



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“INFLUENCIA DEL CAUDAL DE UN DRENAJE ÁCIDO DE MINA SOBRE LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS UTILIZANDO RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO”.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autores:

Sandra Isabel Caján Albarrán  
Susan Hoxana Villegas Ramírez

Asesor:

M.Sc. Juan Carlos Flores Cerna

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

El presente proyecto, primero va dedicado a Dios por permitirnos estar con vida y salud.

Así mismo, a nuestros padres, que gracias a su apoyo y esfuerzo nos brindan las posibilidades de poder estudiar una carrera profesional en una Universidad y más aun siendo la carrera que amamos, también por dedicarnos parte de sus años de vida en nuestra formación, inculcándonos valores y principios que nos formen como personas de bien en la sociedad y por enseñarnos de que para lograr algo en esta vida se necesita de arduo sacrificio y esfuerzo.

A nuestros hermanos, tíos y abuelos; quienes siempre están apoyándonos y ayudándonos a superarnos cada día y ser mejores personas.

A nuestros compañeros con los cuales compartimos muchas alegrías, sirviéndonos como un ejemplo para seguir adelante, con perseverancia, esfuerzo y dedicación.

Dedicamos también, a nuestro asesor el M.Sc. Juan Carlos Flores Cerna, por la guía y orientación prestada, ya que, sin él no se hubiera podido realizar y culminar el presente proyecto.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la primera casa de estudios, Universidad Privada del Norte por habernos dado la oportunidad para poder estudiar y ser profesionales. Asimismo, a la facultad de Ingeniería Ambiental, por permitirnos ser parte de la carrera que amamos y así contribuir con el cuidado y preservación del medio ambiente.

A todos nuestros docentes de la Facultad, los que supieron inculcar sabias enseñanzas y valores, mostrándonos el camino a seguir para lograr nuestras metas y ser buenos profesionales.

Agradecemos eternamente a nuestras familias, en especial a nuestros padres por su apoyo incondicional en nuestra formación universitaria.

A nuestro asesor el M.Sc. Juan Carlos Flores Cerna por habernos brindado la orientación pertinente para el desarrollo de nuestra investigación.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
1.1. Realidad problemática .....	9
1.2. Formulación del problema .....	38
1.3. Objetivos.....	39
1.4. Hipótesis .....	39
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>41</b>
2.1. Tipo de investigación .....	41
2.2. Población y muestra .....	41
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	41
2.4. Procedimiento .....	44
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
4.1. Discusión .....	65
4.2. Conclusiones.....	68
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>78</b>
<b>ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS O TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL .....</b>	<b>81</b>
<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN .....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Límites Máximos Permisibles (LMP). .....	36
<b>Tabla 2.</b> Proceso de clasificación de documentos.....	43
<b>Tabla 3.</b> Variables a estudiar. ....	47
<b>Tabla 4.</b> Resultados en base a los 25 estudios realizados como datos secundarios. ....	49
<b>Tabla 5.</b> Resultados de los valores iniciales y finales de los metales estudiados. ....	51
<b>Tabla 6.</b> Metales tratados en los estudios seleccionados.....	52
<b>Tabla 7.</b> Datos a analizar para el calculo de la muestra. ....	62
<b>Tabla 8.</b> Análisis de varianza (ANOVA). ....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Drenajes Ácidos de Mina. ....	28
<b>Figura 2.</b> Proceso de formación de aguas ácidas de mina. ....	29
<b>Figura 3.</b> Resinas de Intercambio Iónico. ....	31
<b>Figura 4.</b> Resinas Catiónicas y Aniónicas. ....	33
<b>Figura 5.</b> Procesamiento de la Información .....	44
<b>Figura 6.</b> Concentración de Cromo, Inicial y final. ....	53
<b>Figura 7.</b> Concentración de Níquel, Inicial y final. ....	54
<b>Figura 8.</b> Concentración de Zinc, Inicial y final. ....	58
<b>Figura 9.</b> Concentración de Cobre, Inicial y final. ....	55
<b>Figura 10.</b> Concentración de Cadmio, Inicial y final. ....	56
<b>Figura 11.</b> Concentración de Plomo, Inicial y final. ....	57
<b>Figura 12.</b> Concentración de Hierro, Inicial y final. ....	60
<b>Figura 13.</b> Concentración de Oro, Inicial y final .....	59
<b>Figura 14.</b> Caudal de un DAM vs porcentaje de remoción de metales pesados. ....	61

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Media o Promedio ( $X$ ).....	46
<b>Ecuación 2.</b> Mediana ( $Me$ ) .....	46
<b>Ecuación 3.</b> Rango ( $R$ ) .....	46
<b>Ecuación 4.</b> Tamaño de la Muestra ( $n$ ) .....	46

## RESUMEN

En la presente investigación, se describió la Influencia del Caudal de un drenaje ácido de mina sobre el porcentaje de remoción de metales pesados utilizando resinas de intercambio iónico, siguiendo una metodología de búsqueda y análisis de datos en base a estudios realizados a nivel, internacional, nacional y local. Asimismo, se consideraron criterios de elegibilidad, revisión, inclusión y exclusión de investigaciones, para obtener una descripción más acertada y precisa. El resultado de la descripción de la influencia del caudal de un drenaje ácido de mina sobre el porcentaje de remoción de metales pesados, nos indica que las variables son inversamente proporcionales entre sí, removiendo 61.10% Cr, 99% Ni, 81.155% Cu, 95.2% Zn, 95% Cd, 99% Pb, 96.72% Au y 99.10% Zn. Los resultados fueron confirmados con un análisis de varianza para un nivel de confianza del 95%. De ello, se concluye que sí existe una influencia significativa de la relación caudal de un DAM sobre el porcentaje remoción de metales pesados, utilizando resinas de intercambio iónico y comprobado mediante un Análisis de Varianza (ANOVA), el mismo que confirma la aceptación de la Hipótesis Alterna ( $H_1$ ), es decir a medida que disminuye el caudal de un efluente de drenaje ácido de mina, afecta el incremento de la remoción de metales pesados, empleando Resinas de Intercambio Iónico, en base a once estudios realizados como datos secundarios.

**Palabras clave:** Resina, Intercambio Iónico, Remoción de Metales, DAM.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La contaminación, es un problema que viene aumentando desmesuradamente en todo el mundo, una de las más representativas es la contaminación de nuestras fuentes hidrográficas, principalmente la de los ríos. Según (Olguín, Gónzales, Sánchez, Zamora, & Owen , 2010) Aproximadamente el 80% de drenajes son generados sin ningún tipo de tratamiento y el mayor impacto lo sufren aquellos países en vías de desarrollo, que descargan cerca del 90% de sus aguas a los ríos, lagos y zonas costeras. Esta polución altera la calidad de las aguas, provocando muchas veces la pérdida de la biota acuática, la degradación del ecosistema, la acumulación de metales pesados, entre otros. Se habla de contaminación, pero se desconoce del daño que ocasiona y como afecta a la salud de las personas y al ambiente. Existen diferentes técnicas para remover o eliminar los metales pesados; una de estas es por medio de intercambio iónico, el cual se realiza mediante un polímero en forma de esfera imperceptible que son capaces de intercambiar iones particulares por otros iones. A estas esferas de gel sintéticas se les llama “Resinas de intercambio iónico”. Esta capacidad también se observa en varios sistemas naturales, tales como los suelos y las células vivas. Las resinas sintéticas no sólo se utilizan para la purificación del agua, sino también para varias otras aplicaciones que incluyen la separación de algunos elementos. (Carbotecnia, 2018) Por otro lado, los tratamientos de intercambio iónico son una herramienta potencial para la remoción de los iones metálicos en cuerpos de agua, ablandamiento de agua, sorción de metales específicos, entre otros;

estos además son aplicados comúnmente a procesos de desmineralización de las aguas. Los procesos de intercambio iónico pueden aplicarse tanto por carga o de forma continua en columnas de lecho fijo o lecho fluidizado. Asimismo, resulta importante identificar el caudal del efluente que va a ser tratado, debido a que éste tiende a influenciar en la cantidad o porcentaje de remoción de ciertos metales pesados. Por lo antes mencionado, la remoción de metales en cuerpos de agua por medio de resinas de intercambio iónico se convierte en objeto de estudio importante debido a múltiples aplicaciones provenientes a la investigación. (León & Abreu, 2015) De esta manera, teniendo en cuenta los contextos mencionados, se pretende estudiar en el presente trabajo la “Influencia del caudal de un drenaje ácido de mina sobre la remoción de metales pesados, utilizando resinas de intercambio iónico”; y de esta manera generar un mayor conocimiento del tema y sobre todo que este trabajo pueda formar parte del punto de partida de futuros proyectos, teóricos – experimentales.

En el presente trabajo se consideran como antecedentes, a 25 estudios realizados como datos secundarios, que son descritos en el desarrollo de la presente investigación, dichos estudios contienen una similar problemática y fueron aplicados a nivel Internacional, Nacional y Local, detallados a continuación:

En un estudio denominado “Intercambio iónico para la eliminación de contaminantes metálicos”, realizado por la facultad de Ingeniería y editada por la Universidad de Guanajuato - México. Se realizó una investigación con el objetivo de usar resinas poliméricas como intercambiadores iónicos, para remover especies de cromo trivalente y hexavalente, utilizando resinas comerciales en un sistema tipo batch:

IRA-900 y Dowex Mac-3. Las soluciones fueron preparadas a partir de  $K_2Cr_2O_7$  y  $CrCl_3$ , de los cuales se procedió a la preparación disoluciones madre de 1000 ppm de Cr (III) y Cr (VI) respectivamente, y los experimentos se llevaron a cabo a 20 °C. Como resultado se obtuvo que la resina IRA-900 es altamente recomendable para la remoción de Cr (VI) por su alta capacidad, siendo recomendable para procesos continuos. (Pedraza, et al, 2017)

Seguidamente, en un estudio denominado “Remoción de hierro y manganeso de un efluente contaminado utilizando una resina quelante”, realizado por la Universidad de Sonora – México. Se realizó una investigación con el objetivo de evaluar la capacidad de la resina quelante Dowex M-4195 para la remoción de hierro y manganeso. El análisis de los resultados, indica una capacidad de adsorción de 7.5 mg Fe/g de resina y 4.0 mg Mn/g, con remoción de 70 y 25 %, en un tiempo de contacto de 12 h.; y de 12.5 mg Fe/g y de 2.96 mg Mn/g, con remoción del 58 y 20% para cada metal, en un tiempo de contacto de 5 h. En conclusión, los resultados indican que el uso de la resina quelante Dowex M-4195 puede ser una alternativa a los tratamientos convencionales para la recuperación o remoción de metales pesados de soluciones acuosas. (Martinez, Certucha, Zavala, Gómez , & Almazán, 2017)

Consecutivamente, en un estudio denominado “Tratamiento de aguas residuales de minería de carbón mediante resinas de intercambio iónico”, realizado por la Facultad de Ciencias de la Universidad Industrial de Santander – Bucaramanga. Se efectuó una investigación con el propósito de estudiar nuevas tecnologías que permitan un adecuado tratamiento de los DAM y a su vez ofrezcan resultados acordes a lo exigido por la

normatividad ambiental vigente. Se emplearon las resinas de intercambio iónico Lewatit S-100 y Lewatit Monoplus M-500; el tiempo total de tratamiento fue de 60 minutos, los cuales se distribuyeron así: 30 minutos para tratamiento con resina Lewatit S-100 y 30 minutos para tratamiento con resina Lewatit Monoplus M-500. Los resultados obtenidos manifestaron que el porcentaje de remoción es superior al 90% bajo condiciones controladas. Finalmente, las concentraciones tratadas con resinas de intercambio iónico presentaron una reducción superior al 90% durante los primeros 90 minutos de tratamiento. (Sanmiguel, 2013)

Conjuntamente, en un estudio denominado “Evaluación técnica para la recuperación y reutilización de las aguas residuales industriales de la empresa Fantaxías LTDA por resinas de intercambio iónico”, desarrollado por la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Se realizó una investigación con el propósito de estudiar la viabilidad de utilizar las resinas de intercambio catiónicas Lewatit TP-207 y Amberlite IR-120 para tratar las aguas de enjuague generadas en los procesos de recubrimiento metálico, conteniendo cobre, níquel y zinc. Para ello, se utilizó la resina Amberlite IR-120. Para la determinación del comportamiento de la adsorción de la resina se construyeron isothermas de intercambio iónico, donde la resina Amberlite IR-120 presentó una selectividad al tratar un efluente con una mezcla de metales así: Ni>Cu>Zn. Se diseñó un equipo básico de intercambio iónico con una altura de 3.9 m y 0.64 m de diámetro, conteniendo 2.45 m de altura de lecho empacado de resina Amberlite IR-120 para tratar un volumen de vertimientos de 28 m<sup>3</sup> diarios. Concluyendo, que la resina catiónica ácida fuerte Amberlite IR-120 permite una

remoción del 100%, 99.81%, 99.80% para los metales Ni, Cu y Zn respectivamente, cuando el proceso se realiza a un pH entre 2.5 – 4.5. (Amado & Gutierrez , 2006)

En conjunto, en un estudio llamado “Remoción de un complejo cianurado de Zinc de una solución acuosa utilizando una Resina Aniónica”, realizado por la Universidad de Sonora - México. Se realizó la investigación con el propósito de evaluar la efectividad de la resina aniónica base fuerte Amberlite IRA-400, en la remoción de bajas concentraciones del complejo tetracianozincato (-II) de una solución acuosa alcalina. Las concentraciones iniciales de zinc que se estudiaron fueron 10, 30 y 75 mg/L. Los valores de pH considerados en esta investigación fueron 11.5, 10.5 y 9.5. Los experimentos llevados a cabo se efectuaron por triplicado y las cantidades nominales de resina utilizadas en cada experimento individual fueron 10, 25, 50, 100 y 300 mg de resina, además de un blanco. Los resultados obtenidos de las pruebas batch llevadas a cabo indican que la remoción de zinc fue superior al 99.6% cuando las concentraciones iniciales fueron de 30 y 75 ppm y los valores de pH fueron de 10.5 y 11.5. Para aquellas soluciones con un pH de 9.5, los porcentajes de remoción fueron de 98.22 y 98.66% cuando las concentraciones iniciales de zinc fueron de 30 y 75 ppm respectivamente. Estos resultados expresan los porcentajes de remoción promedios observados de zinc en solución fueron de 78.11, 94.29 y 99.46% para valores de pH de 9.5, 10.5 y 11.5 respectivamente. En la prueba de columna de flujo continuo se obtuvo una remoción de zinc superior al 99% hasta el punto de ruptura, que fue alcanzado a los 600 volúmenes de leche. Los resultados de este proyecto experimental indican que la utilización de la resina IRA-400 de Sigma-Aldrich en la remoción del complejo tetracianozincato (-II)

resulta ser altamente efectiva para concentraciones en el rango de 30 y 75 ppm y valores de pH de 10.5 y 11.5. (Guzman, 2010)

