (0,05).

Análisis de varianza

Diseño factorial completo

Resumen del diseño

Tabla 8 Resumen del diseño factorial completo

Factores: 3 Diseño de la base: 3; 8

Corridas: 24 Réplicas: 3

Bloques: 3 Puntos centrales (total): 0

Regresión factorial: %RCr(VI) vs. Bloques; Temperatura; Tiempo; pH

Análisis de Varianza

Tabla 9 Análisis de varianza de la remoción de cromo(VI).

| Fuente | G L | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------------------------|--------|--------------|--------------|---------------|------------|
| Modelo | 9 | 0,22089 2 | 0,02454 4 | 107630,3 9 | 0,000 |
| Bloques | 2 | 0,00000 1 | 0,00000 0 | 1,56 | 0,245 |
| Lineal | 3 | 0,21523 3 | 0,07174 4 | 314618,7 9 | 0,000 |
| Temperatura | 1 | 0,02113 4 | 0,02113 4 | 92678,66 | 0,000 |
| Tiempo | 1 | 0,18819 5 | 0,18819 5 | 825288,3 4 | 0,000 |
| pH | 1 | 0,00590 4 | 0,00590 4 | 25889,36 | 0,000 |
| Interacciones de 2 términos | 3 | 0,00534 1 | 0,00178 0 | 7807,42 | 0,000 |
| Temperatura*Tiempo | 1 | 0,00355 6 | 0,00355 6 | 15594,22 | 0,000 |

| | | | | | |
|--------------------------------|----|--------------|--------------|---------|-------|
| Temperatura*pH | 1 | 0,00081 9 | 0,00081 9 | 3593,59 | 0,000 |
| Tiempo*pH | 1 | 0,00096 6 | 0,00096 6 | 4234,45 | 0,000 |
| Interacciones de 3 términos | 1 | 0,00031 7 | 0,00031 7 | 1391,77 | 0,000 |
| Temperatura*Tiempo*pH | 1 | 0,00031 7 | 0,00031 7 | 1391,77 | 0,000 |
| Error | 14 | 0,00000 3 | 0,00000 0 | | |
| Total | 23 | 0,22089 5 | | | |

Resumen del modelo

Tabla 10. Cuadro resumen del modelo

| S | R-cuad, | R-cuad, (ajustado) | R-cuad, (pred) |
|-----------|---------|-----------------------|-------------------|
| 0,0004775 | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

4.2.2.1. Análisis de ANOVA para contrastar la hipótesis general

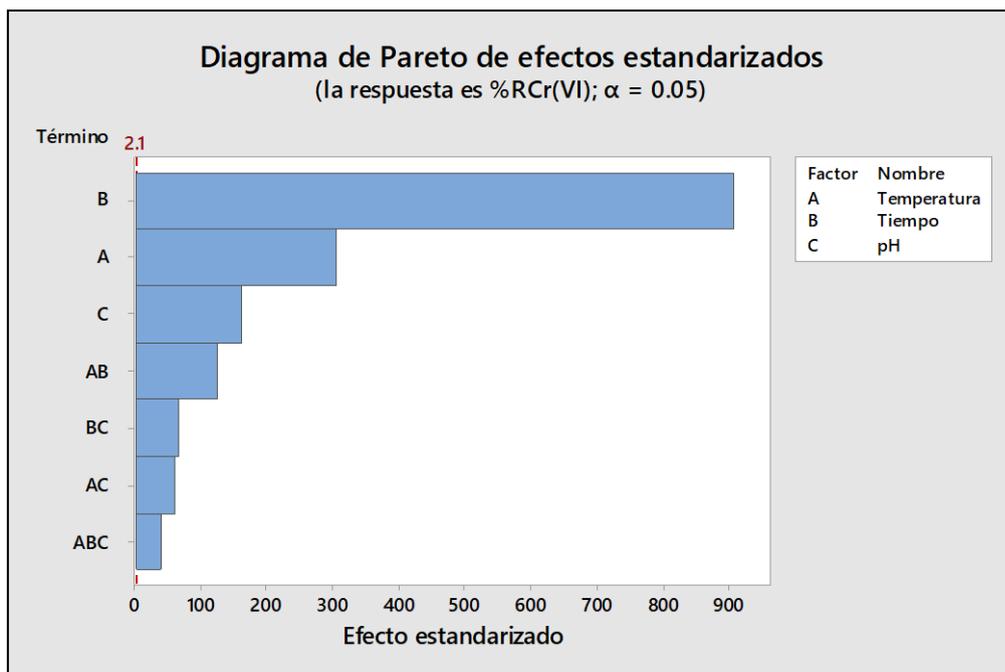
Para la contratación de la hipótesis general se hizo uso del software Minitab 18 donde se realizó el análisis de ANOVA del diseño factorial completo para la remoción de Cr (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre con la variación de pH, tiempo de contacto y temperatura.

Hipótesis nula (H_0): La remoción de Cr (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre no es eficiente con la variación de pH, tiempo de contacto y temperatura.

Hipótesis alterna (H_a): La remoción de Cr (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre es eficiente con la variación de pH, tiempo de contacto y temperatura.

Viendo la tabla 9, observamos el resultado de la interacción de las tres variables manipuladas (tiempo de contacto, temperatura y el pH), donde el valor de p fue de 0,000, este valor es menor que el valor de la significancia (0,05), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a), la cual afirma que la remoción de Cr (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre es eficiente con la variación de pH, tiempo de contacto y temperatura.

Figura 3 .Diagrama de Pareto



En la figura 3 se muestra el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados, donde la interacción del tiempo de contacto, temperatura y pH muestran una influencia significativa en la remoción de Cr (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre.

4.2.2.2. Contratación de la primera hipótesis específica

Para contrastar si el pH influye significativamente en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre mediante las nanopartículas de Fe₃O₄, se utilizó el análisis de varianza con una comparación de Tukey.

Hipótesis nula (H₀): El pH no influye significativamente en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre mediante las nanopartículas de Fe₃O₄.

Hipótesis alterna (H_a): El pH influye significativamente en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre mediante las nanopartículas de Fe₃O₄.

Según el análisis de varianza de la tabla 9, demuestra un valor de p igual a 0,000 del pH, el cual es un valor que está por debajo del nivel de significación de 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a).de que el pH influye significativamente en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre mediante las nanopartículas de Fe₃O₄.

Comparaciones en parejas de Tukey

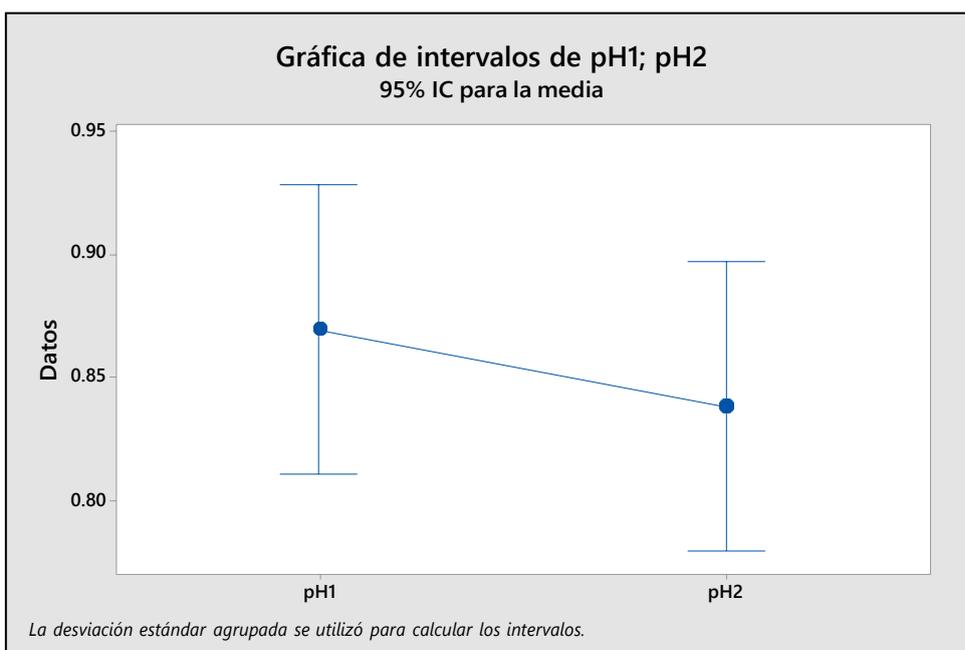
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tabla 11 Valor optimo del pH.

| Factor | N | Media | Agrupación |
|--------|----|--------|------------|
| pH1 | 12 | 0,8697 | A |
| pH2 | 12 | 0,8383 | A |

La tabla 11 muestra que el pH1 (2) tiene una mejor remoción de cromo(VI), llegando alcanzar un porcentaje del 86,97 %

Figura 4 .Intervalos de Ph1; Ph2



La figura 4 y la tabla 11, muestran que el pH óptimo es el pH1 con un valor de 2, el cual removió un 86,97 % de cromo(VI).

4.2.2.3. Contrastación de la segunda hipótesis específica

Para contrastar si el incremento del tiempo de contacto influye significativamente la capacidad de adsorción de las nanopartículas de Fe_3O_4 reduciendo la concentración de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre, se utilizó el análisis de varianza con una comparación de Tukey.

Hipótesis nula (H_0): El incremento del tiempo de contacto no influye significativamente la capacidad de adsorción de las nanopartículas de Fe_3O_4 reduciendo la concentración de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre.

Hipótesis alterna (H_a): El incremento del tiempo de contacto influye significativamente la capacidad de adsorción de las nanopartículas de Fe_3O_4 reduciendo la concentración de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre.

Según el análisis de varianza de la tabla 9, muestra un valor de p igual a 0,000 del tiempo de contacto, el cual es un valor menor al nivel de significancia que es de 0,05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a) de que el incremento del tiempo de contacto influye

significativamente la capacidad de adsorción de las nanopartículas de Fe_3O_4 reduciendo la concentración de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre.

Comparaciones en parejas de Tukey

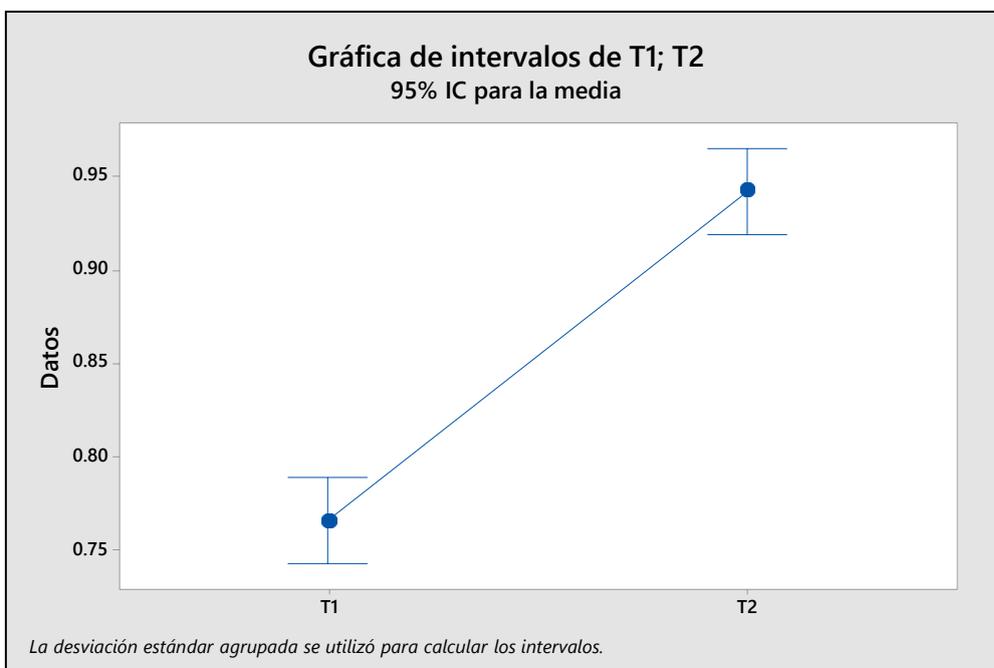
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tabla 12 Valor optimo del tiempo de contacto

| Factor | N | Media | Agrupación |
|--------|----|---------|------------|
| T2 | 12 | 0,94255 | A |
| T1 | 12 | 0,7654 | B |

La tabla 12 muestra que el tiempo de contacto T2 (25 minutos) tiene una mejor remoción de cromo(VI), llegando alcanzar un porcentaje del 94,25 %

Figura 5 .Grafica de comparación del tiempo de contacto en la remoción de cromo(VI).



La figura 5, se observa que a un tiempo de 25 minutos hay una mayor remoción de cromo(VI) siendo este valor el óptimo, se llegó a una remoción del 94,25 %

4.2.2.4. Contrastación de la tercera hipótesis específica

Para contrastar si a mayor temperatura de adsorción de las nanopartículas de Fe_3O_4 mayor es la influencia en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre, se utilizó el análisis de varianza con una comparación de Tukey.

Hipótesis nula (H_0): A mayor temperatura de adsorción de las nanopartículas de Fe_3O_4 menor es la influencia en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre.

Hipótesis alterna (H_a): A mayor temperatura de adsorción de las nanopartículas de Fe_3O_4 mayor es la influencia en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre.

Según el análisis de varianza de la tabla 9, muestra un valor de p igual a 0,000 de la temperatura, el cual es un valor menor al nivel de significancia que es de 0,05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a) de que a mayor temperatura de adsorción de las nanopartículas de Fe_3O_4 mayor es la influencia en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre.

Comparaciones en parejas de Tukey

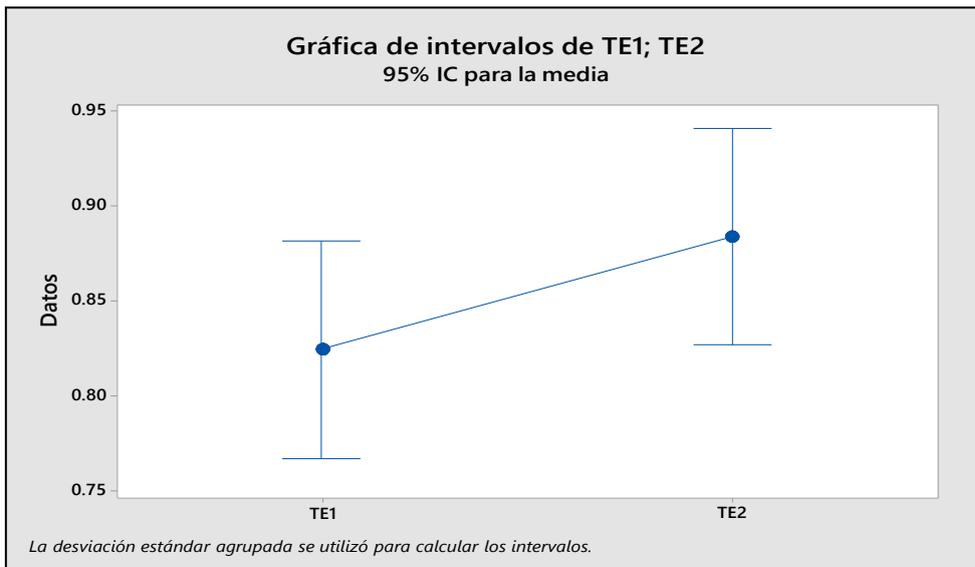
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tabla 13 Valor óptimo de la temperatura.

| Factor | N | Media | Agrupación |
|--------|----|--------|------------|
| TE2 | 12 | 0.8837 | A |
| TE1 | 12 | 0.8243 | A |

La tabla 13 muestra que la temperatura TE2 (45 °C) tiene una mejor remoción de cromo(VI), llegando alcanzar un porcentaje del 88,37 %

Figura 6 .Grafica de comparación de la temperatura en la remoción de cromo(VI).