Al mismo tiempo, en un artículo denominado “Diseño del sistema de intercambio iónico para la eliminación de metales pesados del drenaje ácido de minas de aguas residuales”, realizado por el Departamento Universitario de Tecnología Química, Universidad SGB Amravati, Amravati – India. Y publicado por el Acta Montanista Slovaca. Se efectuó una investigación para determinar el tamaño óptimo de la columna de intercambio iónico para procesar todos los lotes separados de alimentaciones de aguas residuales de drenaje ácido de minas. El diseño óptimo garantiza la mejor utilización del material de resina y da como resultado una cantidad mínima de resinas gastadas. Para el tratamiento actual, se ha diseñado una instalación para la eliminación de metales pesados de los desechos de drenaje ácido de mina (DAM). Usando las dimensiones, una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales de drenaje ácido de minas ha sido diseñada para la remoción de metales pesados (cobre). Finalmente, la asignación es del 100% de la altura de la cama. Por lo tanto, la altura de la columna es el doble de la altura del lecho o 3.05 m. (Gaikwad, Sapkal, & Sapkal, 2010)

Además, en un artículo nombrado “Evaluación de resinas de intercambio aniónico poliacrílico en la eliminación de Cr (VI) de soluciones acuosas”, realizada por la Academia de investigación china de ciencias ambientales, Beijing, China. Se realizó el estudio con el propósito de evaluar el rendimiento de eliminación de Cr (VI) en varios ciclos de cuatro resinas de intercambio aniónico poliacrílico (D730, D314, 312 y 213) con diferentes grupos funcionales y porosidades basadas en una operación de columna

de lecho fijo, la tasa de adsorción, la eficiencia de regeneración y la oxidación produce estabilidad para la eliminación de Cr (VI). Después de una operación de 10 ciclos, debido a la oxidación de las resinas, las capacidades de adsorción de las resinas D730, 213, D314 y 312 disminuyó en 19.8, 21.7, 13.4 y 15.3%, respectivamente. Como resultados dieron aplicaciones más efectivas de Intercambio de iones para la eliminación de Cr (VI) de las soluciones. (Xiao, y otros, 2015)

También, en un estudio denominado “Aplicación de resinas poliméricas en la separación y pre-concentración de cromo”, realizado por el Centro Científico CONHECER – Goiânia, Brasil. Se ejecutó un estudio para proporcionar una revisión de los diferentes tipos de resinas poliméricas que son aplicando en la separación y pre-concentración de cromo, incluyendo intercambio de iones y resinas quelantes. La síntesis de estas resinas, así como la estructura con los grupos funcionales, las soluciones utilizadas y la influencia del pH son variables, asimismo, se observó que se ha convertido en el objetivo de estudios en busca de procedimientos con buena eficiencia en la separación y pre-concentración de las especies químicas de cromo (III) y cromo (VI). (Moreira, Pereira, Silva da Franca, Novaes, & Silveira, 2013)

En cuanto a, un estudio denominado “Eliminación del cromo (VI) de los aguaces soluciones por anión base purolita - resinas de intercambio con estructura de gel,” realizado por la Universidad de Lasi, Ingeniería Ambiental y Gerencia Departamental, Lasi, Rumania, y publicado por la Asociación de Ingenieros Químicos de Serbia AChE. Se realizó una investigación para la eliminación de Cr (VI) de la solución acuosa usando dos bases aniónicas fuertes y resinas con estructura de gel, purolita A-400 (matriz de

estireno-divinilbenceno), Se investigó la purolita A-850 (matriz acrílica) usando una técnica discontinua. El porcentaje de Cr (VI) eliminado alcanzó valores máximos (hasta 99%) en el rango de pH 4 - 5.3 a una dosis de resina de 6 g/L y una concentración de Cr (VI) de hasta 100 mg/L. El aumento de la temperatura tuvo un efecto positivo en el proceso de sorción de Cr (VI). Y dio una capacidad de sorción máxima de 120.55 y 95.82 mg Cr (VI)/g para las resinas A-400 y A-850, respectivamente. (Balan , Volf, & Bilba, 2013)

De manera similar, en un artículo nombrado “Eliminación de cromo hexavalente de soluciones acuosas por resinas de intercambio aniónico D301, D314 y D354”, realizado por la Escuela de Ciencias e Ingeniería Ambiental, Universidad Sun Yat – Sen, Guangzhou - China. Se realizó un estudio para eliminar cromo hexavalente de las aguas residuales de la industria de galvanoplastia. Para ello, se llevaron a cabo experimentos de agitación por lotes para evaluar la capacidad de adsorción de las resinas (D301, D314 y D354) en la eliminación de cromo de las soluciones acuosas. El proceso de intercambio iónico, que depende del pH, indicó la eliminación máxima de  $\text{Cr}^{6+}$  en el rango de pH de 1-5 para una concentración inicial de 100 ppm de  $\text{Cr}^{6+}$ . Se descubrió que más del 99.4% de la eliminación se logró en condiciones óptimas. Los resultados experimentales obtenidos a varias concentraciones (27 +/- 1 °C) mostraron que el patrón de adsorción en las resinas ha seguido las isothermas de Langmuir y las capacidades máximas de sorción calculadas de D301, D314 y D354 fueron 152.52, 120.48 y 156.25mg/g, respectivamente. (Shi, Wang, Liu, Jia, & Changming, 2009)

Mientras que, en un artículo nombrado “Estudio preliminar de adsorción para la extracción de metales pesados con resinas de intercambio iónico en el laboratorio de enseñanza”, realizado por la Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Kebangsaan, Malaysia - Malasia. Se realizó una investigación sobre la adsorción de Cr (VI), Cu (II) y Pb (II) de la solución de laboratorio mediante el uso de resinas de intercambio iónico Chelex 100 (C100) y Amberlite IRA-400. La carga de metal a pH iniciales de 3 a 8 a 1-100 mg/L se estudió con base en los valores de  $Q_{\text{máx}}$  y  $K_1$  de la isoterma de Langmuir y Freundlich, respectivamente. El plomo fue el que más absorbió ( $Q_{\text{máx}} = 75.19$  mg/g, a pH 6), seguido de Cu ( $Q_{\text{máx}} = 58.07$  mg/g, a pH 5) con C100 y Cr ( $Q_{\text{máx}} = 49.02$  mg/g a pH 4) con IRA-400. La capacidad de adsorción global fue la siguiente: Pb (II) > Cu (II) > Cr (VI) y dependiente de los pH iniciales. (Sannasi & Salmijah, 2011)

Luego, en un estudio denominado “Eliminación de cromo del agua y aguas residuales por resinas de intercambio iónico”, realizado por Departamento de Ciencia e Ingeniería Ambiental, Instituto Kwangju de Ciencia y Tecnología – Corea del Sur, y publicado en Europe PMC. Se realizó una investigación con el objetivo de eliminar cromo del agua. Se llevaron a cabo experimentos de adsorción por agitación por lotes para evaluar el rendimiento de las resinas de intercambio catiónico IRN77 y SKN1 en la eliminación de cromo de las soluciones acuosas. El porcentaje de eliminación de cromo resultó más del 95% de eliminación en condiciones óptimas. Las resinas de intercambio iónico investigadas en este estudio mostraron una adsorción reversible de

romo y tienen un buen potencial de aplicación para la eliminación/recuperación de cromo de soluciones acuosas. (Rengaraj, Yeon, & Moon, 2001)

Otro elemento denominado, “Eliminación de cadmio de las aguas residuales utilizando resina de intercambio iónico Columns Amberjet-1200H”, realizado por el Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Tecnológica de Varsovia, Polonia. Se ejecutó con el objetivo de eliminar el  $\text{Cd}^{2+}$  mediante la resina de intercambio iónico Amberjet-1200H en condiciones de flujo. Las características de adsorción del metal sobre la resina fueron descritas con precisión por las isothermas de Freundlich. El intercambio iónico de cadmio sobre resina sigue una cinética de pseudo-segundo orden. Las capacidades de intercambio iónico del cadmio en la resina de intercambio iónico se estudiaron en solución metálica. Las capacidades de sorción fueron 3.0 meq Cd/g, y la resina puede ser regenerada por HCl. (Bai & Bartkiewicz, 2009)

Conjuntamente, en un estudio denominado “Estudio cinético de la eliminación de iones de metales pesados por intercambio iónico en lecho cónico discontinuo de aire,” realizado por el Departamento de Petroquímica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Pharos, Canal El Mahmoudeya St. Semouha, Alejandría - Egipto. Se realizó una indagación con el objetivo de investigar el rendimiento de un recipiente cónico por lotes con chorro de aire para la extracción de metales pesados por resinas de intercambio catiónico fuertes (AMBERJET-1200 Na). Se investigó el efecto de varios parámetros, como el tipo de iones de metales pesados ( $\text{Ni}^{2+}$  y  $\text{Pb}^{2+}$ ), el tiempo de contacto, la velocidad del aire superficial y la concentración inicial de iones de metales pesados en el % de eliminación de iones de metales pesados. Y se obtuvo como resultado que, en

condiciones óptimas, se logró el 98% y el 99% de eliminación de  $\text{Ni}^{2+}$  y  $\text{Pb}^{2+}$ , respectivamente. El presente estudio reveló que los vasos de lecho con chorros pueden proporcionar una alternativa efectiva para realizar reacciones de intercambio iónico. (Zewail & Yousef, 2015)

También, en un artículo nombrado “Evaluación de la eficiencia de sorción de cromo (VI) de la resina Amberlite-XAD-4 modificada”, realizado por el Centro Nacional de Excelencia en Química Analítica, Universidad de Sindh, Jamshoro - Pakistán. Se realizó el presente trabajo, para eliminar Cr (VI) de los medios acuosos mediante resina Amberlite-XAD-4 (MAX-4) modificada a través del método de extracción en fase sólida. Se optimizaron diferentes parámetros tales como pH, dosis y temperatura durante el experimento por lotes. Se determinó cada parámetro característico de las isotermas. El mecanismo de sorción fue investigado por las ecuaciones de Reichenberg (R-B) y Morris-Weber. A partir de los parámetros termodinámicos, se podría concluir que el proceso de sorción es de naturaleza endotérmica y espontánea. Los resultados manifiestan que la resina MAX-4 tiene la capacidad de eliminar Cr (VI) significativamente de los medios acuosos incluso en presencia de iones interferentes. (Bhatti, Memon, Memon, Bhatti, & Solangi, 2013)

Además, en un artículo denominado “Potencial de adsorción de Amberlite-15 macro-poroso para la eliminación de Cd (II) de soluciones acuosas”, realizado por el Centro Nacional de Excelencia en Química Física, Universidad de Peshawar, Peshawar – Pakistán. Se realizó la investigación actual, en la que, se implementó una resina de intercambio catiónico de ácido sulfónico macroporoso Amberlyst-15 para la adsorción

de Cd (II) utilizando la técnica de adsorción por lotes para evaluar su eficacia de eliminación. Se examinaron en detalle los efectos de varios parámetros experimentales como el tiempo, la temperatura, la concentración, el pH y la cantidad de dosificación. El pH óptimo para la absorción máxima de Cd (II) fue de pH 3 que revela el funcionamiento eficiente de la resina en condiciones altamente ácidas. Los resultados también demostraron que Amberlyst-15 elimino 99.95% dentro de 30 minutos de tiempo de reacción y  $2.01 \text{ mmol g}^{-1}$  de capacidad máxima de adsorción a 323 K de Cd (II). En conclusión, la resina Amberlyst-15 es un adsorbente prometedor para la eliminación mejorada de Cd (II) y otros metales tóxicos del agua contaminada y los efluentes residuales. (Razzaq, Hussain, Fahad, Naeem, & A Sherazi, 2020)

Conjuntamente, en un artículo nombrado “Cr (III) eliminación de las resinas de intercambio de solución acuosa con grupos de ácido carboxílico y ácido sulfónico”, realizado por el Departamento de Polímeros, Facultad de Química, Universidad de Concepción, Casilla, Concepción – Chile. Se realizó una investigación con el objetivo de eliminar Cr (III). Para ello, se utilizó resinas de intercambio iónico basadas en los polímeros insolubles en agua, y se sintetizó por polimerización radical. Estos polímeros se emplearon para eliminar Cr (III) de una solución acuosa. Finalmente, se estudiaron los comportamientos de sorción/elución en modo columna de las resinas de intercambio iónico. Concluyendo, que las resinas de intercambio iónico exhibieron una excelente eliminación de Cr (III). La resina P(AAGA-co-APSA) exhibió 89.4% de remoción, mientras que P(AAGA-co-ESS) mostró 88.3%, P(AAm-co-ESS) 86.8% y P(APSA-co-AAc) 89.3%. El modo de columna fue estudiado por la P(AAGA-co-APSA), una

capacidad de avance de 1.5 mg Cr (III)/ml de resina en el primer ciclo. La eficiencia de elución fue casi del 100%. La eficiencia de elución fue del 90.2% en el segundo ciclo. (Rivas, Morales , Kabay, & Bryjak, 2018)

Asimismo, un artículo llamado “Separación y recuperación de cromo y vanadio de la solución de cromato que contiene vanadio por intercambio iónico”, realizado por la Escuela de Ciencia e Ingeniería Metalúrgica, Universidad Central del Sur, Changsha – China. Se realizó una investigación para recuperar el vanadio de la solución de cromato que contenía vanadio, se estudió la separación del vanadio del cromo usando la resina base débil D-314 tanto en la prueba de lotes como en la de columna. Los resultados experimentales mostraron que en el rango de pH de 2.5 a 6.5, por doble adsorción con la resina, el vanadio y el cromo pueden separarse por completo y recuperarse de la solución de cromato que contiene vanadio. En la adsorción de vanadio, el volumen del lecho alcanzó 20 usando la solución de cromato que contiene vanadio que contenía 2.21 g/L de  $V_2O_5$  y 3.89 g/L de  $Cr_2O_3$  a pH 6.45 a 25 °C durante un tiempo de contacto de 60 min. La resina cargada se eliminó fácilmente usando una solución de NaOH 2 mol/L, resultando 106.83 g/L de  $V_2O_5$  y solo 0.11 g/L de  $Cr_2O_3$  en una tira de licor. El cromo en el efluente se recuperó luego usando la misma resina, y el producto final de  $Cr_2O_3$  con una pureza del 99.2% se obtuvo del licor de tira de cromo por reducción y precipitación. (Fan, Wang, & Wang, 2013)

Por otro lado, En la tesis denominada “Concentración de uranio por resinas de intercambio iónico en lixiviados de mineral Macusani – Puno”, publicado por la Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú, donde se realizó dicha investigación

con la finalidad de aplicar resinas de intercambio iónico para la congregación y purgación de uranio en lixiviados de mineral, y así obtener uranio con menores impurezas en fósforo y hierro, y con altos porcentajes de rescate en uranio. En este tratamiento, se ha empleado el método de intercambio iónico mediante resina IRA-400, con este proceso se logró concentrar uranio de 0.5 gU/L hasta 4.5 gU/L, logrando así eliminar las impurezas de fósforo y hierro a un 92% en promedio, esto significa que la resina es selectiva para uranio. En el proceso de adsorción, el uranio fue adsorbido por la resina IRA-400 al 95 %, el fósforo en promedio al 10%, hierro en promedio al 89 %, estando dentro de un pH óptimo de 1.4, concentración de uranio en lixiviado 0.85 gU/L y tiempo de contacto de 20 minutos. Para ello, se utilizó solución eluyente compuesta por 0.1 M de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  + 0.2 M de  $\text{HNO}_3$  que es muy adecuado y satisfactorio. (Olivera, 2009)