La figura 6 se observa que a una temperatura de 45 °C hay una mayor remoción de cromo(VI) siendo este valor el óptimo, se llegó a una remoción del 88,37 %

V. DISCUSIÓN

5.1. Isotermas de adsorción

La isoterma de Langmuir representa la adsorción monocapa y el modelo Freundlich representa la adsorción multicapa (Padmavathy, Madhu y Haseena 2016).

La isoterma de Langmuir viene dada por la ecuación

$$q = \frac{q_{max}bC_e}{1 + bC_e}$$

Dónde:

C_e es la concentración de equilibrio, b es constante en relación con la afinidad de los sitios de unión, q_{max} es la cantidad máxima de iones metálicos por unidad de peso de adsorbente para formar una monocapa completa en la superficie. La ecuación de Langmuir se puede representar de otra forma como se muestra a continuación.

$$\frac{C_e}{q} = \frac{C_e}{q_{max}} + \frac{1}{bq_{max}}$$

La isoterma de Freundlich viene dada por la ecuación.

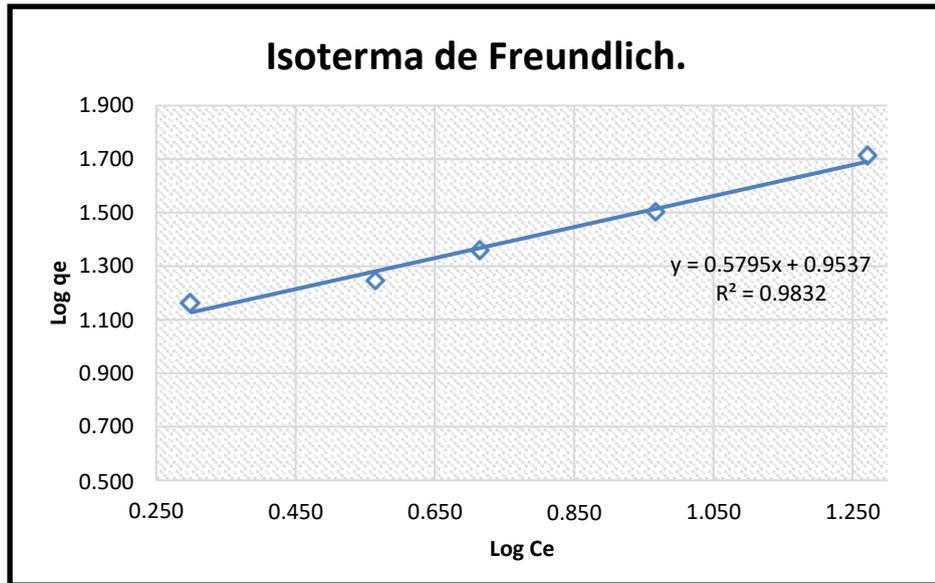
$$q = KC_e^{1/n}$$

En esta isoterma, los sitios de unión se consideran diferentes. K está relacionado con la capacidad de adsorción y n se refiere a la intensidad de adsorción (Foo y Hameed, 2010). Tomando logaritmo en ambos lados.

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C_e$$

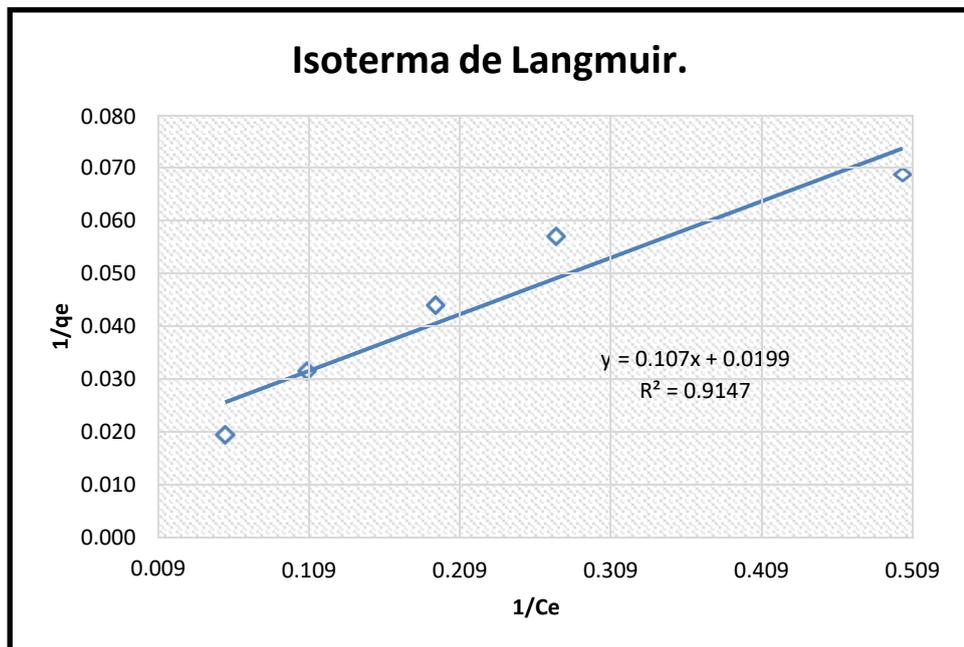
En el presente trabajo, el modelo de Freundlich ofrece un mejor valor de la capacidad de adsorción en comparación con el modelo de Langmuir. Los valores de las constantes de isoterma se dan en la tabla 1. Las gráficas de Langmuir y Freundlich se muestran en la figura 7 y 8.

Figura 7 .soterma de Freundlich



La figura 7 muestra la gráfica de la isoterma de Freundlich donde el coeficiente de correlación R^2 tiene un valor de 0,9832.

Figura 8 Isoterma de Langmuir



La figura 8 muestra la gráfica de la isoterma de Langmuir donde el coeficiente de correlación R^2 tiene un valor de 0,9147.

Tabla 14 Parámetros de las isotermas de adsorción

| Modelo de Freundlich | |
|-------------------------|---------|
| R ² | 0,9832 |
| 1/n | 0,5795 |
| K | 8,9887 |
| Modelo de Langmuir | |
| R ² | 0,9147 |
| q _{max} (mg/g) | 50,2513 |
| b (1/mg) | 0,1860 |

La tabla 14, nos muestra los parámetros de las isotermas de adsorción, donde el modelo de Freundlich ofrece un mejor valor de la capacidad de adsorción en comparación con el modelo de Langmuir, observando sus coeficientes de correlación donde el modelo de Freundlich tiene un valor de 0,9832 y el modelo de Langmuir un valor de 0,9147. Los autores (Padmavathy, Madhu y Haseena 2016) hicieron el estudio de isotermas de adsorción para la eliminación del cromo hexavalente (Cr (VI)) del agua sintética por nanopartículas de magnetita, donde obtuvieron un valor del coeficiente de correlación para los modelos de las isotermas de Freundlich y Langmuir de 0,996 y 0,994 respectivamente, donde sus resultados muestran que el modelo de Freundlich ofrece un mejor valor de la capacidad de adsorción.

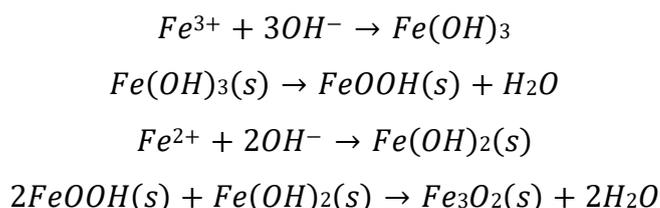
Concluyendo como investigador que el modelo de Freundlich ofrece una mejor capacidad de adsorción.

En la actualidad, la isoterma de Freundlich se aplica ampliamente en sistemas heterogéneos, especialmente para compuestos orgánicos o especies altamente interactivas en carbón activado y tamices moleculares. La pendiente oscila entre 0 y 1 es una medida de la intensidad de adsorción o de la heterogeneidad de la superficie, que se vuelve más heterogénea a medida que su valor se acerca a cero. Mientras que un valor por debajo de la unidad implica un proceso de quimiosorción donde 1/n por encima de uno es indicativo de adsorción cooperativa (Haghseresht y Lu, 1998).

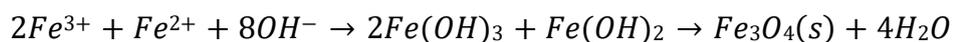
Observando la tabla 14 en el modelo de Freundlich, el valor de $1/n$ es igual a 0,5795, afirmando así que es un proceso de quimiosorción, ya que dicho valor está por debajo de la unidad.

V.1.1. Mecanismo de formación de nanopartículas de Fe_3O_4

Las reacciones químicas informadas para la síntesis de magnetita usando sales ferrosas y férricas en condiciones alcalinas se dan en las ecuaciones (Rajput, Pittman, y Mohan, 2016):



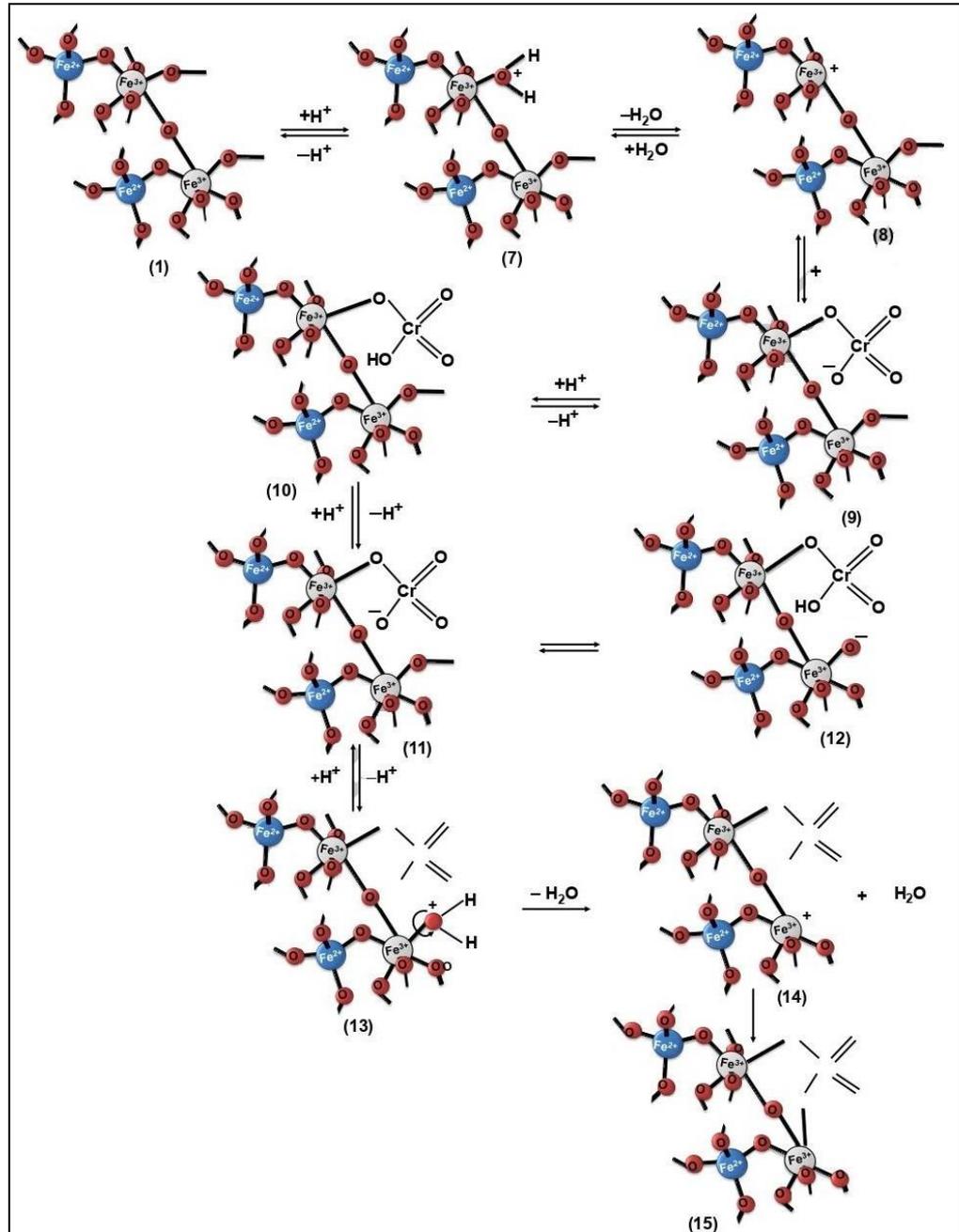
En general, esto está representado por la ecuación:



La hidrólisis simultánea y la deshidratación de las sales de Fe^{2+} y Fe^{3+} ocurrieron durante la nucleación de nanopartículas de magnetita. Los iones Fe^{3+} precipitaron inmediatamente como ferrihidrita durante la hidrólisis a pH 3 (Gnanaprakash et al. 2007). Fe^{2+} se incorpora a la ferrihidrita formando complejos intermedios de ferrihidrita Fe^{2+} a medida que aumenta el pH. La alta movilidad de electrones entre Fe^{2+} y Fe^{3+} juega un papel importante en el proceso de cristalización. Una pequeña proporción de iones Fe^{2+} ($\geq 10\%$ en moles) es esencial para inducir la cristalización de todo el hierro en estructuras de nanopartículas de magnetita (Schwertmann et al. 2000)

5.1.2. Adsorción de cromo (VI) en la superficie de magnetita.

Figura 9 .Mecanismo de adsorción del cromo(VI) con nanopartículas de magnetita



El pH acuoso modifica significativamente la adsorción de metales pesados, influyendo en la química de la superficie, determinando la carga superficial adsorbente y el grado de ionización y especiación

de las especies adsorbidas (Al-Qodah 2006). En sistemas acuosos, la superficie de los óxidos de hierro está cubierta con grupos FeOH. Los grupos hidroxilo superficiales protonan o desprotonan para generar cargas superficiales FeOH²⁺ o FeO⁻ funciona a valores de pH inferiores o superiores al pHz_{PC}, respectivamente (Al-Qodah 2006).

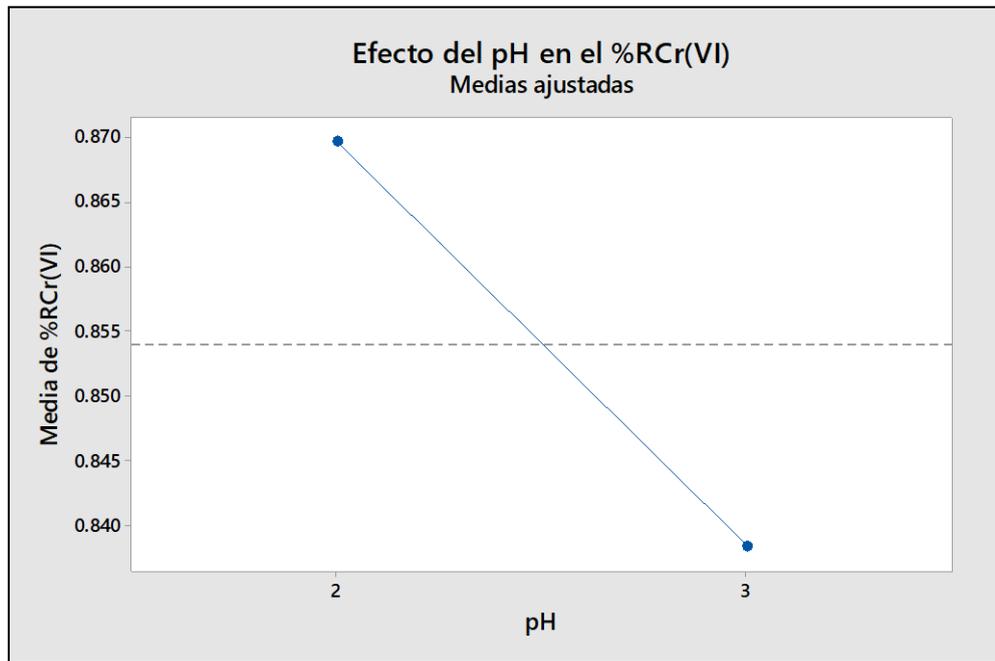
La magnetita contiene Fe²⁺. Sus productos de hidrólisis informados FeOH⁺, Fe(OH)₂⁰ y Fe(OH)₃⁻ varían con el pH (Alibeigi y Vaezi, 2008). Por lo tanto, las fuerzas electrostáticas entre las especies de iones metálicos y las cargas superficiales son responsables de la adsorción. La carga de punto cero de la magnetita es el valor de pH en el cual las concentraciones superficiales de los grupos FeOH²⁺ y FeO⁻ son iguales (Karami y Taala 2011). El pHz_{PC} medido (7,4) de la superficie de magnetita está cerca de neutral.

La Figura 9 muestra el efecto del pH sobre la adsorción de Cr por nanopartículas magnéticas. La eliminación máxima de cromo de 86,96 % ocurrió a pH 2 y disminuyó rápidamente a medida que el pH se elevó de 2 a 3. La adsorción alta de Cr⁶⁺ ocurre en el rango ácido de pH más bajo donde la superficie de magnetita tiene una carga positiva neta de los grupos de superficie Fe-OH₂⁺. El aumento del pH conduce a una disminución dramática en la eliminación de Cr⁶⁺. A medida que los sitios de FeOH₂⁺ de superficie se convierten cada vez más en Fe-O⁻, las atracciones electrostáticas hacia las especies de cromo aniónico disminuyen y las repulsiones aumentan (Rajput, Pittman y Mohan 2016).

5.2. pH con mayor remoción de cromo(VI) de agua sintética

La mayor remoción del cromo hexavalente es mayor a pH bajo. A medida que aumenta el pH de 2 a 3, el porcentaje de remoción disminuye como se muestra en la figura 9.

Figura 10 . Efecto del pH en la remoción de cromo(VI)



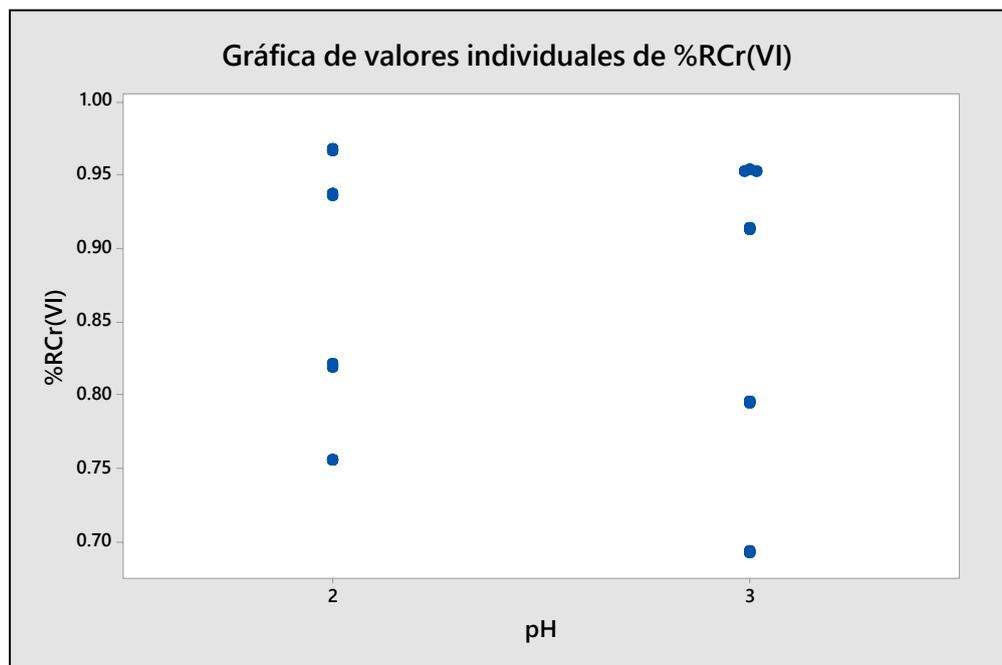
La figura 10 muestra el efecto que tiene el pH en el porcentaje de remoción de cromo(VI), donde a un pH de 2 la remoción es mayor alcanzando un valor medio de 86,96 %, mientras que a un pH de 3 la remoción de cromo(VI) se reduce a un valor medio de 83,83 %.

El efecto del pH en la remoción de cromo(VI) fue estudiado por diversos autores entre ellos tenemos a (Padmavathy, Madhu y Haseena 2016) quienes trabajaron a un pH que varía de 2 a 10, teniendo una mayor remoción del cromo (VI) a un pH de 2 con un valor del 65 % y a un pH de 10 un valor del 20 %, concluyendo que a medida que el pH aumenta, la superficie de las nanopartículas de magnetita se carga más negativamente. Esto provoca una mayor repulsión entre Cr (VI) y las nanopartículas de magnetita. Por lo tanto, la remoción disminuye con el aumento del pH. Así también los autores (Nabin et al. 2019) trabajaron con pH de 2 a 6, donde la mayor remoción se dio a un pH de 2 y al aumentar el pH hasta 6, hubo una reducción en la remoción del cromo(VI), concluyendo la mayor adsorción a pH ácido podría atribuirse a la protonación de la superficie del adsorbente debido a los iones H^+ que a su vez, aumenta la atracción electrostática entre la superficie del adsorbente con carga positiva y los iones de cromato con carga negativa. La

adsorción cayó bruscamente a medida que el pH de la solución seguía aumentando.

Por lo cual puedo afirmar que un pH bajo favorece al proceso de adsorción porque un pH ácido atribuye a la protonación de la superficie del adsorbente debido a los iones H^+ que, a su vez, aumenta la atracción electrostática entre la superficie del adsorbente con carga positiva y los iones de cromato con carga negativa y a medida que el pH aumenta, la superficie de las nanopartículas de magnetita se carga más negativamente. Esto provoca una mayor repulsión entre $Cr(VI)$ y las nanopartículas de magnetita.

Figura 11 . Grafica de todos los datos del %RCr(VI) respecto al pH



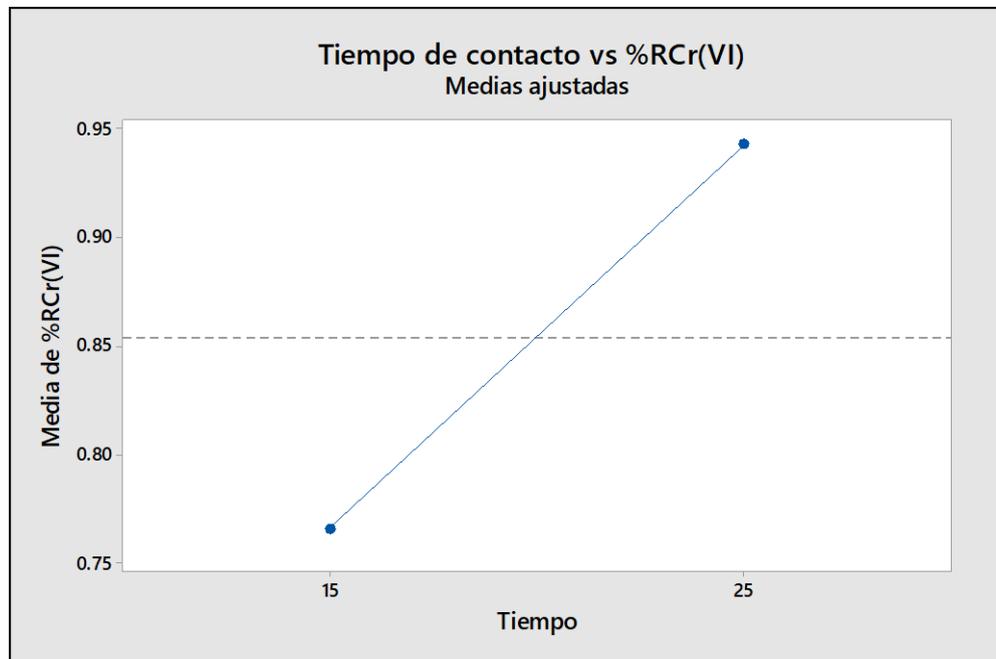
La figura 11, muestra que a un pH de 2 la remoción de cromo(VI) es mayor con un valor de 96,75 %, mientras que a un pH de 3 la remoción disminuye a 95,27 %.

5.3. Tiempo de contacto de la nanopartícula de magnetita en la remoción de cromo(VI) de agua sintética

Para establecer el mejor tiempo de contacto que será necesario para una eficiente remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 se tomó tiempos

de 15 minutos y 25 minutos con un gramo de nanopartícula de magnetita.

Figura 12 . Grafica del tiempo de contacto en la remoción de Cr(VI)



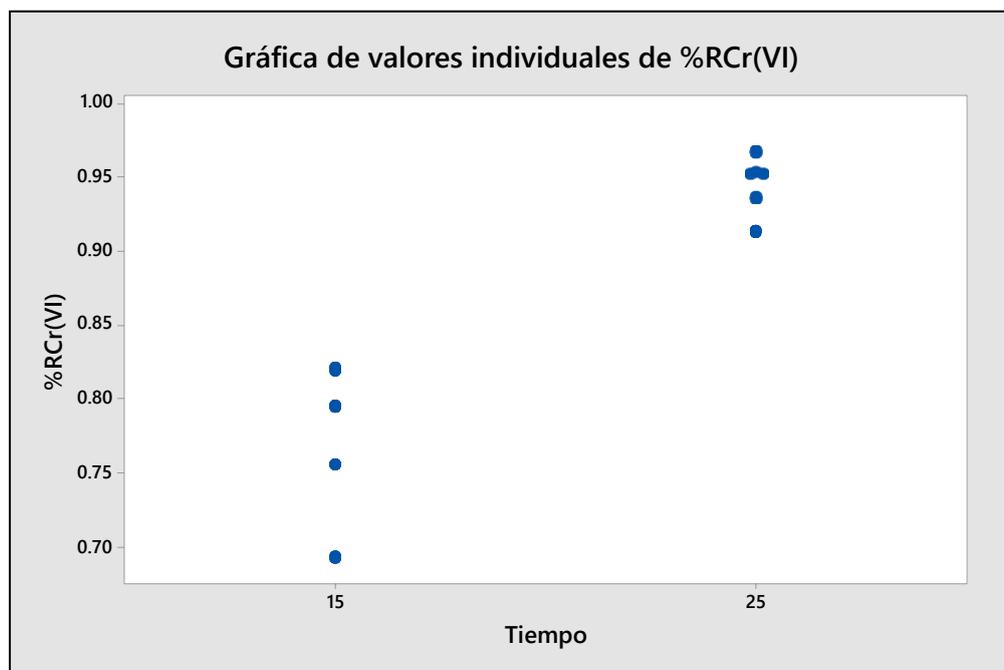
La figura 12, muestra los valores medios obtenidos en los tiempos de 15 minutos y 25 minutos, donde la mayor remoción de cromo (VI) se dio a los 25 minutos con un porcentaje medio igual a 94,25 % y una mínima remoción a los 15 minutos con un valor de 76,54 %.

El parámetro del tiempo de contacto también fue estudiado por los autores (Padmavathy, Madhu y Haseena 2016) quienes manejaron tiempos de adsorción de 20 minutos hasta los 120 minutos, obteniendo porcentajes de remoción de 69 % y 72 % . A medida que pasa el tiempo, la cobertura de la superficie del adsorbente es alta y además no se produce adsorción. Otro estudio también se dio por parte de los autores (Niu et al. 2019) trabajando con tiempos de 40 minutos hasta los 140 minutos, teniendo una tasa de eliminación de cromo(VI) del 93 % a los 120 minutos, llegando a su equilibrio.

Como investigador afirmo que a mayor tiempo de contacto mayor es la remoción, hasta alcanzar el equilibrio donde el tiempo se vuelve

constante en el proceso de adsorción debido a la saturación del material adsorbente en este caso las nanopartículas de magnetita.

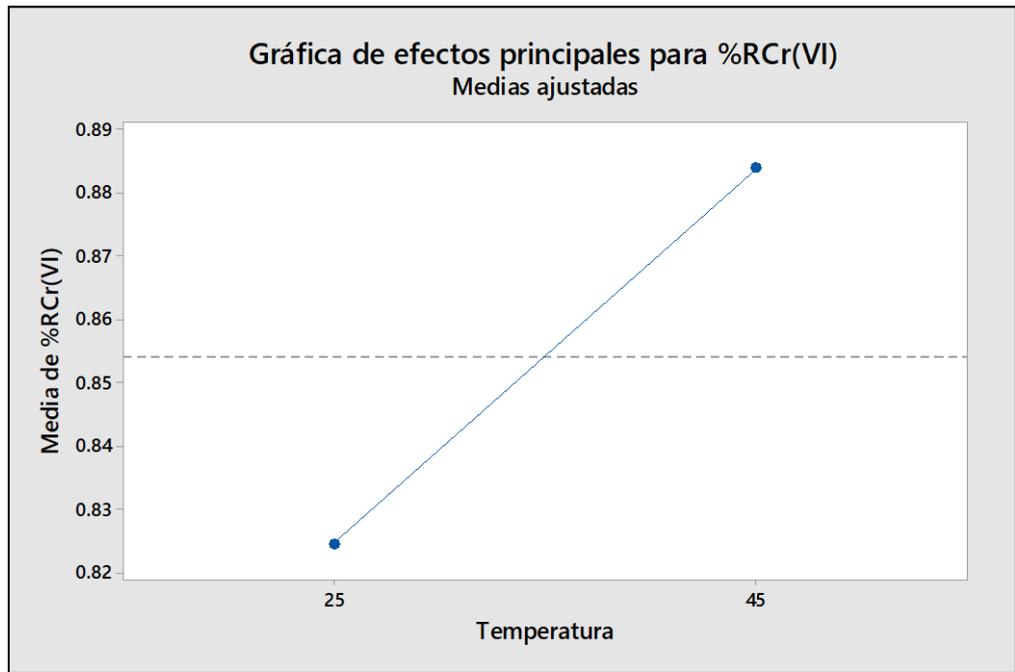
Figura 13 . Grafica de todos los datos del %RCr(VI) respecto al tiempo de contacto.