De tal modo; en un estudio denominado “Uso de resina de intercambio iónico para la remoción de iones cobre en efluente de proceso de detoxificación de cianuro”, realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú. Se realizó una investigación para remover cobre del efluente final del proceso de detoxificación de cianuro, cuya concentración inicial se encontraba en un valor promedio de 2 ppm. La metodología consistió, en una primera etapa, en la caracterización del efluente resultante del proceso de detoxificación de cianuro, y en la segunda etapa se utilizó resinas de intercambio iónico en el post - tratamiento de efluente de detoxificación de cianuro en una planta piloto de laboratorio, donde se realizó la remoción de iones cobre con dos resinas una que tiene la propiedad quelante (LEWATIT-207) y la otra es aniónica débil

(LP-64), obteniendo un efluente resultante cuyo contenido de cobre, estuvo por debajo de los 0.4 ppm, establecido en la DS 010-2010 MINAN. En conclusión, se pudo proponer un post tratamiento del efluente resultante del proceso de detoxificación de cianuro, siendo el tratamiento con resinas uno de los procesos más limpios. (Pinto, 2017)

Al mismo tiempo, en un estudio titulado “Intercambio iónico con resinas para recuperación de Uranio”, publicado por la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú. Se realizó una investigación con el objetivo de estudiar la variación del flujo pasante de uranio a través de dos resinas llamadas M-500 y M-800 bajo diferentes condiciones. Para ello, se ha evaluado dos resinas llamadas M-500 y M-800 bajo diferentes condiciones, siendo estas: variación de la velocidad de flujo pasante en el carguío a través de la resina, variación de los reactivos químicos eluentes (ácido sulfúrico, ácido nítrico y cloruro de sodio) a diferentes concentraciones y variación del pH de las soluciones ácidas. Resultando, que en la resina M-500, del estudio de la variación del flujo se desprende que los mejores valores de Uranio cargado en la resina se obtienen a una velocidad de paso lenta (10BV), usando el eluente  $H_2SO_4$ . En la resina M-800, del estudio de la variación del flujo pasante a través de la resina se desprende que los mejores valores de Uranio cargado en la resina se obtienen a una velocidad de paso (20BV). Una de las técnicas de recuperación de Uranio consiste en hacer pasar soluciones a través de resinas de intercambio iónico. (Mallqui, 2011)

Igualmente, en un estudio denominado “Recuperación de oro desde soluciones cianuradas por intercambio iónico en la compañía minera aurífera Santa Rosa S.A.”, realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú. Se realizó, una

investigación con el objetivo de comparar el proceso de carbón en solución con el proceso de resina en solución. Los resultados más adecuados obtenidos en el proceso continuo son: Concentración de extractante es 300 gr de resina AuRIX® 100 y la relación de fases AQ/R es 5 BV/V, con estos parámetros se obtuvo una extracción de oro del 98% en una etapa de extracción de un circuito de 4 columnas para la solución acuosa de mina. También se comprobó que al utilizar una solución acuosa con una concentración de 40 gr/L de NaO y 100 ppm de NaCN, a un pH de 12.5 – 13 se obtuvo una eficiencia de despojamiento del 98.3%. En conclusión, el tratamiento de recuperación del oro desde soluciones cianuradas, utilizando las resinas sintéticas, es una tecnología a ser considerada como una posible reducción de costos y mejoras en el proceso. (Ortega, 2009)

Además, en el estudio denominado “Estudio de investigación para adsorción de oro usando resina de intercambio iónico en la planta del Consorcio Minero Horizonte S.A.”, realizado por la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa – Perú. Se realizó una investigación con el objetivo de evaluar la eficiencia de la resina de intercambio iónico AuRIX® 100, para la extracción del complejo oro – tiosulfato de amonio, con el fin de lograr reducir y/o eliminar problemas causados por el método convencional de cianuración. Se obtuvo como resultados que Al aumentar la concentración de tiosulfato de amonio de 0.00674, 0.03, 0.04 Molar se favorece la extracción de oro, debido a una mayor presencia de tiosulfato libre; Cuando se aumenta el valor de pH por encima de 11, los iones hidroxilo promueven la degradación de iones tiosulfato, causando la precipitación de oro. Con tiosulfato, se obtuvo que para 0.04

Molar, se obtuvo un 99% de adsorción mientras que con 0.03 Molar de tiosulfato, la adsorción disminuyó al 98%.; asimismo las concentraciones de oro como afectan de 1 mg/L, 2 mg/L, y 8 mg/L, los porcentajes de recuperación respectivamente fueron similares de 99 %, 94 % y 98 % de recuperación de oro. (Layme, 2015)

Consecutivamente, en un estudio nombrado “Recuperación de oro a partir de lodos de relave cianurados utilizando la resina estireno divinilbenceno”, realizado por la Universidad Nacional San Agustín, Arequipa – Perú. Se realizó una investigación con la finalidad de aplicar el método de intercambio iónico usando la resina estireno divinilbenceno en la recuperación de oro de relaves de baja ley, el cual constituye un problema serio para las empresas del sector, entre ellas la empresa minera Titán del Perú S.R.L., la cual emplea el método de extracción usando carbón activado no logrando recuperaciones en forma eficiente, perdiéndose la mayor parte del metal. Para ello, se propuso realizar tres tratamientos comparativos de extracción de oro: resina; carbón activado (95%; 5%), resina (100%) y carbón activado (100%), los cuales son destinados al botadero en la Minera Titán del Perú. En el proceso de extracción, se demostró que la recuperación de oro es de la siguiente manera: resina; carbón activado (95%; 5%) con un 72.857%; resina (100%) 98.943% y carbón activado (100%) con un 66.286%. Concluyéndose, que el lodo de relave tiene características similares a la de un lodo normal un pH alcalino de 9.0, humedad relativa de 51.7%, color gris rojizo y temperatura 35.0 %; asimismo, la resina estireno divinilbenceno de intercambio iónico, se puede aplicar a una menor temperatura de descarga de 60°C, en comparación con el carbón activado y no requiere reactivación térmica, solo se necesita de un lavado con

una solución diluida de ácido clorhídrico y que el mejoramiento del rendimiento de la extracción de oro con la resina estireno divinilbenceno es de 89.583% y el carbón activado es de 10.081%. (Andia, 2015)

Finalmente, en a la tesis nombrada “Influencia de la relación masa de resina/volumen DAM y tiempo de agitación sobre la remoción de hierro total, utilizando resinas iónicas de efluentes de la zona de Hualgayoc, Cajamarca, 2017”, realizada en la facultad de ingeniería de la Universidad Privada del Norte (UPN-Cajamarca), realizaron un estudio con el objetivo de analizar la posible relación de masa de resina por volumen DAM y tiempo de agitación, para ello el estudio experimental se realizó en un vaso de precipitación, utilizando efluente con diferentes relaciones de masa de resina/volumen DAM en función de tiempos de agitación a 1 hora, 3 horas y 5 horas, con una ley de 1253.2 ppm de hierro. El resultado del estudio del empleo de resinas iónicas concluyó que la remoción de hierro a 1 hora y 0.025 g resina/mL DAM fue de 8.78 % y a medida que ambas variables aumentaban, la remoción también aumentaba, es así que se llegó obtener una remoción de 99.01 % a 5 horas y 0.100 g resina/mL DAM. Los resultados son confirmados mediante análisis de varianza para un nivel de confianza de 95%. De esto se concluye que la remoción de hierro por la influencia del tiempo de agitación es de  $F_0 = 67941.4507$  es mayor a  $F_{0.05, 2.35} = 3.4028$ , y la influencia de la masa de resina/volumen DAM, el  $F_0 = 191273.0043$  es mayor a  $F_{0.05, 3.35} = 3.0088$  y con la influencia del tiempo de residencia y la masa de resina/volumen DAM es de  $F_0 = 15272.7602$ , la cual es mayor a  $F_{0.05, 6.35} = 2.5082$ , obtenido de manera tabular. Esto confirma que la influencia del tiempo de residencia y la relación masa de resina/volumen

DAM de manera individual como en conjunto si afectan significativamente en la remoción de hierro. (Saucedo & Torres, 2017)

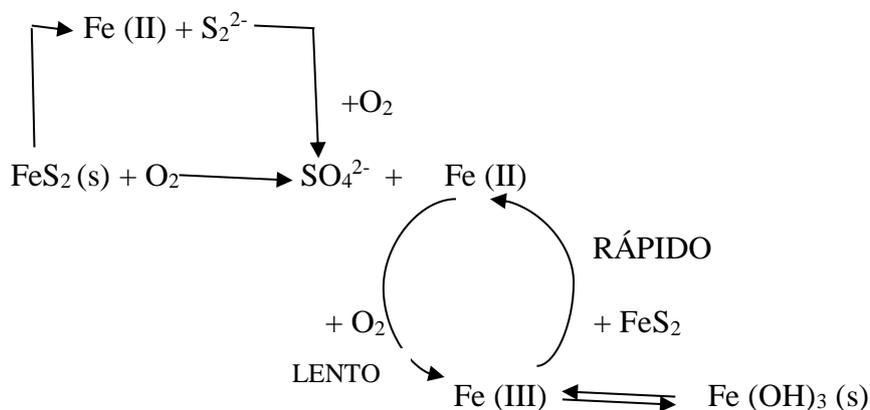
En el presente trabajo, se consideran referentes teóricos con el propósito de esclarecer conceptos sobre las variables a estudiar. El estudio sobre la remoción de metales en efluentes de aguas es un tema de investigación importante, debido a que se ha incrementado la contaminación de las aguas vertidas de pasivos mineros que en su gran mayoría están contaminadas por metales pesados. Los tratamientos con Resinas de Intercambio Iónico son una herramienta para la remoción de iones metálicos en cuerpos de agua, utilizadas para la remover o extraer metales por su alta eficiencia, puesto que sus parámetros de diseño ya están establecidos por sus fabricantes.

**Drenaje ácido de mina (DAM):** Es un proceso natural a través del cual el ácido sulfúrico se produce cuando los sulfatos de las rocas son expuestos al aire libre o al agua. Cuando las grandes cantidades de roca que contienen minerales sulfatados son excavadas en tajo abierto o en vetas en minas subterráneas, estos materiales reaccionan con el aire o con el agua para crear ácido sulfúrico. Cuando el agua alcanza cierto nivel de acidez, un tipo de bacteria común llamada “*Tiobacillus Ferroxidante*”, puede aparecer acelerando los procesos de oxidación y acidificación, lixiviando aún más los residuos de metales de desecho. El ácido es transportado desde la mina por el agua, las lluvias o por corrientes superficiales, y posteriormente depositado en los estanques de agua, arroyos, ríos, lagos y mantos acuíferos cercanos. El DAM degrada severamente la calidad del agua y puede aniquilar la vida acuática, así como volver el agua prácticamente inservible. (Morales, 2006)



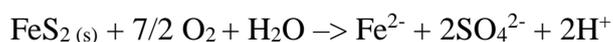
*Figura 1.* Drenajes Ácidos de Mina.

**Generación de aguas ácidas de mina:** Los sulfuros se presentan en las rocas en forma natural en asociación a diversos metales. Siempre se producirá la oxidación de estos minerales y formarán ácido sulfúrico, pero en una forma muy reducida cuando hay ausencia de oxígeno en el subsuelo. La actividad minera hace que estas reacciones químicas aumenten de grado e incrementen su velocidad, debido a las grandes cantidades de masa rocosa que se remueven y por aumentar el área de exposición de las rocas a condiciones favorables para la formación de estas aguas. Los elementos y factores fundamentales que participan en la generación de agua ácida en estas reacciones son los siguientes: Minerales sulfurosos, Bacterias y temperatura, Agua o humedad de la atmósfera, Un oxidante, particularmente oxígeno proveniente del aire o de procedencia química. (Li, 2013)

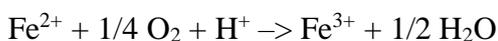


**Figura 2.** Proceso de formación de aguas ácidas de mina. Fuente: (Aduvire, 2006)

La generación ácida, así como su consumo (por neutralización), es el resultado de un gran número de reacciones químicas interrelacionadas. Según, (Aduvire, 2006) explican las reacciones que se producen en la generación ácida a partir de la oxidación de la pirita (FeS<sub>2</sub>), por ser uno de los sulfuros minerales más comunes que acompañan a las menas de interés económico. Estas reacciones son:



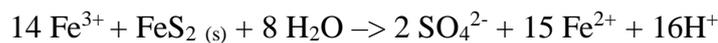
Si el ambiente circundante es suficientemente oxidante, mucho de los iones ferrosos se oxidarán a iones férricos.



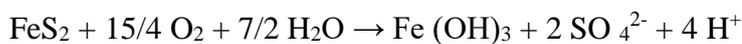
Por lo general, a pH entre 2.3 a 3.5 el ion férrico por hidrólisis precipita como hidróxido Fe (OH)<sub>3</sub> (sólidos de color amarillo, naranja o rojo), lo que provoca un descenso del pH.



Algunos cationes férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ) que no precipitan en la solución, pueden seguir oxidando adicionalmente a la pirita (catálisis) y formar nuevamente iones ferrosos, sulfato e hidrógeno.



Basados en estas reacciones básicas simplificadas, la generación ácida que produce el hierro de la pirita el cual eventualmente precipita como  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  puede ser representada por la siguiente reacción:



Por lo tanto, la reacción final para estabilizar el ion férrico formado a partir de la oxidación de la pirita, sería:



En general los minerales sulfurados que pueden ser potenciales generadores de acidez se caracterizan por tener una relación metal/azufre inferior a 1 como por ejemplo la pirita  $\text{FeS}_2$  cuya relación es 1/2, sin embargo, cuando el drenaje se encuentra en una fase de acidificación avanzada en la que la reacción 4 ya ha tenido lugar, los demás sulfuros metálicos son susceptibles de ser oxidados por la acción del hierro férrico. (Chaparro, 2015, p.54)

**Remoción de metales pesados:** Actualmente existe una serie de procesos químicos, que son utilizados para remover los metales pesados, entre los que se encuentra la precipitación química, la filtración por medio de membranas, la reducción electrolítica, la extracción por medio de solventes, el intercambio iónico y la adsorción. Algunas de estas tecnologías no son aplicables en todas las situaciones, debido a una serie de

inconvenientes tales como: Baja eficiencia y aplicabilidad a una amplia gama de contaminantes, generación de residuos, dificultad de encontrar condiciones óptimas de operación cuando se presentan distintos metales pesados en solución y la necesidad de pre-tratamientos. (Pinillos, 2013)

**Resinas de intercambio iónico:** Son materiales sintéticos, sólidos e insolubles en agua, que se presentan en forma de esferas o perlas de 0.3 a 1.2 mm de tamaño efectivo. Están compuestas de una alta concentración de grupos polares, ácidos o básicos, incorporados a una matriz de un polímero sintético y actúan tomando iones de las soluciones (generalmente agua) y cediendo cantidades equivalentes de otros iones. La principal ventaja de las resinas de intercambio iónico es que pueden recuperar su capacidad de intercambio original, mediante el tratamiento con una solución regenerante compuesta por cationes de sodio o aniones de cloruro, dependiendo del tipo de resina; las resinas de intercambio iónico están destinadas a varios usos: Descalcificación, desnitratación y desionización; dependiendo de la aplicación a la que se destinen existen diferentes tipos.



**Figura 3.** Resinas de Intercambio Iónico.  
Fuente: (Aguasalud, 2011).

- **Resinas catiónicas de ácidos fuerte:** Intercambian iones positivos (Cationes). Funcionan a cualquier pH. Es la destinada a aplicaciones de suavizado de agua, como primera columna de desionización en los desmineralizadores o para lechos mixtos. Elimina los cationes del agua y necesitan una gran cantidad de regenerante, normalmente ácido clorhídrico (HCl).
- **Resinas catiónicas de ácidos débiles:** Las características de estas resinas son; eliminan los cationes que están asociados con bicarbonatos, tienen menor capacidad de intercambio, no son funcionales a pH bajos. Se trata de una resina muy eficiente, requiere menos ácido para su regeneración, aunque trabajan a flujos menores que las de ácido fuerte. Es habitual regenerarlas con ácido de desecho procedente de las de ácido fuerte.
- **Resinas aniónicas de bases fuertes:** Eliminan todos los aniones. Su uso ha sido generalizado para eliminar aniones débiles en bajas concentraciones, tales como: carbonatos y silicatos. Intercambian iones negativos (aniones), es la destinada a aplicaciones de suavizado de agua, elimina los aniones del agua y necesitan una gran cantidad de regenerante, normalmente sosa (hidróxidosódico - NaOH).
- **Resinas aniónicas de base débil:** Eliminan con gran eficacia los aniones de los ácidos fuertes, tales como sulfatos, nitratos y cloruros. Se trata de una resina muy eficiente, requiere menos sosa para su regeneración. No se puede utilizar a pH altos pueden sufrir problemas de oxidación o ensuciamiento. (Coronel, 2018)

**Saturación y regeneración de resinas de intercambio iónico:** Para identificar la saturación de la resina, se debe observar los porcentajes de remociones de los metales que se están dando tratamiento, si únicamente se modifican los valores decimales, esto indica que la resina ha llegado a saturarse. Seguidamente, se debe llevar a cabo el proceso de regeneración de la resina, el cual consiste en agregar una solución base (ácido clorhídrico, ácido nítrico o ácido sulfúrico) para la estabilización de cationes y aniones de la resina.



*Figura 4.* Resinas Catiónicas y Aniónicas. Fuente: (Aguasalud, 2011).

A continuación, se determinan algunos términos básicos de la investigación:

**Caudal:** Según la RAE, en relación con el agua, el caudal hace referencia a la cantidad de agua circulante por un determinado lugar dividida por unidad de tiempo. (RAE, 2020)

**Velocidad:** Es el espacio recorrido por un móvil en la unidad de tiempo. (Galán, 1987)

**Remoción:** La palabra remoción proviene del acto de remover. Remover es justamente quitar o sacar algo de su lugar, independientemente de que sea reemplazado o no por otro.

La remoción puede darse, como se dijo antes, sobre un objeto. (Bembibre, 2012)

**Metales pesados:** El término metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tiene una densidad relativamente alta y es tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre. No pueden ser degradados o destruidos. Para una pequeña medida en que entran en nuestros cuerpos a través de los alimentos, el agua potable y el aire. Algunos metales pesados (por ejemplo, cobre, selenio, zinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, a concentraciones más altas pueden conducir a la intoxicación. (Carbotecnia, 2018)

**Resinas de intercambio iónico:** Las resinas de intercambio iónico son polímeros que tienen unidos covalentemente grupos ionizables o básicos. Estas resinas tienen un grado de polimerización adecuado para que sus gránulos se hinchen con agua o soluciones salinas. (Primo, 1994)

**Intercambio iónico:** El intercambio iónico es una reacción química en la que los iones libres de un sólido. El intercambiador de iones, se cambian por distintos iones con carga similar de la disolución. (Guerra, 1986)

**Drenaje:** La palabra drenaje en general significa descarga o remoción de los excesos de agua. Los excesos de agua se pueden presentar en muchas situaciones, por lo que el agua es descargada con muchos fines. (Villón, 2007)

**Espectrofotometría:** Es un método científico utilizado para medir cuánta luz absorbe una sustancia química, midiendo la intensidad de la luz cuando un haz luminoso pasa a través de la solución muestra, basándose en la Ley de Beer-Lambert. La espectrofotometría es uno de los métodos de análisis más usados, y se basa en la relación que existe entre la absorción de

luz por parte de un compuesto y su concentración. Cuando se hace incidir luz monocromática (de una sola longitud de onda) sobre un medio homogéneo, una parte de la luz incidente es absorbida por el medio y otra transmitida, como consecuencia de la intensidad del rayo de luz sea atenuada desde  $P_0$  a  $P$ , siendo  $P_0$  la intensidad de la luz incidente y  $P$  la intensidad del rayo de luz transmitido. Dependiendo del compuesto y el tipo de absorción a medir, la muestra puede estar en fase líquida, sólida o gaseosa. En las regiones visibles y ultravioleta del espectro electromagnético, la muestra es generalmente disuelta para formar una solución. (Química, 2010)

**Conductividad Eléctrica:** Es un parámetro ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad, se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. (Pincay, 2013)

**pH:** Es una medida de concentración de iones de hidrógeno, de la naturaleza ácida o alcalina del agua. Su medición se realiza fácilmente con el pH o por colorimetría (papel que por su coloración indica el pH). El factor pH puede ser muy importante no sólo para el proceso exclusivo de fertirrigación, así también puede jugar un importante papel en el uso de plaguicidas a través del riego. (Pincay, 2013). Por otro lado (Skousen & Ziemkiewics, 1996) nos indica que el pH con valor  $<4.5$  se clasifica como Tipo I, tiene alta concentración de Fe, Al, Zn, Cu, Ni, Pb y otros metales, son muy ácidos (Llamado Drenaje Ácido de Mina).

**Oxígeno Disuelto (OD):** Es un parámetro indicativo de la calidad de un agua. Se determina “in situ” mediante electrodo de membrana (UNE-EN 25814; 1994) o por yodometría fijando el oxígeno con sulfato de magnesio (UNE-EN 25813:1994), expresándolo en mg/L de oxígeno disuelto. (Bueno, 1997)

**Límite Máximo Permisible (LMP):** Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental. (D.S N° 010-2010-MINAM). (MINAM, 2010)

**Tabla 1.**

*Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.*

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio
			Anual
pH	mg/L	6-9	6-9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente (*)	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

(\*) En muestra no filtrada. **Fuente:** (MINAM, 2010)

El presente proyecto tiene como justificación que, la contaminación por metales pesados es uno de los problemas ambientales que se debería tomar mayor importancia en nuestro país, debido a que la explotación minera en los últimos años, ha ido causando graves secuelas al ambiente, los mismos que se ven reflejados en sus pasivos ambientales, esta problemática ha generado el deterioro de la calidad del agua en ríos y lagos, debido a la generación y liberación de aguas ácidas provenientes de minas activas, abandonadas, ilegales o informales. Dichas aguas presentan un alto contenido de metales pesados tales como: Cd, Cu, Fe, Mn, Mg, Ni, Pb y Zn. Los metales pesados pueden ser acumulados en los distintos eslabones de la cadena trófica (“bioacumulación”), e incluso trasladados a sitios muy alejados del punto de origen de contaminación, usualmente a través de cursos de agua (“biomagnificación”). Estos dos procesos traen consecuencias ambientales graves para el ecosistema y para la salud del hombre. (Pinillos, 2013). Por lo tanto, se debe exigir un plan de manejo y disposición final de sus residuos peligrosos, evitando la entrada a los ecosistemas y reduciendo la concentración de los metales pesados hasta los LMP establecido en el D.S. N°010 – 2010 – MINAM “Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas”. Frente a ello, se pretende describir la influencia del caudal de un DAM sobre el porcentaje de remoción de metales pesados, utilizando resinas de intercambio iónico, y de esta manera crear una consciencia sobre el daño que se está ocasionando al medio ambiente y sobre todo a todos los seres vivos que forman parte de esos ecosistemas.

El presente trabajo tiene un enfoque cuantitativo; es de tipo descriptivo; con un diseño de investigación no experimental y con un método – técnica de estudio de caso; utilizando 25 estudios previos, en el cual se tuvo en cuenta la variable dependiente “Remoción de metales pesados” y la variable independiente “caudal de un DAM”, las cuales serán recopiladas, descritas y analizadas en el desarrollo del proyecto.

## 1.2. Formulación del problema

La mayoría de las minas de nuestro país, generan un drenaje ácido de mina, al dejar libre los sulfatos durante el proceso de explotación, al combinarse estos con algunos metales pesados presentes en el suelo, y además de entrar en contacto con el oxígeno del aire y con la presencia de agua, se oxidan directamente generándose el proceso de oxidación abiótica; estos efluentes se caracterizan por ser ácidos, al tener un pH con valor  $> 4.5$ , con altos contenidos de sólidos totales en suspensión y elementos metálicos tales como el Fe, Cu, Pb, Zn y As, los cuales al no ser tratados adecuadamente y ser vertidos al ambiente, contaminan las aguas superficiales. Frente a ello, se formula la siguiente problemática:

¿Cuál es la influencia del caudal de un drenaje ácido de mina sobre la remoción de metales pesados, utilizando resinas de intercambio iónico?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Describir la influencia del caudal de un drenaje ácido de mina sobre el porcentaje de remoción de metales pesados, utilizando resinas de intercambio iónico.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Estimar el contenido de metales pesados presente en el drenaje ácido de mina, antes del tratamiento con resinas de Intercambio Iónico, en base a once estudios realizados como datos secundarios.
- Sistematizar la información de los caudales de los drenajes ácidos de mina, identificando el caudal en el que existe mayor porcentaje de remoción de metales pesados, en base a once estudios realizados como datos secundarios.
- Estimar el porcentaje de remoción de metales pesados de los drenajes ácidos de mina, después de haber realizado el tratamiento con resinas de Intercambio Iónico, en base a once estudios realizados como datos secundarios.

### **1.4. Hipótesis**

#### **1.4.1. Hipótesis general**

- El caudal de un drenaje ácido de mina es inversamente proporcional al porcentaje de remoción de metales pesados, en el tratamiento y remoción de metales, al ser tratados con resinas de Intercambio Iónico, en base a once estudios realizados como datos secundarios.

#### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- El contenido de metales pesados presentes en el drenaje ácido de mina, antes del tratamiento con resinas de Intercambio Iónico, sobrepasan los LMP, en base a once estudios realizados como datos secundarios.
- El caudal de un drenaje ácido de mina en la que existe mayor porcentaje de remoción de metales pesados, es cuando este es menor, ya que, a menor caudal de un efluente de drenaje ácido de mina, se obtiene mayor tiempo de contacto con las resinas de intercambio iónico y por ende se remueve mayor porcentaje de metales pesados, en base a once estudios realizados como datos secundarios.
- El porcentaje de remoción de metales pesados de los drenajes ácidos de mina, después de haber realizado el tratamiento con resinas de Intercambio Iónico, es mayor o menor, en base al caudal con el que se haya tratado al efluente, en base a once estudios realizados como datos secundarios.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El siguiente proyecto tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo, con un diseño No Experimental – transversal descriptivo y utilizando el método o técnica de Estudio de caso.

### 2.2. Población y muestra

Se determinó la población y muestra para la presente investigación, teniendo en cuenta la accesibilidad de la información de los artículos estudiados, considerándose:

- **Población:** 25 estudios realizados acerca de la influencia del caudal de un drenaje ácido de mina sobre el porcentaje de remoción de metales pesados, utilizando resinas de intercambio iónico.
- **Muestra:** once estudios realizados acerca de la influencia del caudal de un drenaje ácido de mina sobre el porcentaje de remoción de metales pesados utilizando resinas de intercambio iónico, de las cuales se trabajó con un promedio de los valores encontrados.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

A continuación, se detallan los materiales que se utilizaron para la recolección y análisis de datos:

- Plataformas académicas.

- Artículos.
- Software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).
- Microsoft Excel.

Además, se consideraron los siguientes criterios, partiendo de ¿Cuál es la influencia del caudal de un drenaje ácido de mina sobre la remoción de metales pesados utilizando resinas de intercambio iónico?

**Estrategia de búsqueda:** Primeramente, se recurrió a la búsqueda de información de páginas web reconocidas oficialmente a nivel nacional e internacional, las cuales están validadas por diferentes instituciones, considerando los criterios de elegibilidad.

- **Criterios de elegibilidad:** En el desarrollo de la presente investigación se consideraron criterios de elegibilidad para una búsqueda más acertada, los cuales fueron: palabras clave, remoción de metales y resinas de intercambio iónico; período, del 2000 al 2020; idioma, inglés y español; estatus, artículos publicados y tipo de publicación, artículos de investigación; estos criterios fueron aplicados para que la información expuesta sea confiable, actualizada y veraz.

**Estrategias de revisión:** Como parte de las estrategias de revisión se consideraron los siguientes criterios:

- **Criterios de búsqueda:** Las fuentes de investigación que se usaron para la búsqueda de información del presente proyecto fueron: Jóvenes en la Ciencia, Biblat, Alicia-Concytec, google académico, repositorio institucional UPNBOX, repositorio institucional UNI, Scielo, Scopus,

- **Criterios de inclusión:** Cada investigación fue analizada, identificando si contaba con los datos de las variables descritas en el presente proyecto. Los filtros que se aplicaron para la búsqueda fueron: año de publicación, revistas, idioma, relevancia, entre otros.
- **Criterios de exclusión:** El descarte de documentos se realizó porque algunos no concordaban o apuntaban a un similar análisis, asimismo, fueron estudios publicados por duplicado en diferentes páginas, de manera que se los identificó y se los excluyó del presente proyecto.

**Tabla 2.**

Proceso de Clasificación de documentos.

Objeto de estudio	Método de estudio	Resultados	Referencia Bibliográfica
Influencia del caudal de un drenaje ácido de mina sobre la remoción de metales pesados utilizando resinas de intercambio iónico.	En la revisión de repositorios se considerando repositorios que tienen un método de estudio empírico cuantitativo.	En los 11 repositorios que se consideraron en el presente proyecto, los resultados de remoción de metales pesados, ha sido eficaz y adecuada. Se podría concluir que 100% de la información tiene resultados efectivos.	Todos los documentos contaron con bibliografía en formato APA. Y son de Fuentes confiables.

## 2.4. Procedimiento

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, se realizó el siguiente procedimiento:

### A. Proceso de Recolección de Datos:

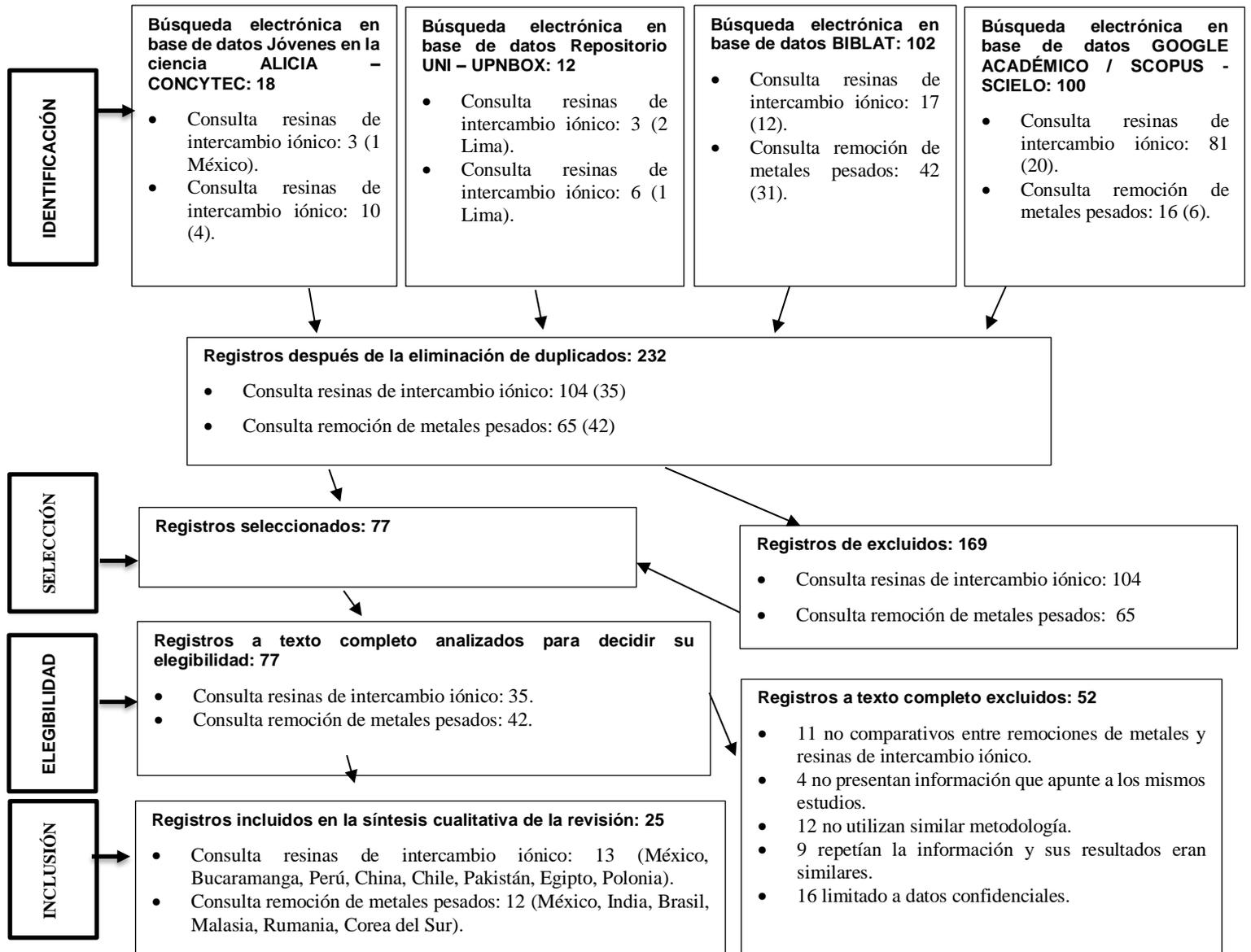


Figura 5. Procesamiento de la Información, búsqueda bibliográfica de los estudios incluidos.

## **B. Proceso de Tratamiento de Datos:**

Para el procesamiento de los datos se utilizó la base del software estadístico SPSS, en la cual se introdujo todos los datos obtenidos de los once estudios secundarios, sobre los valores iniciales y finales de los metales pesados, valores de caudal de un drenaje ácido de mina y porcentaje de remoción de metales pesados después del tratamiento con resinas de intercambio iónico, además se calcularon las medidas de tendencia central, con las cuales se halló la muestra estadística, asimismo, con los valores promedio de las variables “caudal de un efluente de drenaje ácido de mina ” y “porcentaje de remoción de metales pesados”, se realizó el análisis de varianza (ANOVA), para ver la aceptación o el rechazo de las Hipótesis planteadas.

## **C. Proceso de Análisis de Datos:**

En el proceso de análisis estadístico de datos se utilizó cálculos de medidas de tendencia central, muestreo aleatorio simple para variable cuantitativa con población finita y finalmente se realizó un análisis de varianza (ANOVA), el cual permitió determinar si las medidas de cada tratamiento eran estadísticamente diferentes. Asimismo, sirvió para recopilar y analizar la información de los resultados del porcentaje de remoción de metales pesados y los datos del caudal de un efluente de drenaje ácido de mina.

Para llevar a cabo el cálculo del procesamiento de datos se utilizaron las medidas de tendencia central.

*Ecuación 1. Media o Promedio ( $\bar{X}$ )*

- $$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

*Ecuación 2. Mediana (Me)*

- $Me = Valor\ Medio$

*Ecuación 3. Rango (R)*

- $R = Dato\ máximo - Dato\ mínimo$

En consecuencia, se realizó el cálculo de la muestra para variable cuantitativa con población finita.

*Ecuación 4. Tamaño de la Muestra (n)*

- $$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2(N-1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

**Donde:**

N = Total de la población

$Z_{\alpha}$  = 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)

p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)

q = 1 – p (en este caso 1- 0.05 = 0.95)

d = precisión (5%).

Seguidamente, se detallan las variables que se utilizaron en el cálculo de análisis de varianza (ANOVA).

**Tabla 3.**

*Variables a estudiar.*

VARIABLE	TIPO
Caudal de un DAM	Cuantitativa Continua
Remoción de metales pesados	Cuantitativa Continua

En esta tabla se observa la variable y el tipo de variable de acuerdo a la clasificación estadística.

Finalmente, se plantearon las pruebas de hipótesis, con el fin de observar los valores experimentales de los estudios recopilados, los cuales nos condujeron a aceptar o rechazar la hipótesis bajo consideración.

**Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** A medida que aumenta el caudal de un efluente de DAM, no afecta el incremento de la remoción de metales pesados, empleando Resinas de Intercambio, en base a once estudios realizados como datos secundarios.

**Hipótesis Alterna ( $H_1$ ):** A medida que disminuye el caudal de un efluente de DAM, afecta el incremento de la remoción de metales pesados, empleando Resinas de Intercambio Iónico, en base a once estudios realizados como datos secundarios.

Teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si  $F \neq 1$ , la hipótesis nula se rechaza.
- Si  $F = 1$ , la hipótesis Alterna se rechaza.

Las consideraciones éticas que siguió el proceso de la presente investigación fue que los resultados que se presentan a continuación son confiables, todo el desarrollo siguió un marco teórico con información fiable, es decir que este proyecto es inédito.

### **CAPÍTULO III. RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los resultados enfocados a describir la influencia del caudal de un de Drenaje Ácido de Mina sobre la remoción de metales pesados, utilizando resinas de intercambio iónico. Para ello, se realizaron los siguientes cálculos:

A continuación, se presenta una matriz donde se indican los valores iniciales y finales de los metales estudiados, además del caudal de un DAM y porcentaje de remoción de metales pesados, en base a once estudios realizados como datos secundarios.

**Tabla 4.**

Resultados en base a los 25 estudios realizados como datos secundarios.

N°	RESINA UTILIZADA	METAL A REMOVER	CONCENTRACIÓN INICIAL DE LOS METALES	CAUDAL	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LOS METALES	CONCENTRACIÓN FINAL DE LOS METALES
1	IRA-900 (Aniónica) y Dowex Mac-3 (Catiónica)	Cromo Cr (III) y Cr (VI)	100 mg/L	1367.400 L/min	50% y 99%	40 mg/L y 14.9 mg/L
2	Dowex M-4195	Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn)	132.5 mg/ L Fe y 114.40 mg/L Mn	-	70% y 25 %	79 mg/L Fe y 39.9 mg/L Mn
3	Lewatit S-100 y Lewatit Monoplus M-500	Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Manganeseo (Mn)	37.3 mg/L y 1219.5 mg/L	-	90%	3.73mg/L y 121.95 mg/L
4	Lewatit TP-207 y Amberlite IR-120	Níquel (Ni), Cobre (Cu) y Zinc (Zn)	14.5mg/L, 18 mg/L y 21.25 mg/L	1860 L/min	100%, 99.81%, 99.80%	0 mg/L, 0.0342 mg/L y 0.0425 mg/L
5	Amberlite IRA-400	Zinc (Zn)	10mg/L, 30mg/L y 75 mg/L	0.004243 L/min	90.60%	2.82mg/L y 7.05 mg/L
6	Resina Catiónica	Cobre (Cu)	200 mg/L	0.086 L/min	62.50%	75 mg/L
7	D730, 213, D314 y 312	Cromo (Cr (VI))	500 mg/L	0.0104 L/min	19.8%, 21.7%, 13.4% y 15.3%	401mg/L, 391.5mg/L, 433mg/L y 423.5 mg/L
8	Resinas poliméricas	Cromo (III) y cromo (VI)	-	-	-	-
9	Purolita A -400 y A-850	Cr (VI)	104 mg/L	0.023 L/min	92.5% (A-400) y 90.02% (A-850)	7.8mg/L y 10.38 mg/L
10	Resina D301, D314 y D354	Cromo (Cr (VI))	100 mg/L	-	99.40%	152.52mg/L, 120.48mg/L y 156.25mg/L
11	Chelex 100 (C100) y Amberlite IRA-400	Cr (VI), Cu (II) y Pb (II)	100 mg/L	-	99.40%	49.02 mg/L Cr, 58.07 mg/L Cu y 75.19 mg/L Pb
12	IRN77 y SKN1	Cromo (Cr)	100 mg/L	-	95%	35,38mg/L y 46,34 mg/L
13	Amberjet 1200H	Cadmio (Cd)	40 mg/L	0.17 L/min	95%	2 mg/L
14	Amberjet 1200H	Níquel (Ni <sup>+2</sup> ) y Plomo (Pb <sup>+2</sup> )	40000 mg/L	0.005 L/min	98% Ni y 99% Pb	800 mg/L y 400 mg/L
15	Amberlite XAD-4 modificada	Cromo (Cr)	5mg/L	-	98.70%	0.065 mg/L
16	Amberlyst – 15 macro-poroso	Cadmio (Cd)	2.68 mg/L	-	99.95%	1480 mg/L

17	Resinas de intercambio iónico basadas en los polímeros insolubles en agua poli	Cromo (Cr)	1500 mg/L y 1200 mg/L	-	90.20%	147 mg/L y 117 mg/L
18	Resina de Base Débil D-314	Cromo (Cr) y Vanadio (V)	11 mg/L y 106.83 mg/L	-	99.20%	3.89 mg/L y 2.21 mg/L
19	IRA-400	Uranio (U)	0.68 mg/L	-	95%	0.034 mg/L
20	LEWATIT 207 y LP -64	Cobre (Cu)	2 mg/L	-		-
21	M-500 y M-800	Uranio (U)	-	-	-	-
22	AuRIX® 100	Oro (Au)	-	-	-	-
23	AuRIX® 100	Oro (Au)	1.5949 mg/L	1.02 L/min	94.50%	0.82 mg/L
24	Resina estireno divinilbenceno.	Oro (Au)	80 mg/L	1570.800 L/min	98.94%	0,069 mg/L
25	Resina Iónica	Hierro (Fe)	1253.2 mg/L	0.2545 L/min	99.10%	112.788 mg/L

Debido a que, de los 25 estudios considerados, no todos contenían los valores necesarios para poder realizar los cálculos, solo se consideraron a aquellos estudios que contenían todos los resultados (valores iniciales y finales de los metales estudiados, además del caudal de un DAM y porcentaje de remoción de metales pesados). Los cuales fueron once estudios, mostrados en la Tabla 6 (valor de la muestra).

**Tabla 5.**

*Resultados de los valores iniciales y finales de los metales estudiados, caudal y porcentaje de remoción, en base a 25 estudios realizados, como datos secundarios.*

N°	RESINA UTILIZADA	METAL A REMOVER	CONCENTRACIÓN INICIAL DE LOS METALES (mg/L)	CAUDAL (L/min)	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LOS METALES (%)	CONCENTRACIÓN FINAL DE LOS METALES (mg/L)
1	IRA-900 (Aniónica) y Dowex Mac-3 (Catiónica)	Cr (III) -Cr (VI)	100	1367.4	50 - 99	40 - 14.9
2	Lewatit TP-207 y Amberlite IR-120	Ni - Cu - Zn	14.5 - 18 - 21.25	1860	100 - 99.81 - 99.80	0 - 0.0342 - 0.0425
3	Amberlite IRA-400	Zn	10 - 30 - 75	0.004243	90.60	2.82 - 7.05
4	Resina Catiónica	Cu	200	0.086	62.50	75
5	D730, 213, D314 y 312	Cr (VI)	500	0.0104	19.8 - 21.7 - 13.4 - 15.3	401 - 391.5 - 433 - 423.5
6	Purolita A -400 y A-850	Cr (VI)	104	0.023	92.5 - 90.02	7.8 - 10.38
7	Amberjet 1200H	Cd	40	166.67	95	2
8	Amberjet 1200H	Ni - Pb	40000	0.005	98 - 99	800 - 400
9	AuRIX® 100	Au	159.49	1.02	94.50	0.82
10	Resina estireno divinilbenceno.	Au	80	1570.8	98.94	0.069
11	Resina Iónica	Fe	1253.2	0.2545	99.10	112.788

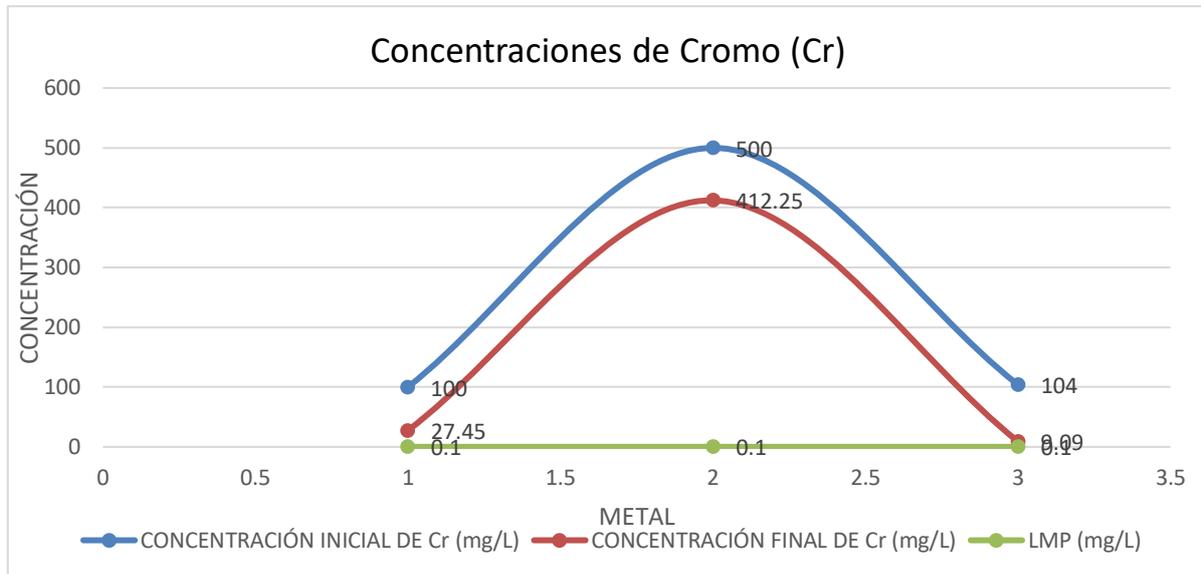
De los resultados presentados en la Tabla 5, se calculó los promedios de acuerdo a los metales que se estudiaron en los once estudios, sintetizando asimismo los valores de los caudales de los drenajes ácidos de mina y porcentaje de remoción de metales pesados, obteniendo la Tabla 6.

**Tabla 6.**

*Metales tratados en los once estudios seleccionados.*

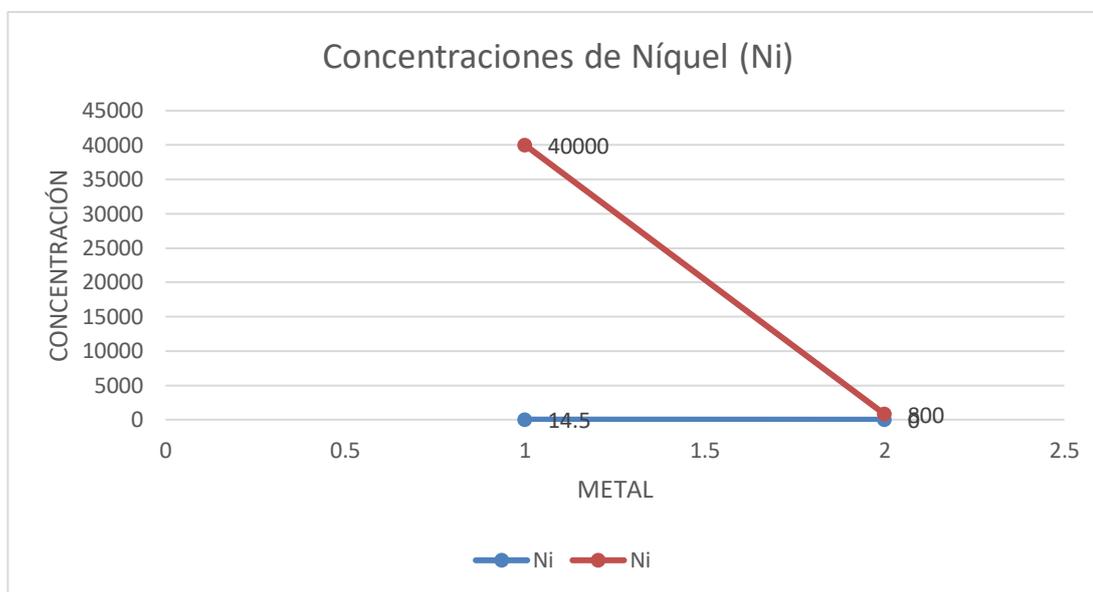
<b>METAL A REMOVER</b>	<b>CONCENTRACIÓN INICIAL DEL METAL (mg/L)</b>	<b>CONCENTRACIÓN FINAL DEL METAL (mg/L)</b>	<b>CAUDAL (L/min)</b>	<b>PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LOS METALES (%)</b>
<b>Cr</b>	234.67	149.6	683.7052	61.10
<b>Ni</b>	20007.25	800	930.0025	99
<b>Cu</b>	109	37.5171	930.043	81.155
<b>Zn</b>	15.625	4.9775	930.0021	95.2
<b>Cd</b>	40	2	166.67	95
<b>Pb</b>	40000	400	0.005	99
<b>Au</b>	40.79745	0.4445	785.91	96.72
<b>Fe</b>	1253.2	112.788	0.2545	99.1

Posteriormente, se exponen las gráficas de las concentraciones iniciales y finales de los metales pesados, investigados en los once estudios considerados como datos secundarios, los cuales fueron comparados con los LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas. Fuente: (MINAM, 2010)



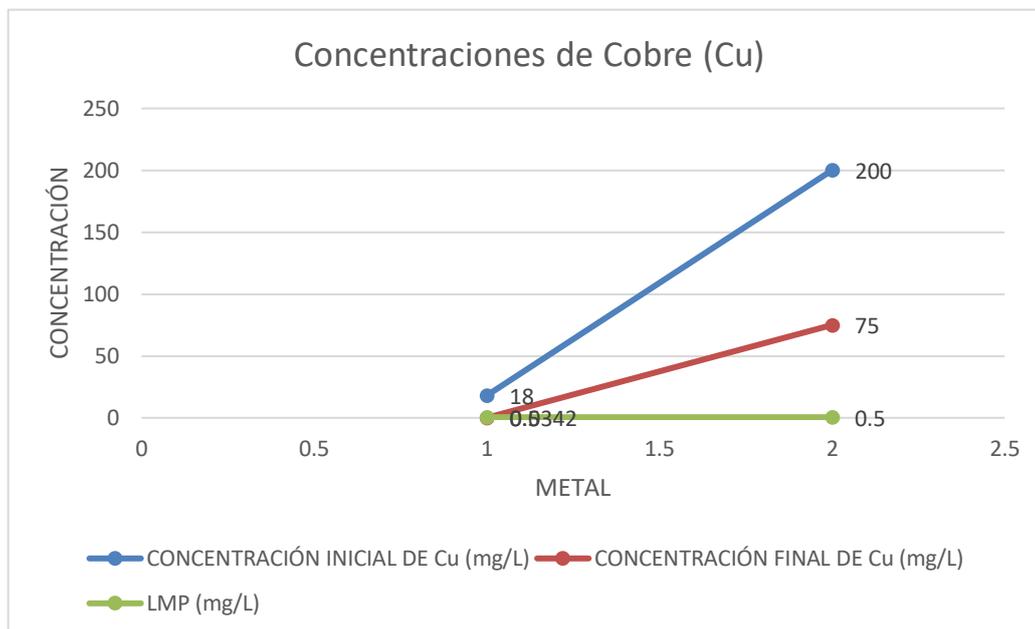
**Figura 6.** Concentración de Cromo, Inicial y final.

De los once estudios considerados como muestra, se obtuvieron 3 valores de cromo, los mismos que fueron comparados con el valor establecido por los LMP (0.1 mg/L), en dicha figura, se observa que en los estudios se encontró a 100, 500 y 104 mg/L de cromo inicial y después haber realizado el tratamiento, estas concentraciones disminuyeron hasta un valor de 27.45, 412.25 y 9.09 mg/L respectivamente; valores que aún no llegan a estar dentro del rango establecido, pero que son más aceptables.



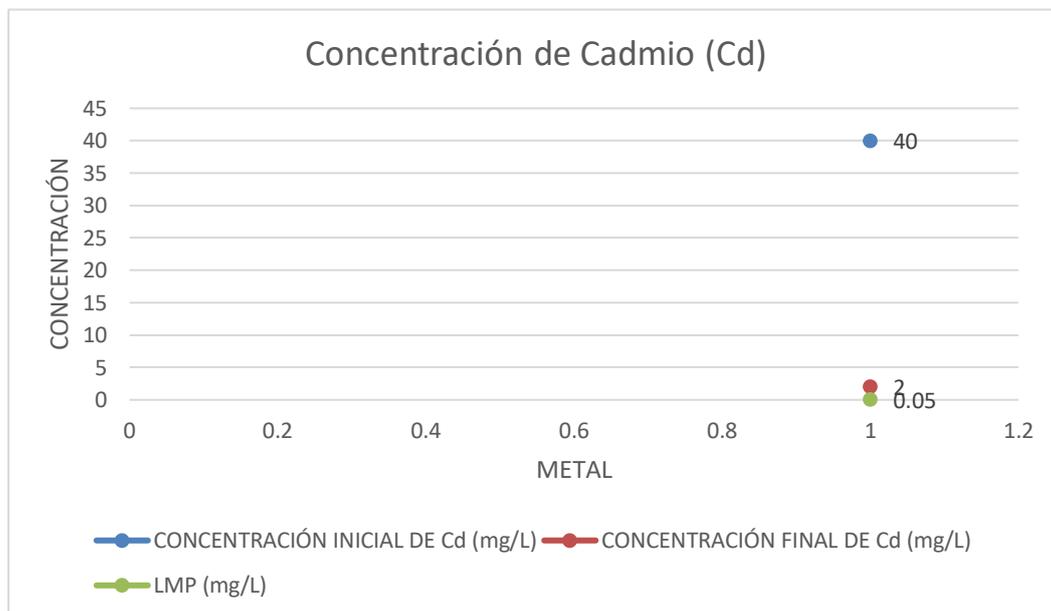
**Figura 7.** Concentración de Níquel, Inicial y final.

Asimismo, de los once estudios considerados como muestra, se obtuvieron 2 valores de níquel, en dicha figura, se observa de color rojo los valores de un estudio y de color azul los valores del segundo estudio siendo, 40000 y 14.5 mg/L las concentraciones iniciales y 800, 14.5 mg/L las concentraciones finales después haber realizado el tratamiento con resinas de intercambio iónico.



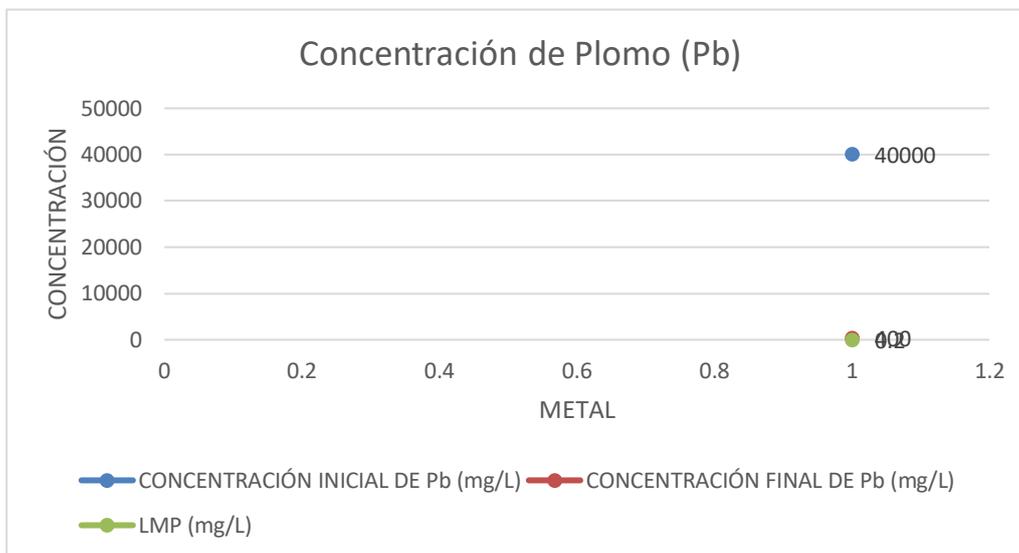
**Figura 8.** Concentración de Cobre, Inicial y final.

Seguidamente, de los once estudios considerados como muestra, se obtuvieron 2 valores de cobre, los mismos que fueron comparados con el valor establecido por los LMP (0.5 mg/L), en dicha figura, se observa que en los estudios se trabajó con 18 y 200 mg/L de cobre inicial y después haber realizado el tratamiento, estas concentraciones disminuyeron hasta un valor de 0.0342 y 75 mg/L respectivamente; uno de ellos se encuentra dentro del rango, pero el otro valor se tiene que seguir tratando hasta llegar a la concentración máxima permisible.



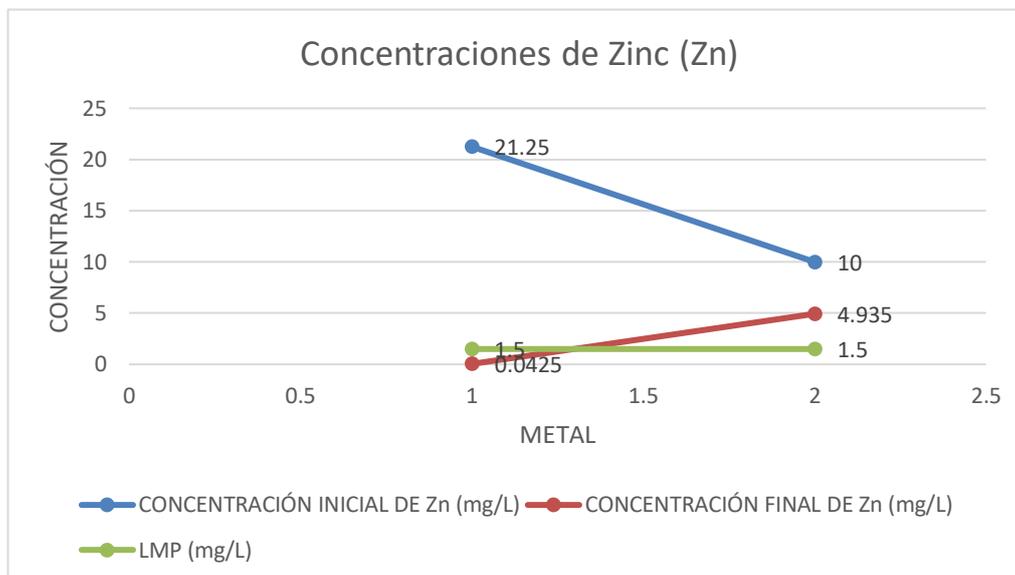
**Figura 9.** Concentración de Cadmio, Inicial y final.

Posteriormente, de los once estudios considerados como muestra, se obtuvo 1 valor de cadmio, el mismo que fue comparado con el valor establecido por los LMP (0.05 mg/L), en dicha figura, se observa que en el estudio se trabajó con 40 mg/L de cadmio inicial y después haber realizado el tratamiento, esta concentración disminuyó hasta un valor de 2 mg/L respectivamente; valor se tiene que seguir tratando hasta llegar a la concentración máxima permisible.



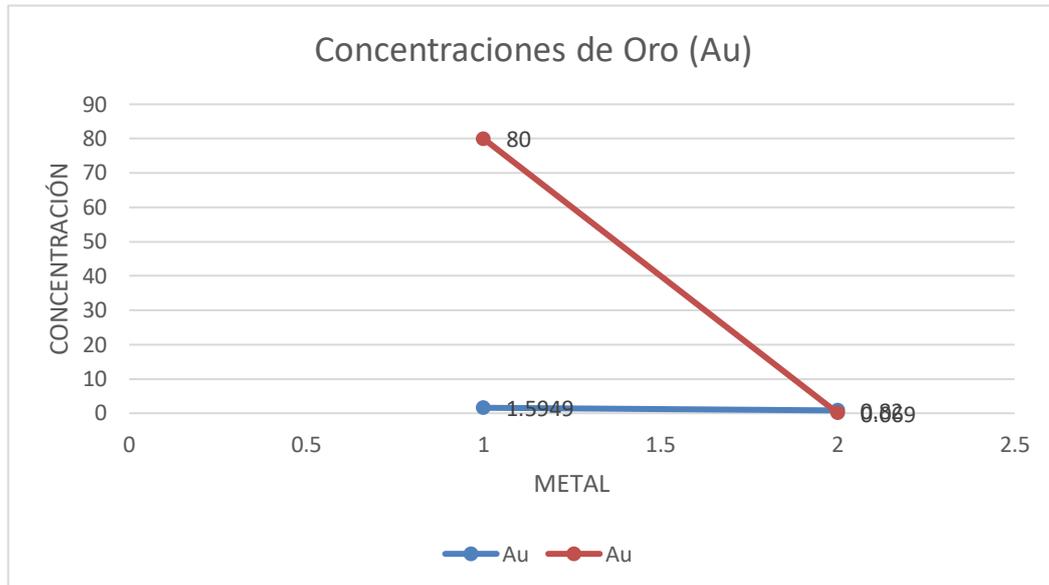
**Figura 10.** Concentración de Plomo, Inicial y final.

Consecutivamente, de los once estudios considerados como muestra, se obtuvo 1 valor de plomo, el mismo que fue comparado con el valor establecido por los LMP (0.2 mg/L), en dicha figura, se observa que en el estudio se trabajó con 40000 mg/L de plomo inicial y después haber realizado el tratamiento, esta concentración disminuyó hasta un valor de 400 mg/L respectivamente; valor se tiene que seguir tratando hasta llegar a la concentración máxima permisible.