La figura 13, muestra que a un tiempo de contacto de 15 minutos la remoción de cromo(VI) es menor con un valor de 82,08 %, mientras que a un tiempo de contacto de 25 minutos la remoción aumenta a 96,75 %.

5.4. Efecto de la temperatura en la remoción de Cr(VI) en agua sintética.

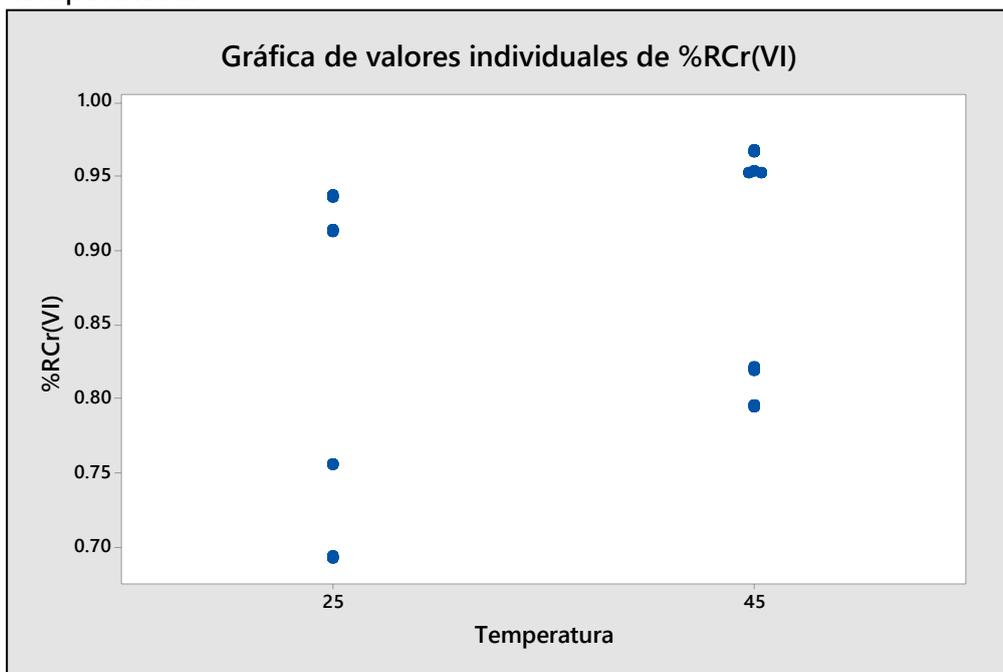
Figura 14. Grafica del efecto de la temperatura en la remoción de Cr(VI)



En la figura 14, se observa el efecto de la temperatura en la remoción de Cr(VI) de agua sintética, donde se trabajó a temperaturas de 25 °C y 45 °C, teniendo un porcentaje máximo de remoción media a los 45 °C de 88,33 % y un mínimo a los 25 °C con una remoción media de 82,43 %.

Datos similares obtuvo Castro, (2019) quien trabajo a temperaturas de 25 °C y 45 °C, logrando la remoción de cromo (VI) en porcentajes de 82 % y 83 % respectivamente, donde afirma que la remoción de cromo(VI) se ve favorecida al aumentar la temperatura de 25 °C a 45 °C. de vez en cuando la capacidad de adsorción aumenta con la temperatura debido a la expansión de la difusividad iónica o la activación de nuevas localizaciones en la superficie del adsorbente (Di Natale et al. 2015)

Figura 15 .Gráfica de todos los datos del %RCr(VI) respecto a la temperatura.

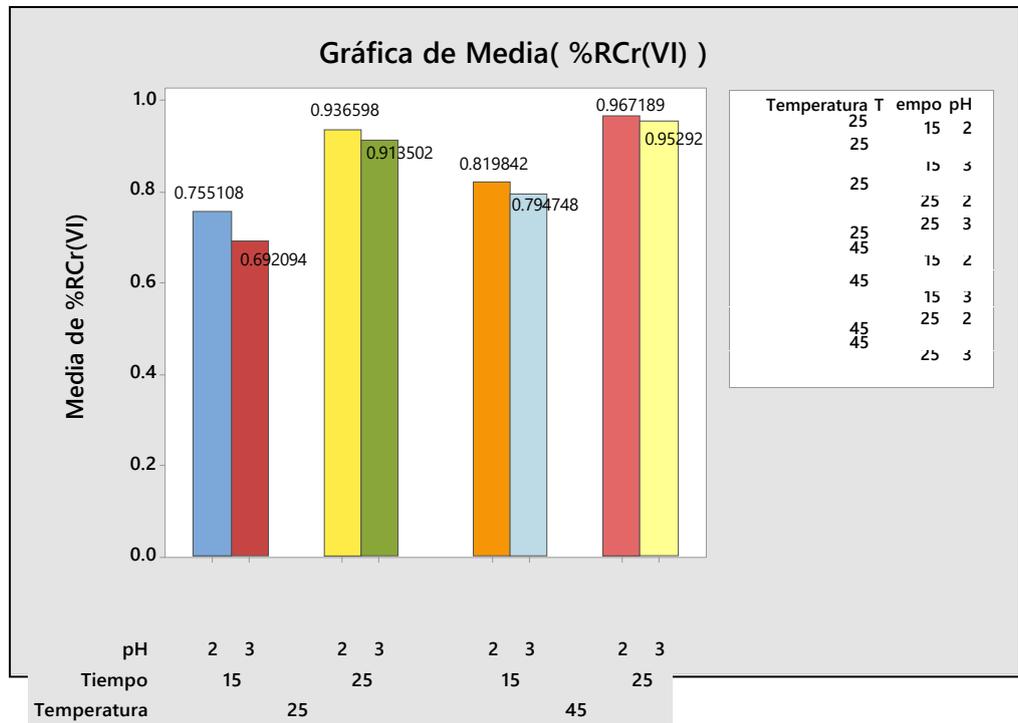


Se observa en la figura 15 los datos del porcentaje de remoción de cromo (VI) con respecto a la variación de temperatura, teniendo una remoción de cromo(VI) máxima de 96,75 % a los 45°C y una mínima de 93,67 % a 25°C.

5.5. Porcentaje de remoción de cromo(VI) con nanopartículas de magnetita en aguas sintéticas.

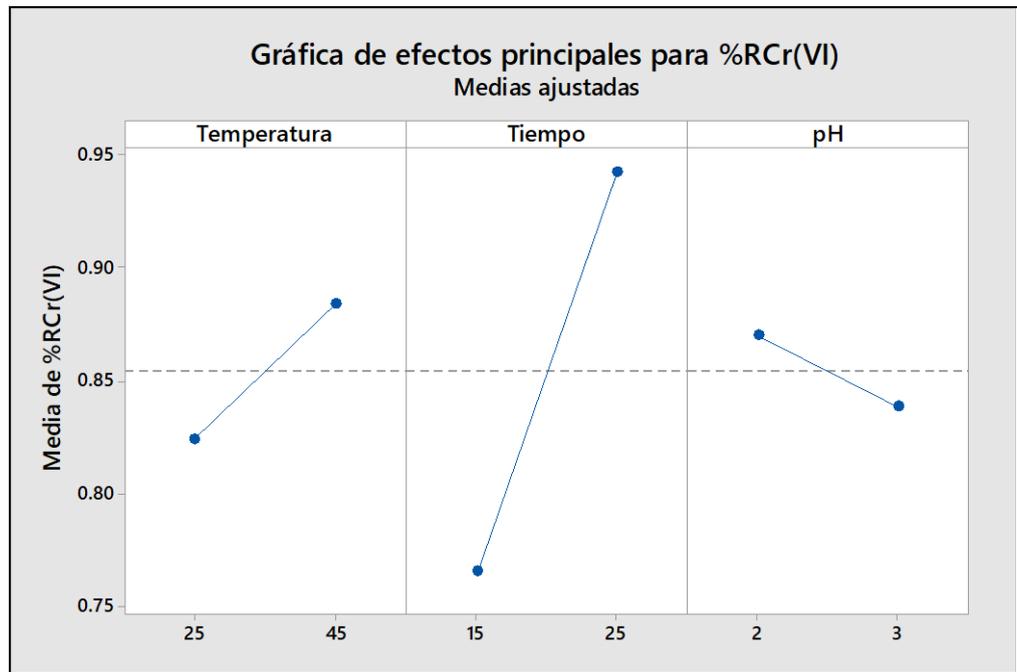
Se trabajó con tres variables las cuales fueron: temperatura (25 °C –45 °C), tiempo (15 minutos – 25 minutos) y pH (2 – 3), con una masa constante de nanopartículas de magnetita de 1 g.

Figura 16 .Grafica de la remoción de cromo(VI) con la interacción de las variables de pH, tiempo y temperatura.



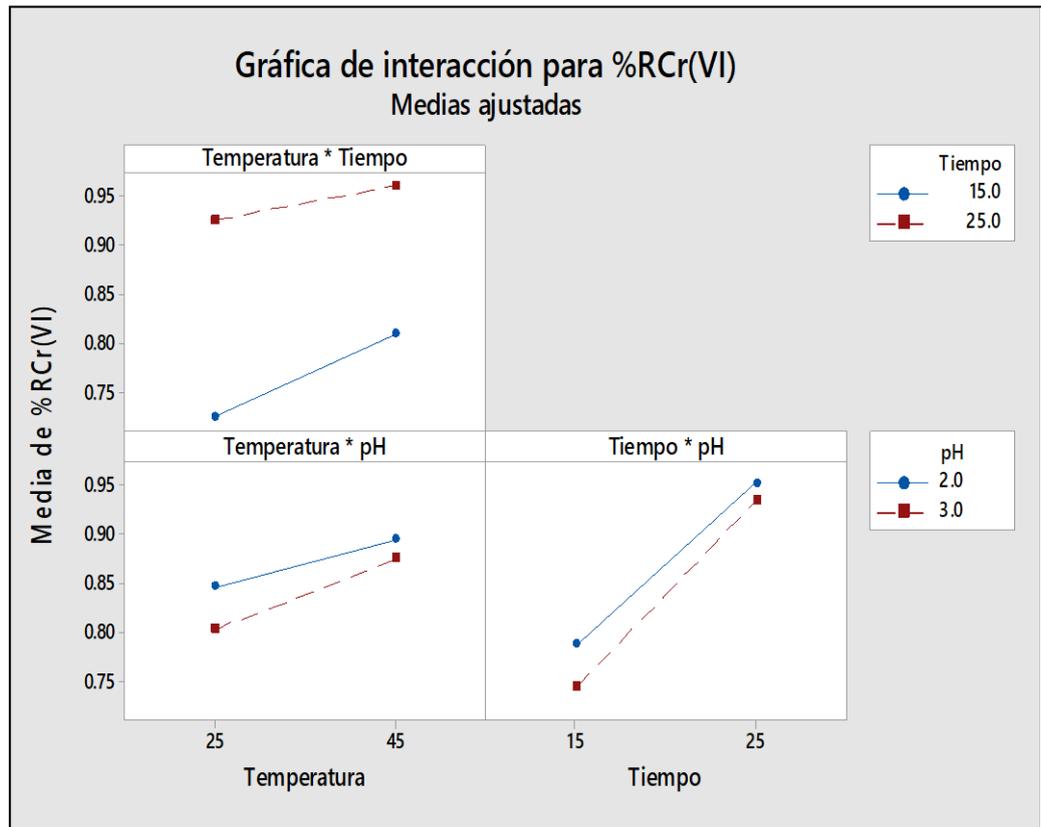
En la figura 16, se muestra la interacción de las tres variables en la remoción de cromo(VI) con nanopartículas de magnetita en aguas sintéticas, donde el porcentaje máximo de remoción de cromo(VI) se dio a una temperatura de 45 °C, tiempo de 25 minutos y un pH de 2 siendo un 96,718 % y el porcentaje mínimo fue de 69,209 % a una temperatura de 25 °C, tiempo de 15 minutos y un pH de 3, se pudo demostrar entonces que las nanopartículas de magnetita remueven el cromo(VI) de las aguas sintéticas de curtiembre, como indican los autores (Koushkbaghi et al. 2018) quienes trabajaron a pH (2-7), tiempo de contacto (0 min - 60 min) y la temperatura (30 °C - 50 °C) en el Cr (VI)

Figura 17 .Gráfica de efectos principales para el porcentaje de remoción de Cr(VI)



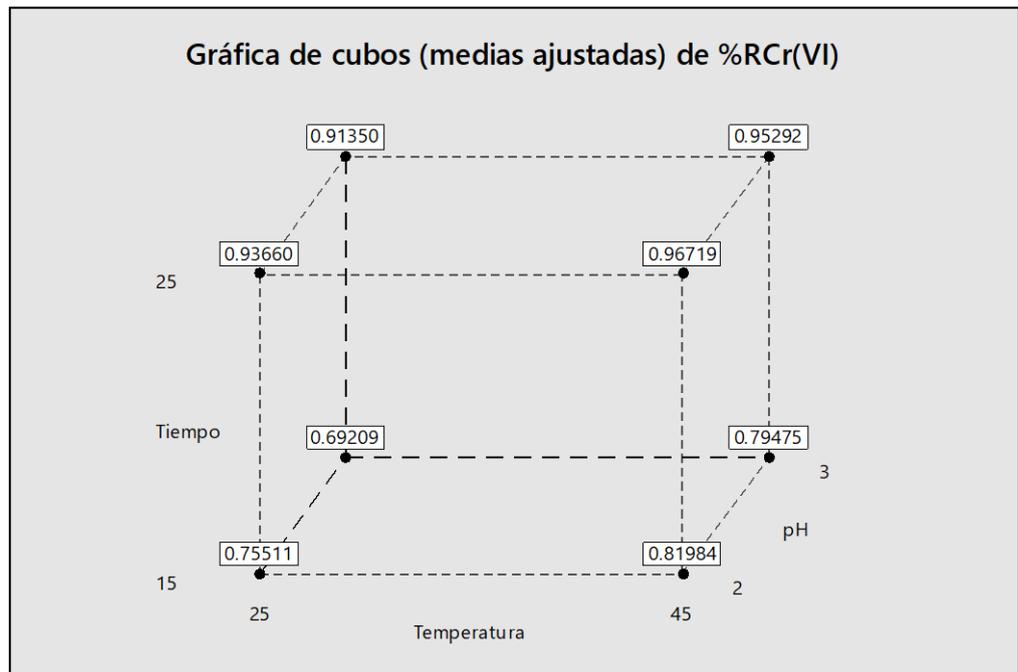
La figura 17, muestra los efectos principales para la remoción de Cr(VI) con nanopartículas de magnetita de las aguas sintéticas de curtiembre, donde se observa un rango de mayor remoción de cromo(VI) que va de 0,86 a 0,94 a un pH de 2, una temperatura de 45 °C y un tiempo de contacto de 25 minutos, por el contrario, se obtuvo una remoción mínima por debajo de los 0,80 a un tiempo de 15 minutos.

Figura 18 . Grafica de las interacciones para la remoción de Cromo(VI)



La figura 18 se observa las interacciones de las tres variables utilizadas en las pruebas experimentales, donde la interacción temperatura - tiempo de contacto se denota que a un tiempo de 25 minutos y una temperatura de 45 °C hay una mayor remoción de cromo(VI) superando los 95 %, la interacción de temperatura – pH muestra una remoción de cromo(VI) que supera los 85 % a un pH de 2 y temperatura de 45 °C, por último la interacción del tiempo de contacto y pH da como resultado una remoción de cromo (VI) que supera los 95 % a 25 minutos con un pH de 2 . Donde la mejor interacción de las variables se da a un tiempo de 25 minutos con un pH de 2 y una temperatura de 45 °C, alcanzando una remoción de cromo(VI) mayor al 96 %.

Figura 19 . Grafica de cubos de la remoción de cromo(VI)



La figura 19, muestra la gráfica de cubos donde se observa que la mayor remoción de cromo (VI) se dio a una temperatura de 45 °C, con un pH de 2 y un tiempo de 25 minutos, en el cual el porcentaje de remoción fue del 96, 719 % y la mínima remoción de cromo(VI) fue de 69,209 % a una temperatura de 25 °C, con un pH de 3 y un tiempo de 15 minutos.

VI. CONCLUSIONES

- Se determinó el porcentaje de remoción de cromo (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 , donde se varió el pH (2 – 3), tiempo de contacto (15 minutos – 25 minutos) y la temperatura (25 °C – 45 °C), obteniendo valores máximos de remoción de cromo (VI) de 96,71 % y 95,29 %, también hubo una remoción mínima de cromo (VI) de 69,20 % y 75,51 %.
- Se determinó el pH donde se da la mayor remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 el cual fue a un pH de 2 donde hubo una remoción del 86,96 % y a un pH de 3 se tuvo un porcentaje de 83,83 %, debido al pH ácido que atribuye a la protonación de la superficie del adsorbente debido a los iones H^+ .
- Se estableció el mejor tiempo de contacto necesario para la remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 , el cual fue un tiempo de 25 minutos dando un valor del 94,25 %, también se tuvo el valor de 76,54 % a un tiempo de 15 minutos, concluyendo que a mayor tiempo de contacto mayor es la remoción, hasta alcanzar el equilibrio donde el tiempo se vuelve constante en el proceso de adsorción debido a la saturación del material adsorbente en este caso las nanopartículas de magnetita.
- Se evaluó el efecto que tendrá la temperatura en la remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe_3O_4 , la temperatura de 45 °C tuvo un mayor efecto en la remoción de cromo (VI), alcanzando un valor de 88,33 % y a 25 °C se tuvo una remoción media del 82,43 %, concluyendo que la capacidad de adsorción aumenta con la temperatura debido a la expansión de la difusividad iónica o la activación de nuevas localizaciones en la superficie del adsorbente.
- Se determinó los parámetros de adsorción de las isothermas de Langmuir

y Freundlich, donde el modelo a seguir fue el de Freundlich con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9832, con una intensidad de adsorción ($1/n$) de 0,5795, mientras que la isoterma de Langmuir se tuvo un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9147, cantidad máxima de adsorción de 50,2513 mg/g y la constante de afinidad de los sitios de unión de 0,1860 1/mg.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar diferentes niveles de pH y con partículas de magnetita de diferentes tamaños, para evaluar la naturaleza del mecanismo de la tasa de adsorción intrapartícula.
- Se recomienda trabajar a distintos tiempos de contacto para poder realizar su cinética de adsorción.

REFERENCIAS

- ADAM, M.R., HUBADILLAH, S.K., ESHAM, M.I.M., OTHMAN, M.H.D., RAHMAN, M.A., ISMAIL, A.F. y JAAFAR, J., 2018. *Adsorptive Membranes for Heavy Metals Removal From Water* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc. ISBN 9780128128152. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-812815-2.00012-0>.
- AL-QODAH, Z., 2006. Biosorption of heavy metal ions from aqueous solutions by activated sludge. *Desalination*, vol. 196, no. 1-3, pp. 164-176. ISSN 00119164. DOI 10.1016/j.desal.2005.12.012.
- ALIBEIGI, S. y VAEZI, M.R., 2008. Phase transformation of iron oxide nanoparticles by varying the molar ratio of Fe²⁺:Fe³⁺. *Chemical Engineering and Technology*, vol. 31, no. 11, pp. 1591-1596. ISSN 09307516. DOI 10.1002/ceat.200800093.
- BAGBI, Y., PANDEY, A. y SOLANKI, P.R., 2018. *Electrospun Nanofibrous Filtration Membranes for Heavy Metals and Dye Removal* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc. ISBN 9780128139264. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-813926-4.00015-X>.
- CAI, W., FU, F., ZHU, L. y TANG, B., 2019. Simultaneous removal of chromium(VI) and phosphate from water using easily separable magnetite/pyrite nanocomposite. *Journal of Alloys and Compounds* [en línea], vol. 803, no. Vi, pp. 118-125. ISSN 09258388. DOI 10.1016/j.jallcom.2019.06.285. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.06.285>.
- CARRASCO DÍAZ, S., 2006. Metodología de la investigación científica. ,
- CASTRO, R., 2019. Obtención de microfibras de quitosano funcionalizadas con nanopartículas de Fe₃O₄ para su aplicación como adsorbente en la remoción de cromo (VI) en soluciones acuosas. , no. Vi.
- DENG, Y., FENG, C., TANG, L., ZENG, G., CHEN, Z. y ZHANG, M., 2018. *Nanohybrid Photocatalysts for Heavy Metal Pollutant Control* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc. ISBN 9780128141540. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814154-0.00005-0>.
- DI NATALE, F., ERTO, A., LANCIA, A. y MUSMARRA, D., 2015. Equilibrium and dynamic study on hexavalent chromium adsorption onto activated carbon. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 281, pp. 47-55. ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2014.07.072. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.07.072>.
- DIGESA, 2010. Boletín de Indicadores Ambientales de la REGIÓN JUNÍN. ,
- DUTTA, S. y SHARMA, R.K., 2019. *Sustainable Magnetically Retrievable Nanoadsorbents for*

Selective Removal of Heavy Metal Ions From Different Charged Wastewaters [en línea]. 1. S.I.: Elsevier Inc. ISBN 9780128157305. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-815730-5.00015-6>.

FAVAS, P.J.C., SARKAR, S.K., RAKSHIT, D., VENKATACHALAM, P. y PRASAD, M.N. V, 2016. *Acid Mine Drainages From Abandoned Mines: Hydrochemistry, Environmental Impact, Resource Recovery, and Prevention of Pollution* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc. ISBN 9780128039069. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00017-2>.

FOO, K.Y. y HAMEED, B.H., 2010. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, vol. 156, no. 1, pp. 2-10. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2009.09.013.

GNANAPRAKASH, G., MAHADEVAN, S., JAYAKUMAR, T., KALYANASUNDARAM, P., PHILIP, J. y RAJ, B., 2007. Effect of initial pH and temperature of iron salt solutions on formation of magnetite nanoparticles. *Materials Chemistry and Physics*, ISSN 02540584. DOI 10.1016/j.matchemphys.2007.02.011.

HAGHSERESHT, F. y LU, G.Q., 1998. Adsorption characteristics of phenolic compounds onto coal-reject-derived adsorbents. *Energy and Fuels*, ISSN 08870624. DOI 10.1021/ef9801165.

HERNANDEZ, R.S., FERNANDEZ, C.C. y BAPTISTA, P.L., 2014. *Metodología de la investigación*. S.I.: s.n. ISBN 9781456223960.

KARAMI, H. y TAALA, F., 2011. Synthesis, characterization and application of $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ nanoparticles as cathode of lithium-ion rechargeable batteries. *Journal of Power Sources*, vol. 196, no. 15, pp. 6400-6411. ISSN 03787753. DOI 10.1016/j.jpowsour.2011.03.079.

KOUSHKBAGHI, S., ZAKIALAMDARI, A., PISHNAMAZI, M., RAMANDI, H.F., ALIABADI, M. y IRANI, M., 2018. Aminated- Fe_3O_4 nanoparticles filled chitosan/PVA/PES dual layers nanofibrous membrane for the removal of Cr(VI) and Pb(II) ions from aqueous solutions in adsorption and membrane processes. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 337, no. Vi, pp. 169-182. ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2017.12.075. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.12.075>.

KUNDURU, K., NAZARKOVSKY, M., FARAH, S., PAWAR, R., BASU, A. y DOMB, A., 2011. *Nanotechnology for water filter* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc. ISBN 9780128043004. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-804300-4/00002-2>.

NABIN, S., LÄHDE, A., ABU-DANSO, E., IQBAL, J. y AMIT, B., 2019. A comparative study of magnetic chitosan ($\text{Chi}@ \text{Fe}_3\text{O}_4$) and graphene oxide modified magnetic chitosan

(Chi@Fe₃O₄GO) nanocomposites for efficient removal of Cr(VI) from water. *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], no. Vi. ISSN 0141-8130. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.151>. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.151>.

NIU, J., DING, P., JIA, X., HU, G. y LI, Z., 2019. Study of the properties and mechanism of deep reduction and efficient adsorption of Cr(VI) by low-cost Fe₃O₄-modified ceramsite. *Science of the Total Environment*, vol. 688, pp. 994-1004. ISSN 18791026. DOI [10.1016/j.scitotenv.2019.06.333](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.333).

PADMAVATHY, K.S., MADHU, G. y HASEENA, P. V, 2016. A study on Effects of pH, Adsorbent Dosage, Time, Initial Concentration and Adsorption Isotherm Study for the Removal of Hexavalent Chromium (Cr (VI)) from Wastewater by Magnetite Nanoparticles. *Procedia Technology* [en línea], vol. 24, pp. 585-594. ISSN 22120173. DOI [10.1016/j.protcy.2016.05.127](https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.127). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.127>.

RAJPUT, S., PITTMAN, C.U. y MOHAN, D., 2016. Magnetic magnetite (Fe₃O₄) nanoparticle synthesis and applications for lead (Pb²⁺) and chromium (Cr⁶⁺) removal from water. *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 468, pp. 334-346. ISSN 10957103. DOI [10.1016/j.jcis.2015.12.008](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.12.008).

RODRÍGUEZ, I.M. y LOZANO, W.A., 2012. Preparación, Composición y Uso de Agua Residual Sintética Para Alimentación de Reactores Prototipo y de Laboratorio. *Revista de Didáctica Ambiental*, no. JUNE 2012, pp. 10-16.

ROYCHOWDHURY, A., DATTA, R. y SARKAR, D., 2017. *Heavy Metal Pollution and Remediation* [en línea]. S.l.: Elsevier Inc. ISBN 9780128095492. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00015-7>.

SCHWERTMANN, U., FRIEDL, J., STANJEK, H. y SCHULZE, D.G., 2000. The effect of clay minerals on the formation of goethite and hematite from ferrihydrite after 16 years' ageing at 25°C and pH 4 – 7. *Clay Minerals*, vol. 35, no. 4, pp. 613-623. ISSN 0009-8558. DOI [10.1180/000985500547034](https://doi.org/10.1180/000985500547034).

TAMAYO, M.T., 2003. *El proceso de la Investigación científica*. S.l.: s.n. ISBN 9681858727.

THINH, N.N., HANH, P.T.B., HA, L.T.T., ANH, L.N., HOANG, T.V., HOANG, V.D., DANG, L.H., KHOI, N. Van y LAM, T.D., 2013. Magnetic chitosan nanoparticles for removal of Cr(VI) from aqueous solution. *Materials Science and Engineering C* [en línea], vol. 33, no. 3, pp. 1214-1218. ISSN 09284931. DOI [10.1016/j.msec.2012.12.013](https://doi.org/10.1016/j.msec.2012.12.013). Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2012.12.013>.

- VANEGAS, M., VÁZQUEZ, V., MOSCOSO, D. y CRUZAT, C., 2014. Síntesis y caracterización de nanopartículas magnéticas del tipo Fe₃O₄/TiO₂, efecto del pH en la dispersión y estabilización en soluciones acuosas. *Maskana*, vol. 5, no. 1, pp. 43-55. ISSN 13906143. DOI 10.18537/mskn.05.01.04.
- VAZQUEZ, R., 2015. Nanotecnología en procesos ambientales y remediación de la contaminación. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, vol. 8, no. 14, pp. 70-80. ISSN 2007-5979. DOI 10.22201/ceiich.24485691e.2015.14.52514.
- WU, Y., ZHANG, J., TONG, Y. y XU, X., 2009. Chromium (VI) reduction in aqueous solutions by Fe₃O₄-stabilized Fe⁰ nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 172, no. 2-3, pp. 1640-1645. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2009.08.045.
- YAN, E., CAO, M., REN, X., JIANG, J., AN, Q., ZHANG, Z., GAO, J., YANG, X. y ZHANG, D., 2018. Synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles functionalized polyvinyl alcohol/chitosan magnetic composite hydrogel as an efficient adsorbent for chromium (VI) removal. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* [en línea], vol. 121, no. Vi, pp. 102-109. ISSN 00223697. DOI 10.1016/j.jpcs.2018.05.028. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2018.05.028>.
- YURDAKAL, S., GARLISI, C., ÖZCAN, L., BELLARDITA, M. y PALMISANO, G., 2019. *(Photo)catalyst Characterization Techniques* [en línea]. S.I.: s.n. ISBN 9780444640154. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444640154000043>.
- ZHANG, H., HUANG, F., LIU, D.L. y SHI, P., 2015. Highly efficient removal of Cr(VI) from wastewater via adsorption with novel magnetic Fe₃O₄@C@MgAl-layered double-hydroxide. *Chinese Chemical Letters* [en línea], vol. 26, no. 9, pp. 1137-1143. ISSN 10018417. DOI 10.1016/j.ccllet.2015.05.026. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccllet.2015.05.026>.
- ZHAO, D., GAO, X., WU, C., XIE, R., FENG, S. y CHEN, C., 2016. Facile preparation of amino functionalized graphene oxide decorated with Fe₃O₄ nanoparticles for the adsorption of Cr(VI). *Applied Surface Science* [en línea], vol. 384, pp. 1-9. ISSN 01694332. DOI 10.1016/j.apsusc.2016.05.022. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.05.022>.