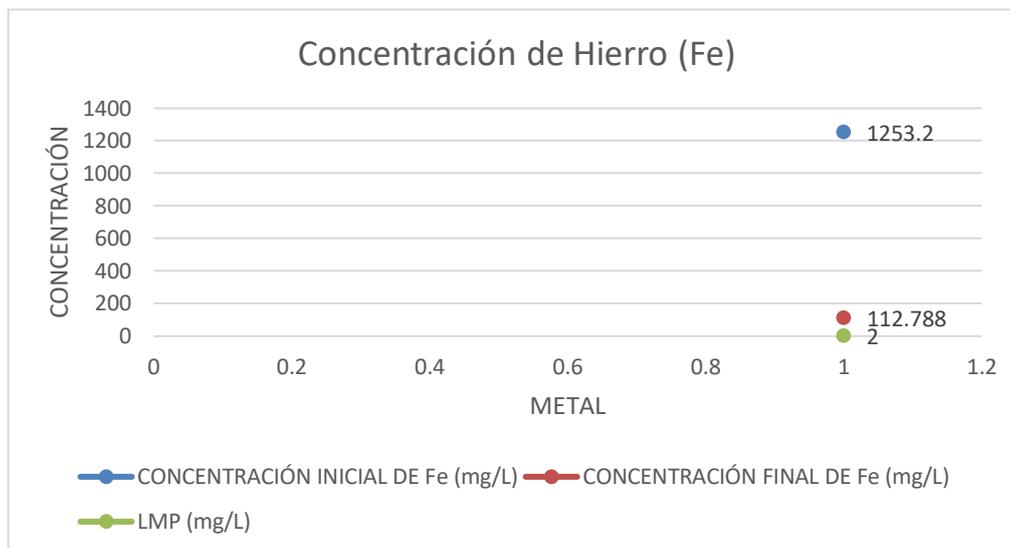
**Figura 11.** Concentración de Zinc, Inicial y final.

Seguidamente, de los once estudios considerados como muestra, se obtuvieron 2 valores de zinc, los mismos que fueron comparados con el valor establecido por los LMP (1.5 mg/L), en dicha figura, se observa que en los estudios se trabajó con 21.25 y 10 mg/L de zinc inicial y después haber realizado el tratamiento, estas concentraciones disminuyeron hasta un valor de 0.0425 y 4.935 mg/L respectivamente; uno de ellos se encuentra dentro del rango, pero el otro valor se tiene que seguir tratando hasta llegar a la concentración máxima permisible.



**Figura 12.** Concentración de Oro, Inicial y final.

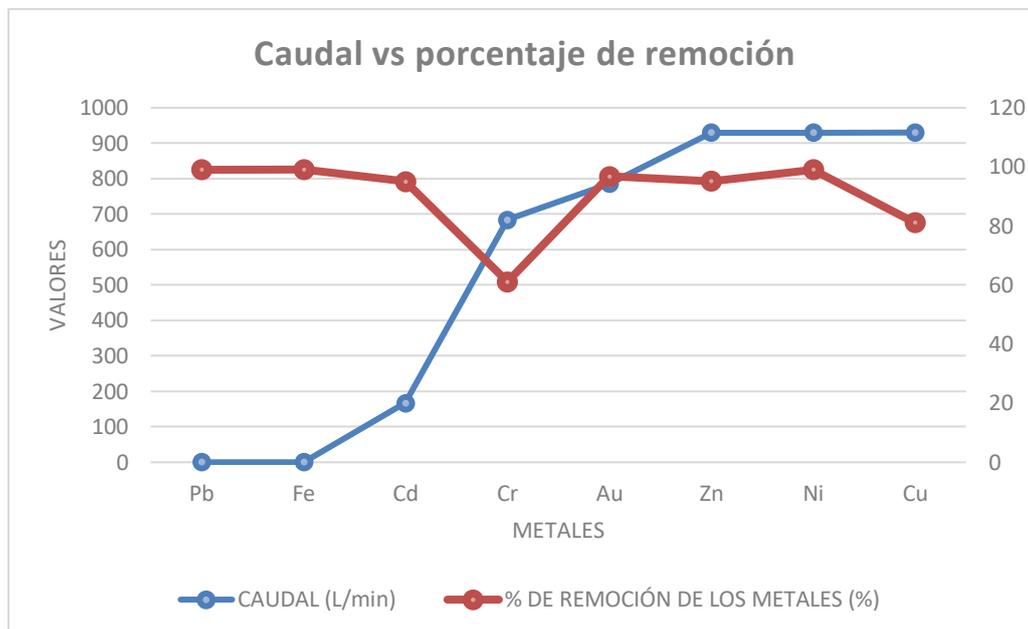
Inmediatamente, de los once estudios considerados como muestra, se obtuvieron 2 valores de oro, en dicha figura, se observa de color rojo los valores de un estudio y de color azul los valores del segundo estudio siendo, 1.5949 y 80 mg/L las concentraciones iniciales y 0.82 y 0.069 mg/L las concentraciones finales después haber realizado el tratamiento con resinas de intercambio iónico.



**Figura 13.** Concentración de Hierro, Inicial y final.

Seguidamente, de los once estudios considerados como muestra, se obtuvo 1 valor de hierro, el mismo que fue comparado con el valor establecido por los LMP (2 mg/L), en dicha figura, se observa que en el estudio se trabajó con 1253.2 mg/L de hierro inicial y después haber realizado el tratamiento, esta concentración disminuyó hasta un valor de 112.788 mg/L respectivamente; valor se tiene que seguir tratando hasta llegar a la concentración máxima permisible.

Últimamente, se presenta la gráfica de las variables estudiadas, “Caudal de un DAM” vs “porcentaje de remoción de metales pesados”, en función de los 8 metales trabajados en los once estudios considerados como muestra.



**Figura 14.** Caudal de un DAM vs porcentaje de remoción de metales pesados.

En función a los metales removidos en los once estudios considerados como muestra, se graficó la relación del caudal sobre el porcentaje de remoción, siendo estos inversamente proporcionales, según la gráfica mostrada

En consecuencia, se realizaron los cálculos de las medidas de tendencia Central; para estos cálculos se consideraron los valores de los 8 metales analizados en los once estudios seleccionados. En primer lugar, se calculan las medidas de tendencia central para la variable “Caudal de un DAM.”

- Media o Promedio (x):

$$\bar{X} = \frac{4426.5923}{8} = 553.3240$$

- Mediana (Me)

$$Me = 734.8076$$

- Rango (R)

$$R = 930.038$$

De igual manera se realizaron los cálculos de las medidas de tendencia central para la variable “porcentaje de remoción de metales pesados.”

- Media o Promedio (x):

$$\bar{X} = \frac{912.2533}{8} = 114.0317$$

- Mediana (Me)

$$Me = 97.86$$

- Rango (R)

$$R = 165.9233$$

Así mismo, se realizaron los cálculos de un muestreo aleatorio simple para variable cuantitativa con población finita, teniendo en cuenta los siguientes datos mostrados en la Tabla 7.

**Tabla 7.**

*Datos a utilizar para el cálculo de la muestra.*

Población	25
Nivel de seguridad o confianza	95%
( $Z_{\alpha}$ )	1.96
Proporción esperada	0.05
Valor de q = 1 - p	0.95
Precisión	5%

En dicha tabla se observan los datos de la población, el nivel de confianza o seguridad, valor de  $Z_{\alpha}$ , que se obtuvo con los datos de nivel de confianza, la proporción esperada y, por último, se observa el margen de precisión que en este caso se consideró del 5% (0.05).

$$n = \frac{25 \cdot 1.96^2 \cdot (0.05) \cdot (0.95)}{0.05 \cdot (25-1) + 1.96^2 \cdot (0.05) \cdot (0.95)} = 3.8016$$

Como consecuencia del muestreo aleatorio simple se obtuvo que la muestra real sería 3.8016 estudios sobre la influencia del caudal de un drenaje ácido de mina sobre la remoción de metales pesados utilizando resinas de intercambio iónico.

Posteriormente, se detalla la siguiente información obtenida de los cálculos realizados en el programa estadístico SPSS, sobre el análisis de varianza, que se presenta a continuación.

**Tabla 8.**

*Análisis de Varianza (ANOVA)*

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
CAUDAL (L/min)	8	4426.5923	553.3240375	179762.1281
Porcentaje de remoción DE LOS METALES (%)	8	726.275	90.784375	178.6472103

ANÁLISIS DE  
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	855771.758	1	855771.7575	9.511704685	0.008083581	4.600109937
Dentro de los grupos	1259585.43	14	89970.38763			
Total	2115357.18	15				

Siguiendo los cálculos del Análisis de varianza del Caudal de un drenaje ácido de mina y del porcentaje de remoción de metales pesados. Se plantearon las siguientes hipótesis:

**Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>):** A medida que aumenta el caudal de un efluente de drenaje ácido de mina, no afecta el incremento de la remoción de metales pesados, empleando Resinas de Intercambio Iónico, en base a once estudios realizados como datos secundarios.

**Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ):** A medida que disminuye el caudal de un efluente de drenaje ácido de mina, afecta el incremento de la remoción de metales pesados, empleando Resinas de Intercambio Iónico, en base a once estudios realizados como datos secundarios.

Teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si  $F \neq 1$ , la hipótesis nula se rechaza.
- Si  $F = 1$ , la hipótesis Alternativa se rechaza.

Y según los resultados presentados en el ANOVA, siendo el valor de  $F = 9.51 \neq 1$ , la hipótesis nula ( $H_0$ ) se rechaza, aceptándose la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos por los autores, podemos partir de los datos que se presentaron en la Tabla 4., en donde se concretaron los 25 estudios realizados por varios autores sobre la aplicación de diferentes resinas de intercambio iónico para la remoción de metales pesados, la mayoría de ellos, no comparten datos sobre el caudal con el que fueron tratados o las concentraciones tanto iniciales como finales de los metales con los que se trabajaron. Asimismo, la totalidad de ellos no indican los valores de los porcentajes de remoción obtenidos durante su tratamiento. Por ello, las obtenciones de algunas concentraciones y porcentajes de remoción, fueron calculados a partir de los valores que indicaban los estudios, con los cuales se logró calcular algunos datos para poder tener una comparación más asertiva sobre el uso de resinas de intercambio iónico para el tratamiento y remoción de diferentes metales.

Debido a la falta de acceso a los diferentes estudios realizados, tanto a nivel local, nacional e internacional, solo se logró considerar a once estudios como parte de la muestra y desarrollo del presente proyecto, de las cuales se calcularon un promedio de los valores de concentración inicial y final, caudal y porcentaje de remoción, de acuerdo a los metales analizados, obteniendo a 8 metales tratados en los once estudios, los cuales fueron Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Au y Fe. (Ver Tabla 6)

Asimismo, partiendo de la Tabla 6, se logró realizar las gráficas de las concentraciones iniciales y finales de los diferentes metales estudiados, los mismos que

al ser comparados con los LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas. Fuente: (MINAM, 2010), se pudo observar que están fuera del rango permitido para la descarga en cualquier momento. Por otro lado, en la *Figura 11*, se observa la concentración inicial de Pb, siendo esta la más elevada con 40000 mg/L y el valor del LMP, nos indica que no debe sobrepasar los 0.2 mg/L, después de haber realizado el tratamiento este valor llega a alcanzar los 149.6 mg/L, el cual aún no se encuentra dentro del rango permitido, pero sí, se observa la remoción notable del metal.

Por otro lado, la concentración inicial de Ni, en la *Figura 7*, es de 20007.25 mg/L y en los LMP no está establecido el valor o la concentración máxima de este metal, por lo que su valor no se incluye, ni dentro, ni fuera del rango permisible. En seguida, en la *figura 13*, se graficó la concentración inicial de Fe = 1253.2 mg/L, la cual debería ser 2 mg/L, según el LMP, pero la concentración final después del tratamiento (112.788mg/L), indica que, sí, se remueve un gran porcentaje del metal; Del mismo modo en la *Figura 6*, la concentración de Cr inicial es de 243.67 y la final es de 149.6, pero los LMP nos establecen que no debe sobrepasar los 0.1 mg/L, a pesar de existir un porcentaje de remoción, este valor, aun no se encuentra dentro del rango permitido. Asimismo, se observa la *Figura 8*, concentración inicial y final de Cu = 109 y 37.5171 mg/L, la cual, debería encontrarse dentro de 0.5 mg/L, a pesar de no estar en el valor indicado por el LMP, este metal ha disminuido su concentración, pero no en un 100 % de eficacia. Por otra parte, la concentración aceptable del Au, no se encuentra dentro de los LMP, pero sus concentraciones también han disminuido notoriamente, pasando de 40.79745 a 0.4445 mg/L. (*Figura 12*) A diferencia del Au, el valor permitido del Cd si se encuentra

en los LMP y debe de ser 0.05 mg/L, pero en este caso se encuentra una concentración inicial de 40 mg/L, la misma que ha disminuido hasta un valor de 2 mg/L (Figura 10).

Finalmente, el metal que se encontró en menor concentración fue el Zn, con 15.625 mg/L y lográndose eliminar hasta llegar a una concentración de 4.9775 mg/L (Figura 9).

La variación de los porcentajes de remoción de los metales, se debe principalmente al caudal con el que fue tratado cada estudio. En consecuencia, se observa la *Figura 14*, en la cual se graficó una curva en relación a las variables estudiadas “caudal de un drenaje ácido de mina” vs “porcentaje de remoción de metales pesados,” en el que se observó la relación inversamente proporcional entre las variables, demostrando que, mientras menor sea el caudal del efluente, se obtendrá un mayor porcentaje de remoción de metales pesados.

Finalmente, el análisis de varianza (ANOVA), nos sirvió para probar la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son o no, iguales. Obteniendo como resultado que el valor estadístico de prueba,  $F= 9.511704685$ , es significativamente distinto de 1 para cualquier nivel de significación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias y se acepta la hipótesis alterna, comprobando que las variables son inversamente proporcionales entre sí.

## 4.2. Conclusiones

- Se describió la influencia del caudal de un drenaje ácido de mina sobre el porcentaje de remoción de metales pesados, utilizando resinas de intercambio iónico, siendo este, significativo; debido a que mientras el caudal de un drenaje ácido de mina es menor, el porcentaje de remoción de metales pesados es mayor, gracias al tiempo de contacto entre la resina y el drenaje, esto fue comprobado mediante el análisis de varianza (ANOVA), realizado en el programa software estadístico SPSS, en el que se comprueba que la relación entre las variables es inversamente proporcional entre sí ya que, el estadístico de prueba (F) es igual a  $9.51 \neq 1$  (Si  $F \neq 1$ , la hipótesis nula se rechaza).
- Se estimó el contenido de metales pesados presente en el drenaje ácido de mina antes del tratamiento con resinas de intercambio iónico, en base a once estudios realizados como datos secundarios, obteniendo los siguientes resultados 40000 mg/L Pb, 20007.25 mg/L Ni, 1253.2 mg/L Fe, 234.67 mg/L Cr, 109 mg/L Cu, 40.79745 mg/L Au, 40 mg/L Cd y 15.625 mg/L Zn.
- Se sistematizó la información de los caudales de los drenajes ácidos de mina, obteniendo 8 metales estudiados en los once estudios realizados como datos secundarios (ver Tabla 6), además, se identificó que el caudal en el que existe mayor porcentaje de remoción de metales pesados es 0.005 L/min, removiendo la mayor concentración de Fe en un 99%.

- Se estimó el porcentaje de remoción de metales pesados de los drenajes ácidos de mina después de haber realizado el tratamiento con resinas de Intercambio Iónico, en base a los 11 estudios realizados como datos secundarios, obteniendo 99% Pb y Ni, 99.1% Fe, 61.10% Cr, 81.155%Cu, 96% Au, 95% Cd y 95.2% Zn.

## REFERENCIAS

- Aduvire O., (2006). *Drenaje acido de mina generación y tratamiento*. Recuperado de [http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258\\_0000001.pdf](http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf)
- Amado D & Gutierrez Z., (2006). *Evaluación Técnica para la Recuperación y Reutilización de las Aguas Residuales Industriales de la Empresa Fantaxías LTDA po Resinas de Intercambio Iónico*. Bucaramanga. Recuperado de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Evaluacion%20Tecnica%20Para%20La%20Recuperacion%20Y%20Reutilizacion%20De%20Las%20Aguas%20Residuales%20Industriales%20De%20La%20Empresa%20Fantaxias%20Ltda.%20Por%20Resinas%20De%20Intercambio%20Ionico..pdf>
- Andia B., (2015). *Recuperación de Oro a partir de lodos de relave Cianurados, utilizando la Resina Estireno Divinilbenceno*. Arequipa - Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3269/QUanhubn.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aquasalud T., (2011, 2 de mayo). *Aquasalud Tractaments*. Recuperado de <http://www.desmineralizadores.com/tipos.html>
- Bai Y & Bartkiewicz B., (2009, 23 de junio). *Polish Journal of Environmental Studies*. Recuperado de <file:///C:/Users/USER/Downloads/Removal%20of%20Cadmium%20from.pdf>

- Balan C., Volf D., & Bilba D., (2013). *Eliminación del Cromo (VI) de los Aguaces soluciones por anión base Purolita - Resinas de intercambio con estructura de gel*. Recuperado de CI & CEQ: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1451-9372/2013/1451-93721200095B.pdf>
- Bembibre C., (2012). *Definición ABC*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/remocion.php>
- Bhatti A., Memon S., Memon N., Bhatti A., & Solangi I., (2013). *ScienceDirect*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535213000336>
- Bueno J., Sastre H., y Lavin et, al. (1997). *Contaminación e Ingeniería Ambiental: Contaminación de aguas*. Editorial. FICYT, Oviedo.
- Carbotecnia., (2018, 20 de mayo). *Intercambio Iónico*. Recuperado de <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/intercambio-ionico/>
- Carpio H., Villavicencio B., Cruz M., Leyva A., & Fajardo S., (2015). *Remoción de Metales pesados en soluciones Sintéticas empleando Zeolita Natural Cubana*. Habana, Cuba. Recuperado de [http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2015\\_Carpio%20GEO12-P7.pdf](http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2015_Carpio%20GEO12-P7.pdf)
- Chaparro L., (2015). *Drenaje Ácido de Mina Formación y Manejo*. Revista ESAICA, 1(1), 53-57. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/296639939\\_Drenajes\\_acidos\\_de\\_mina\\_formation\\_y\\_manejo/fulltext/56eb7fe008ae9dcdd82acbc5/296639939\\_Drenajes\\_acidos\\_de\\_mina\\_formation\\_y\\_manejo.pdf](https://www.researchgate.net/publication/296639939_Drenajes_acidos_de_mina_formation_y_manejo/fulltext/56eb7fe008ae9dcdd82acbc5/296639939_Drenajes_acidos_de_mina_formation_y_manejo.pdf)

Coronel A., (2018, 12 de noviembre). *Resina de intercambio Iónico*. EcuRed. Recuperado de: [https://www.ecured.cu/Resina\\_de\\_Intercambio\\_I%C3%B3nico](https://www.ecured.cu/Resina_de_Intercambio_I%C3%B3nico)

Díaz A., Arias J., Gelves G., Maldonado A., Laverde D., Pedraza J., & Escalante H., (2003). Biosorción de Fe, Al y Mn de drenajes ácidos de mina de carbón empleando algas marinas *Sargassum* sp. en procesos continuos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 34 - 38. Recuperado de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Biosorci%C3%B3n%20de%20Fe,%20Al%20y%20Mn%20de%20drenajes%20%C3%A1cidos%20de%20mina%20de%20carb%C3%B3n%20empleando%20algas%20marinas%20sargassum%20sp.%20en%20procesos%20continuos.pdf>

Estupiñan A., Sarmiento D., & Belalcázar de Galvis A., (1998). *Remoción de Cobre y Niquel por Intercambio Catiónico*. *Revista Colombiana*, 31-39. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/16823>

Fan Y., Wang X., & Wang M., (2013, 29 de marzo). *ScienceDirect*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304386X13000753?via%3Dihub>

Gaikwad R., Sapkal V., & Sapkal R., (2010, 01 de noviembre). *ResearchGate*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/289673360\\_INVESTIGATION\\_INTO\\_ION\\_EXCHANGE\\_AND\\_ADSORPTION\\_METHODS\\_FOR\\_REMOVING\\_HEAVY\\_METALS\\_FROM\\_AQUEOUS\\_SOLUTIONS](https://www.researchgate.net/publication/289673360_INVESTIGATION_INTO_ION_EXCHANGE_AND_ADSORPTION_METHODS_FOR_REMOVING_HEAVY_METALS_FROM_AQUEOUS_SOLUTIONS)

Galán J., (1987). *Sistema de unidades Físicas*. Barceona: Ed Reverte, S. A.

- Gebremedhin T., (2002). *Remoción de metales pesados del agua por mineral zeolítico químicamente modificado Mercurio como un caso particular*. Toluca-México. Recuperado de [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/33/037/33037947.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/037/33037947.pdf)
- Guerra A., (1986). *Intercambio Iónico*. Barcelona: Editorial Reverte. S. A.
- Guzman H., (2010). *Remoción de un complejocianurado de zinc de una solución Acuosa utilizando una Resina Aniónica*. Sonora, México. Recuperado de <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/handle/unison/420/guzmangrijalvahectormanuelm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Layme M., (2015). *Estudio de la investigación para la adsorción de oro usando resina de intercambio iónico en la planta del Consorcio Minero Horizonte S.A*. Arequipa - Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/80/B2-M-18090.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- León M., & Abreu D., (2015). *Determinación de Metales Pesados en cuerpos de Agua utilizando Resinas de Intercambio Iónico como medio de concentración*. Maracaibo-Venezuela. Recuperado de <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2101-15-08166.pdf>
- Li Lin S., (2013). *Medición del Potencial de Generación de Agua Ácida para un Relave en la Zona Central del Perú y sus Necesidades de Neutralización*. Recuperado de: [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4923/LI\\_SERGIO\\_MEDICION\\_GENERACION\\_AGUA\\_RELAVE\\_ZONA\\_CENTRAL\\_PERU\\_NECESIDADES\\_NEUTRALIZACION.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4923/LI_SERGIO_MEDICION_GENERACION_AGUA_RELAVE_ZONA_CENTRAL_PERU_NECESIDADES_NEUTRALIZACION.pdf?sequence=1)

Linares J., (2018). *Caracterización fisicoquímica y de macro invertebrados bentónicos de los ríos Perlamayo y Tacamache, Distrito de Chugur Cajamarca*. Cajamarca.

Mallqui J., (2011). *Intercambio iónico con resinas para recuperación de Uranio*. Alicia.

Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/11077>

Martinez R., Certucha M., Zavala P., Gómez A., & Almazán L., (2017). *Remoción de Hierro y Manganeso de un Efluente Contaminado utilizando una Resina Quelante*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, pág: 55 - 63. Recuperado de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.e-sp02.05/46687>

MINAM., (2010, 23 de agosto). *gob.pe - Normas Legales - Ministerio del Ambiente*.

Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/317458-010-2010-minam>

Montgomery., (2004). *Diseño y análisis de experimentos, segunda edición*. México D.F:

Limusa S.A.

Morales M., (2006). *Drenaje Ácido de la Minería*. Recuperado de

[https://miningwatch.ca/sites/default/files/amd\\_esp.pdf](https://miningwatch.ca/sites/default/files/amd_esp.pdf)

Moreira E., Pereira R., Silva da Franca R., Novaes L., & Silveira R., (2013). *Enciclopedia*

*Biosfera*.

Recuperado

de

<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/aplicacao%20de%20resinas.pdf>

- Olguín, E., Gónzales, R., Sánchez, G., Zamora, J., & Owen, T. (2010). *Contaminación de Ríos Urbanos: El Caso de la Subcuenca del Río Sordo en Xalapa, Veracruz, México*. Latinoam Biotecnol Amb Algal, 179.
- Olivera A., (2009). *Concentración de uranio por resinas de intercambio iónico en lixiviados de mineral Macusani-Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Ortega K., (2009). *Recuperación de oro desde soluciones cianuradas por Intercambio Iónico en la compañía minera aurífera Santa Rosa S.A.* Lima - Perú. Recuperado de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36901436/ortega\\_ak.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DUNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DE\\_INGENIERIA\\_FACUL.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSBJ6BAK4GVJRW%2F20200527%2Fus-](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36901436/ortega_ak.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DUNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_FACUL.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSBJ6BAK4GVJRW%2F20200527%2Fus-)
- Pedraza S., Martín C., & Alvarado G., (2017). *Intercambio Iónico para la eliminación de contaminantes metálicos*. Jóvenes en la ciencia, pág: 591-595.
- Pincay J., 2013. “*Determinación de la calidad de aguas utilizadas en el riego del cacao y su relación con la fertilidad del suelo en varios Agroecosistemas de Manabí*”. Manabí – Ecuador. pág: 7, 9 - 11.
- Pinillos J., (2013). *Remoción de Metales Pesados de los Efluentes de la Mina Marcapunta Oeste*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. Obtenido de: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3796/1/pinillos\\_tj.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3796/1/pinillos_tj.pdf)
- Pinto M., (2017). *Uso de resinas de intercambio iónico para la remoción de iones cobre en efluente de procesi de detoxificación de cianuro*. Alicia. Recuperado de

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_a89d8cb02c6d3125ad95d3ab63106797](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_a89d8cb02c6d3125ad95d3ab63106797)

Química., (2010). *U-cursos*. Obtenido de [file:///C:/Users/USER/Downloads/Guia\\_TP\\_2\\_Quimica\\_II\\_2010.pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Guia_TP_2_Quimica_II_2010.pdf)

RAE., (2020). *Diccionario del español jurídico*. Obtenido de <https://dej.rae.es/lema/caudal>

Razzaq R., Hussain K., Fahad M., Naeem A., & A Sherazi T., (2020). *IOPScience*. Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1591/ab6e7a/pdf>

Rengaraj S., Yeon K., & Moon S., (2001). *Europe PMC - Journal of Hazardous Materials*. Recuperado de <https://europepmc.org/article/med/11566415>

Rivas B., Morales D., Kabay N., & Bryjak M. (2018). *Scielo*. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-97072018000204012#aff1](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-97072018000204012#aff1)

Sanmiguel A., (2013). *Tratamiento de aguas residuales de minería de carbón mediante Resinas de Intercambio Iónico*. Bucaramanga. Recuperado de <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/3059/1/149543.pdf>

Sannasi P., & Salmijah S., (2011, 10 de marzo). *ResearchGate - Revista Oriental de Química*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/scientific-contributions/12113689\\_S\\_Salmijah](https://www.researchgate.net/scientific-contributions/12113689_S_Salmijah)

Saucedo G., & Torres A., (2017, 09 de setiembre). *Repositorio UPNBOX*. Recuperado de Repositorio UPNBOX: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11325>

Shi T., Wang Z., Liu Y., Jia S., & Changming D. (2009). *PubMed*. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18513867/>

Xiao K., Han G., Li J., Dan Z., Xu F., Jiang L., & Duan N. (2015). *Sc Advances*. Recuperado de <https://pubs.rsc.org/ko/content/getauthorversionpdf/C5RA22950B>

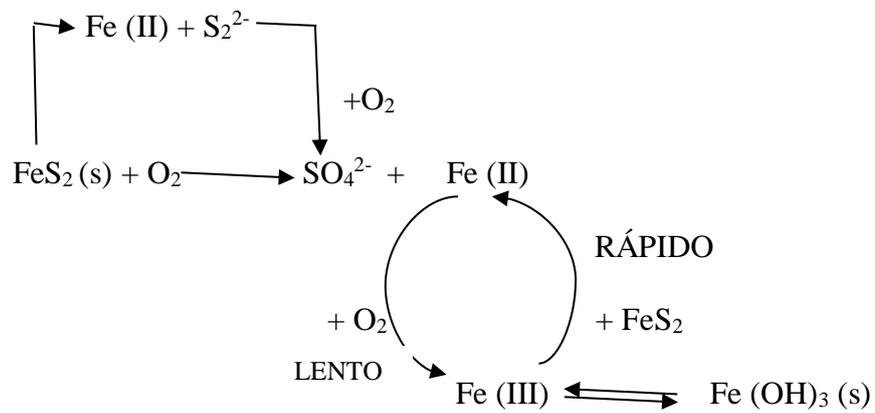
Zewail T., & Yousef N. (2015, 07 de enero). *Estudio cinético de la eliminación de iones de metales pesados por intercambio iónico en lecho cónico discontinuo de aire*. Recuperado de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016814001227>

## ANEXOS

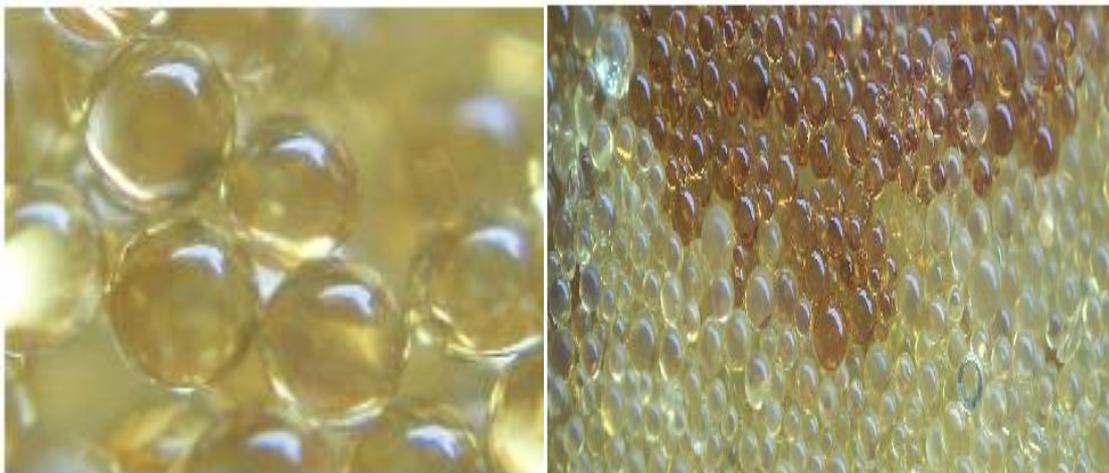
### ANEXO 01: Drenajes Ácidos de Mina.



### ANEXO 02: Proceso de formación de aguas ácidas de mina.



**ANEXO 03:** Resinas de Intercambio Iónico Catiónicas y Aniónicas.



**ANEXO 04:** Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio Anual
pH	mg/L	6-9	6-9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente (*)	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

**ANEXO 05:** Procesamiento de la Información, búsqueda bibliográfica de los estudios incluidos.