ANEXO 1. Matriz de consistencia

| PROBLEMA | OBJETIVO | HIPÓTESIS | VARIABLES | DIMENSIONES |
|--|---|---|---|--|
| <p>General ¿Cuánto será el porcentaje de remoción de cromo (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe₃O₄, con la variación del pH, tiempo de contacto y temperatura?</p> <p>Específicos - ¿Cuál será el pH que presenta una mayor remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe₃O₄?</p> <p>- ¿Cuánto tiempo de contacto será necesario para una eficiente remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe₃O₄?</p> <p>-¿Qué efecto tendrá la temperatura en la remoción de cromo (VI) de las aguas</p> | <p>General Determinar el porcentaje de remoción de cromo (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe₃O₄, con la variación del pH, tiempo de contacto y temperatura.</p> <p>Específicos - Determinar el pH que presentará una mayor remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe₃O₄</p> <p>Establecer el mejor tiempo de contacto que será necesario para una eficiente remoción de cromo (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe₃O₄</p> <p>Evaluar el efecto que tendrá la temperatura en la remoción de cromo</p> | <p>General La remoción de Cr (VI) en las aguas sintéticas de curtiembre es eficiente mediante la variación de pH, tiempo de contacto y temperatura.</p> <p>Específicos - El pH influye significativamente en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre mediante las nanopartículas de Fe₃O₄.</p> <p>-El incremento del tiempo de contacto influye significativamente la capacidad de adsorción de las nanopartículas de Fe₃O₄ reduciendo la concentración de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre.</p> <p>A mayor temperatura de adsorción de las nanopartículas de</p> | <p>Independiente Características físicas y químicas de aguas sintéticas</p> <p>Dependiente: Remoción de Cr (VI)</p> | <p>-pH - Tiempo de contacto -Temperatura</p> <p>% de remoción de Cr (VI)</p> |

| | | | | |
|--|---------------------------------|--|---|--|
| <p>sintéticas curtiembre empleando nanopartículas Fe₃O₄?</p> | <p>de las de de</p> | <p>(VI) de las aguas sintéticas de curtiembre empleando las nanopartículas de Fe₃O₄.</p> | <p>Fe₃O₄ mayor es la influencia en la remoción de Cr (VI) de las aguas sintéticas de curtiembre</p> | |
|--|---------------------------------|--|---|--|

INFORME DE ENSAYO N° 0015-20^I

Solicitante : SINDOLFO JOSUE ALANYA ASTO
Dirección del Solicitante : Pje. 8 de Novembre N° 345 - El Tambo
Atención : SINDOLFO JOSUE ALANYA ASTO
Proyecto : --
Lugar de Muestreo : --
Tipo de Muestra : Agua Sintética de Cromo VI
Fecha de Monitoreo : No Indica
Fecha de Recepción de Muestra : 11/01/2020
Fecha de Inicio de Análisis : 11/01/2020
Fecha de Término de Análisis : 11/01/2020
Fecha de Emisión : 16/01/2020

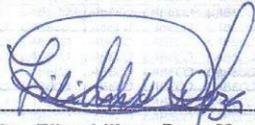
CALIDAD DE AGUA

| Código de Laboratorio | 0015-1 | Límite Detección | Unidad |
|-------------------------|--------|------------------|--------|
| Código de Cliente | EF-01 | | |
| Parámetro Físicoquímico | | | |
| Cromo VI | <0,01 | 0,01 | mg/L |

- Muestra Tomada por el cliente.
- La fecha de muestreo es dato proporcionado por el cliente.
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente.
- Condición y Estado de la muestra ensayada: La muestra llegó refrigerada.
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia.

Método de Análisis:

Cromo VI: APHA AWWA WEF 3500-Cr B 23rd Edition 2017, Chromium Colorimetric Method.




Quim. Ellen Liliana Deza Montoya
 CQP N° 1328
 Director Técnico

Lima, 16 de Enero de 2020.

Nota 1: El presente documento sólo es válido para la(s) muestra(s) de la referencia.

Nota 2: Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos "o como certificado del sistema de Calidad de la entidad que lo produce".

Nota 3: La(s) muestra (s) y contramuestras se mantendrán por un periodo de siete (7) días de emitido el presente Informe de Ensayo.

Nota 4: El laboratorio declara la validez del presente Informe de Ensayo por el periodo de un año, para los fines que el cliente estime conveniente.

Nota 5: Toda corrección o enmienda física al presente Informe de Ensayo será emitida con "un nuevo informe que haga referencial al corregido".

Nota 6: Está prohibido la reproducción total y/o parcial del presente Informe, salvo autorización escrita por LABECO Análisis Ambientales SCRL.

Nota 7: Se adjunta el LB-F-13: Cadena de Vigilancia correspondiente a este informe.

Nota 10: El superíndice "I" perteneciente al título de Informe de Ensayo se está considerando para los parámetros que no estén dentro del Alcance de Acreditación.

Nota 12: Los resultados mencionados en este documento proceden de muestras proporcionadas por el cliente. El laboratorio no es responsable del origen o fuente de la cual ha sido tomadas".

Anexo 1: Condiciones de recepción.

LB-F-14

Av. Víctor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico
 Surquillo - Lima
 Teléfonos: 242-2696 / 444-8987
 web: www.labecoperu.com
 e-mail: labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

1 de 1

Revisión: 22

| CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA RECIBIDA | | SÍ | NO |
|--|----------|---------------------------------|--------------------|
| Todas las muestras están dentro del periodo de análisis | | X | |
| La muestra es proporcionada por el cliente | | X | |
| La muestra fue monitoreada por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L | | | X |
| El envase es proporcionado por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L | | | X |
| El envase es proporcionado por el cliente | | X | |
| Las muestras para metales disueltos están filtradas y preservadas con HNO ₃ (pH<2) | | | NA |
| Las muestras para metales están preservadas con HNO ₃ (pH<2) | | | NA |
| Las muestras para análisis físico-químico están refrigeradas y al pH de acuerdo al método | | | X |
| Las muestras para análisis microbiológicos están refrigeradas | | | NA |
| Las muestras para nutrientes están preservadas con H ₂ SO ₄ (pH<2) | | | NA |
| Las muestras para aceites y grasas están preservadas con H ₂ SO ₄ (pH<2) | | | NA |
| Las muestras para DQO están preservadas con H ₂ SO ₄ (pH<2) | | | NA |
| La muestra para DBO ₅ está completamente llena y refrigerada | | | NA |
| La muestra para el análisis de cianuro está preservada con NaOH (pH>12) | | | NA |
| Se recibieron contramuestras | | | X |
| Se recibieron muestras dirimentes | | | X |
| "Lectura de la Temperatura de las muestras(°C)" | | | |
| Cód. Termómetro | TEG3511T | "Muestras Química" | |
| | | "Muestras microbiología" | |
| | | T ^m = 9 °C | |
| | | "Realizado por : " V.T. | "Realizado por : " |
| CANTIDAD DE MUESTRA Y CONTRAMUESTRA RECIBIDA: | | | |
| 1/500P | | | |
| OBSERVACIONES RESPECTO A CONDICIONES DE RECEPCIÓN NO DESCRITAS ANTERIORMENTE: | | | |
| El parámetro no está refrigerado. | | | |
| OBSERVACIONES | | | |

NA: No Aplica, P (plástico), V (vidrio).

Criterio de aceptación:
 "Muestras químicas: ≤ 6 °C"
 "Muestras microbiología: ≤ 10 °C"

Anexo RP-2: Reporte de los resultados de la mejor muestra tratada



INFORME DE ENSAYO N° 0029-20¹

Solicitante : SINDOLFO JOSUÉ ALANYA ASTO
Dirección del Solicitante : Pje. 8 de Novembre N° 345 - El Tambo
Atención : SINDOLFO JOSUE ALANYA ASTO
Proyecto : ---
Lugar de Muestreo : ---
Tipo de Muestra : Agua Sintética Tratada
Fecha de Monitoreo : 17/01/2020
Fecha de Recepción de Muestra : 18/01/2020
Fecha de Inicio de Análisis : 18/01/2020
Fecha de Término de Análisis : 18/01/2020
Fecha de Emisión : 24/01/2020

CALIDAD DE AGUA

| Código de Laboratorio | 0029-1 | Límite Detección | Unidad |
|-------------------------|--------|------------------|--------|
| Código de Cliente | S-08 | | |
| Parámetro Físicoquímico | | | |
| Cromo VI | <0,01 | 0,01 | mg/L |

- Muestra Tomada por el cliente.
- La fecha de muestreo es dato proporcionado por el cliente.
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente.
- Condición y Estado de la muestra ensayada: La muestra llegó refrigerada.
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia.

Método de Análisis:

Cromo VI: APHA AWWA WEF 3500-Cr B 23rd Edition 2017, Chromium Colorimetric Method.



Quim. Ellen Liliana Deza Montoya

CQP N° 1328
 Director Técnico

Lima, 24 de Enero de 2020.

- Nota 1: El presente documento sólo es válido para la(s) muestra(s) de la referencia.
 Nota 2: Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos "o como certificado del sistema de Calidad de la entidad que lo produce".
 Nota 3: La(s) muestra (s) y contramuestras se mantendrán por un periodo de siete (7) días de emitido el presente Informe de Ensayo.
 Nota 4: El laboratorio declara la validez del presente Informe de Ensayo por el periodo de un año, para los fines que el cliente estime conveniente.
 Nota 5: Toda corrección o enmienda física al presente Informe de Ensayo será emitida con "un nuevo informe que haga referencial al corregido".
 Nota 6: Está prohibido la reproducción total y/o parcial del presente informe, salvo autorización escrita por LABECO Análisis Ambientales SCRL.
 Nota 7: Se adjunta el LB-F-13: Cadena de Vigilancia correspondiente a este informe.
 Nota 10: El superíndice "I" perteneciente al título de Informe de Ensayo se está considerando para los parámetros que no estén dentro del Alcance de Acreditación.
 Nota 12: Los resultados mencionados en este documento proceden de muestras proporcionadas por el cliente. El laboratorio no es responsable del origen o fuente de la cual ha sido tomadas".
 Anexo 1: Condiciones de recepción.

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

LB-F-14

1 de 1
 Revisión: 22

Av. Víctor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico
 Surquillo - Lima
 Teléfonos: 242-2696 / 444-8987
 web: www.labecoperu.com
 e-mail: labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

| CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA RECIBIDA | | SÍ | NO |
|--|---------|---------------------------------|-------------------|
| Todas las muestras están dentro del período de análisis | | X | |
| La muestra es proporcionada por el cliente | | X | |
| La muestra fue monitoreada por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L | | | X |
| El envase es proporcionado por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L | | | X |
| El envase es proporcionado por el cliente | | X | |
| Las muestras para metales disueltos están filtradas y preservadas con HNO ₃ (pH<2) | | | NA |
| Las muestras para metales están preservadas con HNO ₃ (pH<2) | | | NA |
| Las muestras para análisis físico-químico están refrigeradas y al pH de acuerdo al método | | | X |
| Las muestras para análisis microbiológicos están refrigeradas | | | NA |
| Las muestras para nutrientes están preservadas con H ₂ SO ₄ (pH<2) | | | NA |
| Las muestras para aceites y grasas están preservadas con H ₂ SO ₄ (pH<2) | | | NA |
| Las muestras para DQO están preservadas con H ₂ SO ₄ (pH<2) | | | NA |
| La muestra para DBO ₅ está completamente llena y refrigerada | | | NA |
| La muestra para el análisis de cianuro está preservada con NaOH (pH>12) | | | NA |
| Se recibieron contramuestras | | | X |
| Se recibieron muestras dirimientes | | | X |
| "Lectura de la Temperatura de las muestras(°C)" | | | |
| Cód. Termómetro | TEG351T | "Muestras Química" | |
| | | "Muestras microbiología" | |
| | | T°= 7 °C | |
| | | "Realizado por : " V.T. | "Realizado por :" |
| CANTIDAD DE MUESTRA Y CONTRAMUESTRA RECIBIDA: | | | |
| 1/500P | | | |
| OBSERVACIONES RESPECTO A CONDICIONES DE RECEPCIÓN NO DESCRITAS ANTERIORMENTE: | | | |
| El parámetro no está refrigerado. | | | |
| OBSERVACIONES | | | |

NA: No Aplica, P (plástico), V (vidrio).

Criterio de aceptación:

"Muestras químicas: ≤ 6 °C"

"Muestras microbiología: ≤ 10 °C"

LB-F-11

Av. Víctor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico

Surquillo - Lima

Teléfonos: 242-2696 / 444-8987

web: www.labecoperu.com

e-mail: labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

Rev.: 11

Anexo RP-3: Resultados de los tratamientos realizados.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL

**ANÁLISIS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE
ABSORCIÓN ATÓMICA**

REPORTE DE RESULTADOS N° 02-2020

Interesado : SINDOLFO JOSUE ALANYA ASTO
Responsable de la preparación : Solicitante.
Tipo de Muestra : Soluciones.
Determinación : Cromo (VI)
Método de Análisis : Flama
Fecha de Recepción de la Muestra : 09/01/2020
Fecha de Análisis : 15/01/2020

RESULTADOS

| CODIGO | Cromo(VI) ppm | CODIGO | Cromo(VI) ppm |
|--------|---------------|--------|---------------|
| Cr_0 | 60,04 | Cr_9 | 14,69 |
| Cr_1 | 14,72 | Cr_10 | 10,76 |
| Cr_2 | 10,81 | Cr_11 | 3,8 |
| Cr_3 | 3,83 | Cr_12 | 1,99 |
| Cr_4 | 1,97 | Cr_13 | 18,47 |
| Cr_5 | 18,5 | Cr_14 | 12,29 |
| Cr_6 | 12,33 | Cr_15 | 5,17 |
| Cr_7 | 5,19 | Cr_16 | 2,84 |
| Cr_8 | 2,84 | --- | ----- |

* Los resultados obtenidos se refieren solo a la muestra ensayada.
* Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad.


Dr. SALVADOR B. BENDEZÚ MONTES
Director



c.c./Archivo

Ciudad Universitaria Av. Mariscal Castilla N° 3909 - El Tambo – Huancayo
Pabellón "C" segundo piso
Telef. 481062 – Anexo 3768 Fax: (064) 248595



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL

ANÁLISIS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

REPORTE DE RESULTADOS N° 03-2020

Interesado : SINDOLFO JOSUE ALANYA ASTO
Responsable de la preparación : Solicitante.
Tipo de Muestra : Soluciones.
Determinación : Cromo (VI)
Método de Análisis : Flama
Fecha de Recepción de la Muestra : 10/01/2020
Fecha de Análisis : 16/01/2020

RESULTADOS

| CODIGO | Cromo(VI) ppm | CODIGO | Cromo(VI) ppm |
|--------|---------------|--------|---------------|
| Cr_17 | 14,70 | Cr_23 | 5,22 |
| Cr_18 | 10,88 | Cr_24 | 2,80 |
| Cr_19 | 3,79 | Cr_25 | 18,70 |
| Cr_20 | 1,95 | Cr_26 | 9,28 |
| Cr_21 | 18,49 | Cr_27 | 5,19 |
| Cr_22 | 12,35 | Cr_28 | 3,67 |

* Los resultados obtenidos se refieren solo a la muestra ensayada.

* Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad.


Dr. SALVADOR B. BENDEZU MONTES
Director



c.c./Archivo

Ciudad Universitaria Av. Mariscal Castilla N° 3909 - El Tambo - Huancayo
Pabellón "C" segundo piso
Telef. 481062 - Anexo 3768 Fax: (064) 248595

HOJA DE SEGURIDAD DEL HIDROXIDO DE AMONIO

Anexo H-1: Hidróxido de amonio



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2000

HIDRÓXIDO DE AMONIO

| | | | |
|---|---|--|---|
| FECHA DE ELABORACIÓN: 15 de julio de 2003 | | FECHA DE REVISIÓN: 04 de febrero de 2013 | |
| SECCIÓN I.- DATOS GENERALES DEL RESPONSABLE DE LA SUSTANCIA QUÍMICA | | | |
| 1.- NOMBRE DE QUIEN ELABORA LA HDS: Química Pima, S.A. de C.V. | | | |
| 2.- DOMICILIO COMPLETO: Calle del Cobre No. 20, Parque Industrial, Hermosillo, Sonora, México. C.P. 83297 | | | |
| 3.- TELÉFONOS DE EMERGENCIA: (662) 251-00-10, 251-03-16, 251-04-28 y 251-07-66 SETIQ: 01-800-002-1400 | | | |
| SECCIÓN II.- DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA | | | |
| 1.- NOMBRE COMERCIAL: Hidróxido de amonio | | 2.- NOMBRE QUÍMICO: Hidróxido de amonio | |
| 3.- PESO MOLECULAR: 35.05 g/mol | | 4.- FAMILIA QUÍMICA: Hidróxido | |
| 5.- SINÓNIMOS: Aqua amoniaca, agua amoniaca, solución amoniaca | | 6.- FÓRMULA QUÍMICA: NH ₄ OH | |
| SECCIÓN III.- COMPONENTES RIESGOSOS | | | |
| 1.- % Y NOMBRE DE LOS COMPONENTES: Amoniaco (NH ₃) > 26% | 2.- Nº CAS: 7664-41-7 | 3.- Nº DE LA O.N.U.: UN-2672 | 4.- INMEDIATAMENTE PELIGROSO PARA LA VIDA Y LA SALUD: 300 ppm |
| 5.- LÍMITE MÁXIMO DE EXPOSICIÓN: CPT: 25 mg/m ³ CCT: mg/ m ³ | 6.- GRADO DE RIESGO | | |
| | SALUD 3 - ALTO | INFLAMABILIDAD 1 - BAJO | REACTIVIDAD 0 - MÍNIMO |
|  |  |  | |
| TRANSPORTE | ENVASE | ALMACENAMIENTO | |
| SECCIÓN IV.- PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS | | | |
| 1.- PUNTO DE FUSIÓN: -58 °C | | 2.- PUNTO DE EBULLICIÓN: 38°C | |
| 3.- PRESIÓN DE VAPOR: 115 mm Hg a 20°C | | 4.- DENSIDAD: 0.91 – 0.92 g/ml @ 15°C | |
| 5.- DENSIDAD RELATIVA DE VAPOR: 0.6 – 1.2 | | 6.- SOLUBILIDAD EN AGUA: Completamente soluble | |
| 7.- REACTIVIDAD EN AGUA: N.D. | | 8.- ESTADO FÍSICO, COLOR Y OLOR: Líquido incoloro con un olor sofocante a amoniaco. | |
| 9.- VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN: N.D. | | 10.- PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C): N.D. | |
| 11.- TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN: 651.11°C | | 12.- PORCIENTO DE VOLATILIDAD: N.D. | |
| 13.- LÍMITES DE INFLAMABILIDAD (%V/V): Superior: 16 Inferior: 25 | | | |

TABLA DE DISTRIBUCION NORMAL

Anexo TD-1: Tabla de distribución normal

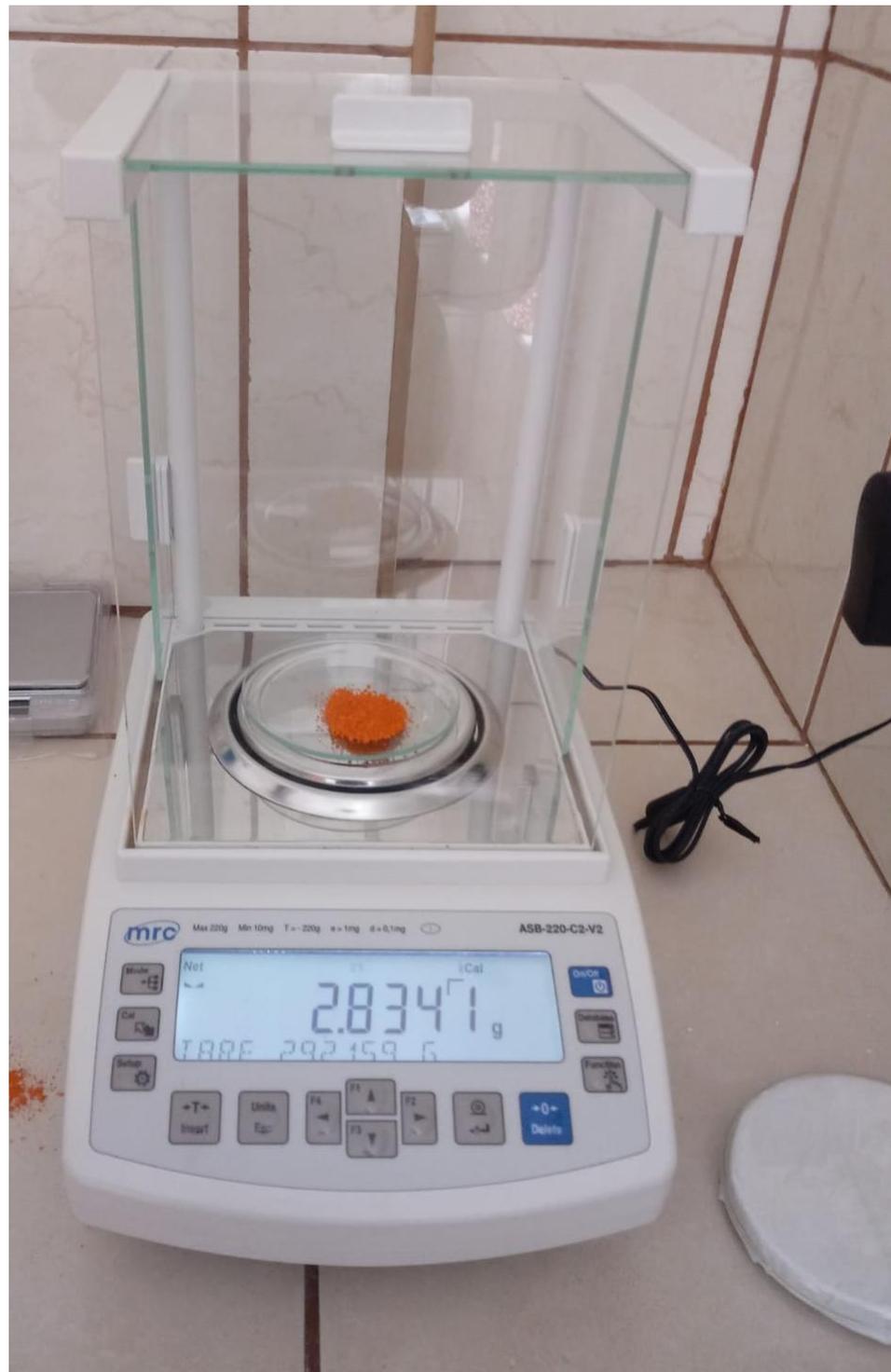
CUADRO DE ÁREAS BAJO LA CURVA NORMAL DE 0 a Z

| Z | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0 | 0,0000 | 0,0040 | 0,0080 | 0,0120 | 0,0160 | 0,0199 | 0,0239 | 0,0279 | 0,0319 | 0,0359 |
| 0.1 | 0,0398 | 0,0438 | 0,0478 | 0,0517 | 0,0557 | 0,0596 | 0,0636 | 0,0675 | 0,0714 | 0,0754 |
| 0.2 | 0,0793 | 0,0832 | 0,0871 | 0,0910 | 0,0948 | 0,0987 | 0,1026 | 0,1064 | 0,1103 | 0,1141 |
| 0.3 | 0,1179 | 0,1217 | 0,1255 | 0,1293 | 0,1331 | 0,1368 | 0,1406 | 0,1443 | 0,1480 | 0,1517 |
| 0.4 | 0,1554 | 0,1591 | 0,1628 | 0,1664 | 0,1700 | 0,1736 | 0,1772 | 0,1808 | 0,1844 | 0,1879 |
| 0.5 | 0,1915 | 0,1950 | 0,1985 | 0,2019 | 0,2054 | 0,2088 | 0,2123 | 0,2157 | 0,2190 | 0,2224 |
| 0.6 | 0,2258 | 0,2291 | 0,2324 | 0,2357 | 0,2389 | 0,2422 | 0,2454 | 0,2486 | 0,2518 | 0,2549 |
| 0.7 | 0,2580 | 0,2612 | 0,2642 | 0,2673 | 0,2704 | 0,2734 | 0,2764 | 0,2794 | 0,2823 | 0,2852 |
| 0.8 | 0,2881 | 0,2910 | 0,2939 | 0,2967 | 0,2996 | 0,3023 | 0,3051 | 0,3078 | 0,3116 | 0,3133 |
| 0.9 | 0,3159 | 0,3186 | 0,3212 | 0,3258 | 0,3264 | 0,3289 | 0,3315 | 0,3340 | 0,3365 | 0,3389 |
| 1.0 | 0,3413 | 0,3438 | 0,3461 | 0,3485 | 0,3508 | 0,3531 | 0,3554 | 0,3577 | 0,3599 | 0,3621 |
| 1.1 | 0,3643 | 0,3665 | 0,3686 | 0,3708 | 0,3729 | 0,3749 | 0,3770 | 0,3790 | 0,3810 | 0,3830 |
| 1.2 | 0,3849 | 0,3869 | 0,3888 | 0,3907 | 0,3925 | 0,3944 | 0,3962 | 0,3980 | 0,3997 | 0,4015 |
| 1.3 | 0,4032 | 0,4049 | 0,4066 | 0,4082 | 0,4099 | 0,4115 | 0,4131 | 0,4147 | 0,4162 | 0,4177 |
| 1.4 | 0,4192 | 0,4207 | 0,4222 | 0,4236 | 0,4251 | 0,4265 | 0,4279 | 0,4292 | 0,4306 | 0,4319 |
| 1.5 | 0,4332 | 0,4335 | 0,4357 | 0,4370 | 0,4382 | 0,4394 | 0,4406 | 0,4418 | 0,4429 | 0,4441 |
| 1.6 | 0,4452 | 0,4463 | 0,4474 | 0,4484 | 0,4495 | 0,4505 | 0,4515 | 0,4525 | 0,4535 | 0,4545 |
| 1.7 | 0,4554 | 0,4564 | 0,4573 | 0,4582 | 0,4591 | 0,4599 | 0,4608 | 0,4616 | 0,4625 | 0,4633 |
| 1.8 | 0,4641 | 0,4649 | 0,4656 | 0,4664 | 0,4671 | 0,4678 | 0,4686 | 0,4693 | 0,4699 | 0,4706 |
| 1.9 | 0,4713 | 0,4719 | 0,4726 | 0,4732 | 0,4738 | 0,4744 | 0,4750 | 0,4756 | 0,4761 | 0,4767 |
| 2.0 | 0,4772 | 0,4778 | 0,4783 | 0,4788 | 0,4793 | 0,4798 | 0,4803 | 0,4808 | 0,4812 | 0,4817 |
| 2.1 | 0,4821 | 0,4826 | 0,4830 | 0,4834 | 0,4838 | 0,4842 | 0,4846 | 0,4850 | 0,4854 | 0,4857 |
| 2.2 | 0,4861 | 0,4864 | 0,4868 | 0,4871 | 0,4875 | 0,4878 | 0,4881 | 0,4884 | 0,4887 | 0,4890 |
| 2.3 | 0,4893 | 0,4896 | 0,4898 | 0,4901 | 0,4903 | 0,4906 | 0,4909 | 0,4911 | 0,4913 | 0,4916 |
| 2.4 | 0,4918 | 0,4920 | 0,4922 | 0,4925 | 0,4927 | 0,4929 | 0,4931 | 0,4932 | 0,4934 | 0,4936 |
| 2.5 | 0,4938 | 0,4940 | 0,4941 | 0,4943 | 0,4945 | 0,4946 | 0,4948 | 0,4949 | 0,4951 | 0,4936 |
| 2.6 | 0,4953 | 0,4955 | 0,4956 | 0,4957 | 0,4959 | 0,4960 | 0,4961 | 0,4962 | 0,4963 | 0,4964 |
| 2.7 | 0,4965 | 0,4966 | 0,4967 | 0,4968 | 0,4969 | 0,4970 | 0,4971 | 0,4972 | 0,4973 | 0,4974 |
| 2.8 | 0,4974 | 0,4975 | 0,4976 | 0,4977 | 0,4977 | 0,4978 | 0,4979 | 0,4979 | 0,4980 | 0,4981 |
| 2.9 | 0,4981 | 0,4982 | 0,4982 | 0,4983 | 0,4984 | 0,4984 | 0,4985 | 0,4985 | 0,4986 | 0,4986 |
| 3.0 | 0,4987 | 0,4987 | 0,4987 | 0,4988 | 0,4988 | 0,4989 | 0,4989 | 0,4989 | 0,4990 | 0,4990 |
| 3.1 | 0,4990 | 0,4991 | 0,4991 | 0,4991 | 0,4992 | 0,4992 | 0,4992 | 0,4992 | 0,4993 | 0,4993 |
| 3.2 | 0,4993 | 0,4993 | 0,4994 | 0,4994 | 0,4994 | 0,4994 | 0,4994 | 0,4995 | 0,4995 | 0,4995 |
| 3.3 | 0,4995 | 0,4995 | 0,4995 | 0,4996 | 0,4996 | 0,4996 | 0,4996 | 0,4996 | 0,4996 | 0,4997 |
| 3.4 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4997 | 0,4998 |
| 3.5 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4998 |
| 3.6 | 0,4998 | 0,4998 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 |
| 3.7 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 |
| 3.8 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 | 0,4999 |
| 3.9 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 | 0,5000 |

CUADRO N.º 9.7

PREPARACIÓN DEL AGUA SINTÉTICA

Anexo P-1: Pesado de dicromato de potasio

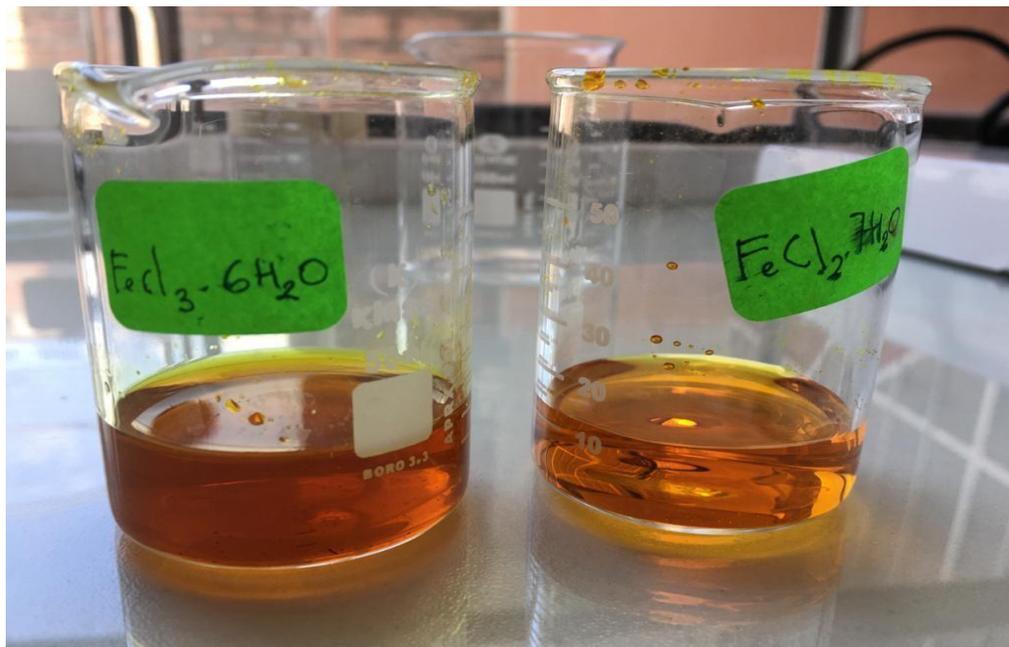


Anexo P-2: Mezclado y preparación del agua sintética de Cr



PREPARACIÓN DE LA NANOPARTÍCULA DE Fe_3O_4

Anexo PRN-1: Solución de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y $\text{FeCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a 0,64 M (5,19 g) y 1,28 M (2,42 g),



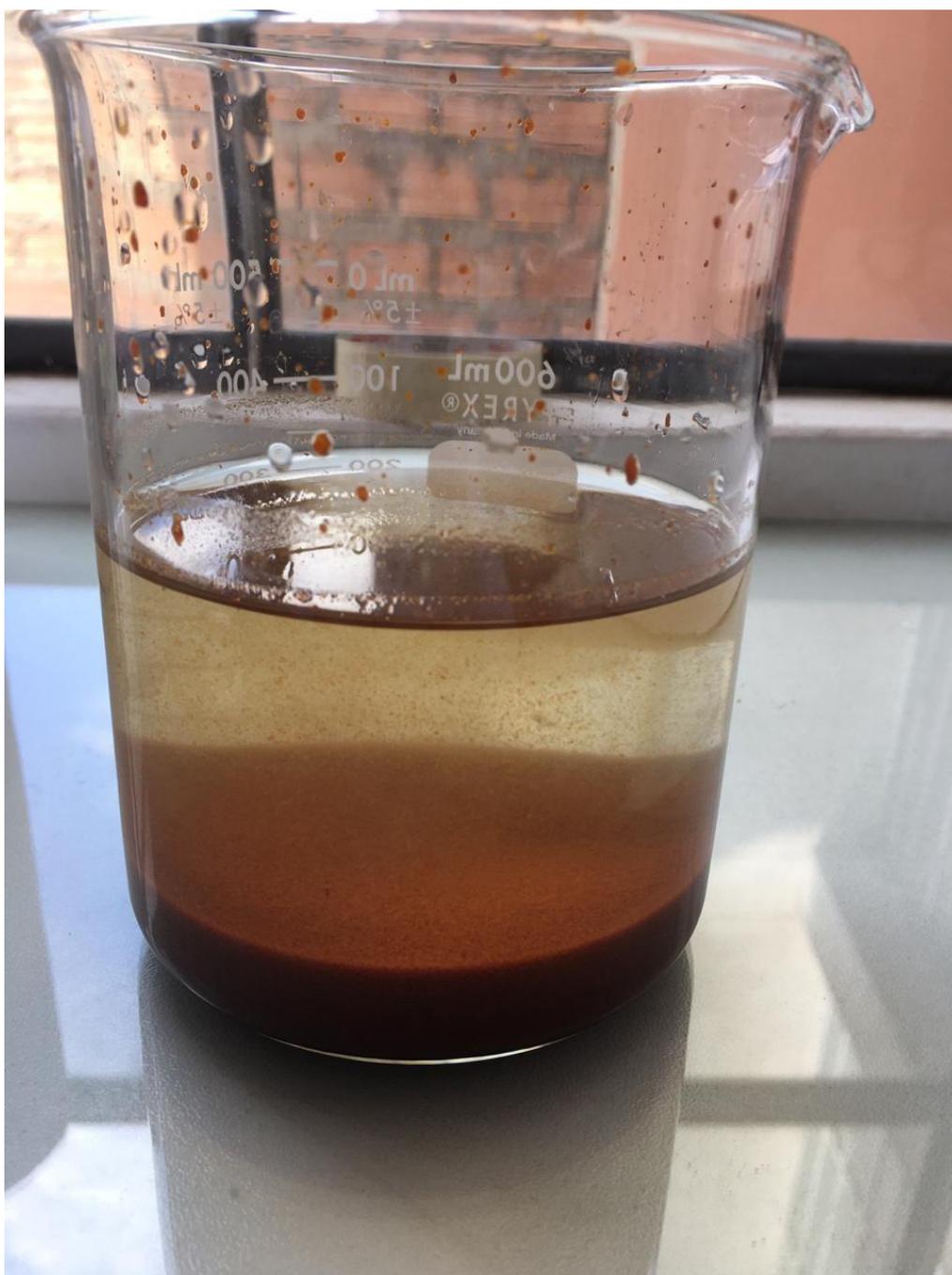
Anexo PRN-2: Solución de NH_4OH al 1,5 M en 250 mL (53 mL)



Anexo PRN-3: adición gota a gota la mezcla de sales de hierro a 800 rpm y 30 °C



Anexo PRN-4: obtención del precipitado de magnetita,



PROCESO DE REMOCIÓN DE CROMO

Anexo R-1: Manipulación del pH en el agua sintética



Anexo R-2: Pesado de las nanopartículas



Anexo R-3: Corridas experimentales a 25 °C y 45 °C por 5 min y 9 min con pH 2 y 3,



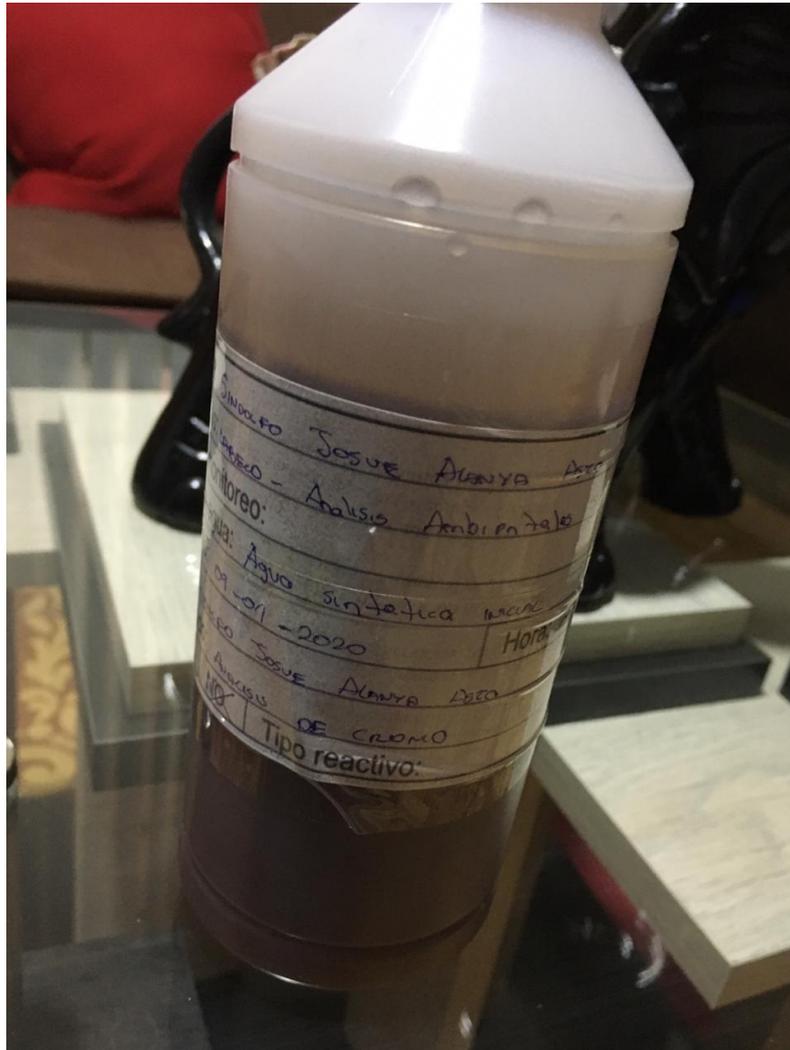


Anexo R-4: Filtrado de los tratamientos para su respectivo análisis



ROTULADO DE ENVASES

Anexo R-1: Rotulo del envase



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO 1

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y nombres: Roberto Marroquín Peña

1.2 Cargo e institución donde labora: Docente Universidad Nacional de Educación – EGV – La Cantuta

1.4 Nombre del instrumento motivo de la evaluación: Remoción de cromo (VI) empleando nanopartículas de Fe₃O₄ en las aguas sintéticas de curtiembre preparadas a nivel laboratorio Huancayo 2021.

1.5 Autor del instrumento: ALANYA ASTO SINDOLFO JOSUE

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

| INDICADORES | CRITERIOS | INACEPTABLE | | | | | | MNIMAMENTE ACEPTABLE | | | ACEPTABLE | | | |
|-----------------|---|-------------|----|----|----|----|----|----------------------|----|----|-----------|----|----|-----|
| | | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 |
| CLARIDAD | Esta formulado con lenguaje comprensible | | | | | | | | | | X | | | |
| OBJETIVIDAD | Esta adecuado a las leyes y principios científicos | | | | | | | | | | X | | | |
| ACTUALIDAD | Esta adecuado a los objetivos y necesidades de la investigación | | | | | | | | | | X | | | |
| ORGANIZACION | Existe una organización lógica | | | | | | | | | | X | | | |
| SUFICIENCIA | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales | | | | | | | | | | X | | | |
| INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis | | | | | | | | | | X | | | |
| CONSISTENCIA | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos | | | | | | | | | | X | | | |
| COHERENCIA | Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis variables e indicadores | | | | | | | | | | X | | | |
| METODOLOGÍA | La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis | | | | | | | | | | X | | | |
| PERTINENCIA | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico | | | | | | | | | | X | | | |

III. OPINION DE APLICABILIDAD

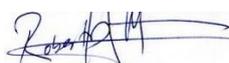
- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

| |
|----|
| SI |
| - |

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

| |
|-----|
| 85% |
|-----|

Lima, 21 de Marzo de 2022



Roberto Marroquín Peña

DNI N°: 07683205

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO 1

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y nombres: Acosta Suasnabar Eusterio Horacio

1.2 Cargo e institución donde labora: Docente Universidad Nacional de Educación – EGV – La Cantuta

1.4 Nombre del instrumento motivo de la evaluación: Remoción de cromo (VI) empleando nanopartículas de Fe₃O₄ en las aguas sintéticas de curtiembre preparadas a nivel laboratorio Huancayo 2021.

1.5 Autor del instrumento: ALANYA ASTO SINDOLFO JOSUE

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

| INDICADORES | CRITERIOS | INACEPTABLE | | | | | | MNIMAMENTE ACEPTABLE | | | ACEPTABLE | | | |
|-----------------|---|-------------|----|----|----|----|----|----------------------|----|----|-----------|----|----|-----|
| | | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 |
| CLARIDAD | Esta formulado con lenguaje comprensible | | | | | | | | | | | X | | |
| OBJETIVIDAD | Esta adecuado a las leyes y principios científicos | | | | | | | | | | | X | | |
| ACTUALIDAD | Esta adecuado a los objetivos y necesidades de la investigación | | | | | | | | | | | X | | |
| ORGANIZACION | Existe una organización lógica | | | | | | | | | | | X | | |
| SUFICIENCIA | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales | | | | | | | | | | | X | | |
| INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis | | | | | | | | | | | X | | |
| CONSISTENCIA | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos | | | | | | | | | | | X | | |
| COHERENCIA | Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis variables e indicadores | | | | | | | | | | | X | | |
| METODOLOGÍA | La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis | | | | | | | | | | | X | | |
| PERTINENCIA | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico | | | | | | | | | | | X | | |

III. OPINION DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

| |
|----|
| SI |
| - |

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

| |
|-----|
| 90% |
|-----|

Lima, 21 de Marzo de 2022



Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
CIP N° 25450

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO 1

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y nombres: Castro Fernández, Elías

1.2 Cargo e institución donde labora: Docente Universidad Nacional de Educación – EGV – La Cantuta

1.4 Nombre del instrumento motivo de la evaluación: Remoción de cromo (VI) empleando nanopartículas de Fe3O4 en las aguas sintéticas de curtiembre preparadas a nivel laboratorio Huancayo 2021.

1.5 Autor del instrumento: ALANYA ASTO SINDOLFO JOSUE

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

| INDICADORES | CRITERIOS | INACEPTABLE | | | | | | MNIMAMENTE ACEPTABLE | | | ACEPTABLE | | | |
|-----------------|---|-------------|----|----|----|----|----|----------------------|----|----|-----------|----|----|-----|
| | | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 |
| CLARIDAD | Esta formulado con lenguaje comprensible | | | | | | | | | | | | X | |
| OBJETIVIDAD | Esta adecuado a las leyes y principios científicos | | | | | | | | | | | | X | |
| ACTUALIDAD | Esta adecuado a los objetivos y necesidades de la investigación | | | | | | | | | | | | X | |
| ORGANIZACION | Existe una organización lógica | | | | | | | | | | | | X | |
| SUFICIENCIA | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales | | | | | | | | | | | | X | |
| INTENCIONALIDAD | Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis | | | | | | | | | | | | X | |
| CONSISTENCIA | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos | | | | | | | | | | | | X | |
| COHERENCIA | Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis variables e indicadores | | | | | | | | | | | | X | |
| METODOLOGÍA | La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis | | | | | | | | | | | | X | |
| PERTINENCIA | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico | | | | | | | | | | | | X | |

III. OPINION DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.

SI

- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

95%



Lima, 21 de Marzo de 2022

Elías Castro Fernández

DNI N°: 10442755



FORMATO FINAL POR REPLICAS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE AGUAS SINTÉTICAS PARA LA REMOCION DE CROMO(VI) EMPLEANDO NANOPARTICULAS DE Fe_3O_4

INSTRUMENTO N° 01

FORMATO DE FICHA DE OBSERVACION

TITULO Remoción de cromo (VI) empleando nanopartículas de Fe_3O_4 en las aguas sintéticas de curtiembre preparadas a nivel de laboratorio, Huancayo 2021.

FACULTAD ING. AMBIENTAL

AUTOR Alanya Asto, Sindolfo Josue

ASESOR Quijano Pacheco, Wilber Samuel

FECHA 21/03/2022

MUESTRA

| % REMOCION | REPETICIONES | pH 2 | pH 3 | 15 Minutos | 25 minutos |
|------------|--------------|------|------|------------|------------|
| 25° c | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |
| 45°c | 1 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 3 | | | | |

Roberto Marroquín Peña

DNI N°: 07683205

Elías Castro Fernández

DNI N°: 10442755

Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar