

Influencia del amperaje y tiempo de residencia sobre la remoción de metales pesados en aguas ácidas por electrocoagulación

Influence of amperage and residence time on the removal of heavy metals in acid waters by electrocoagulation

Miriam Nataly Malca Yopla¹, Enmy Eliany Gonzales Paredes², Gary Christiam Farfán Chilicaus³, Gladys Sandi Licapa Redolfo⁴.

Resumen

La investigación tiene por objetivo determinar la influencia del amperaje y tiempo de residencia sobre la remoción de metales pesados en el tratamiento de aguas ácidas por electrocoagulación, proceso electroquímico que desestabiliza las cargas contaminantes por medio de electrodos, lo que genera un intercambio iónico. Con el tiempo las partículas suspendidas propician una zona de sedimentación y flotación debido a la densidad de los metales, dando como resultado la remoción de los metales presentes y agua de mejor calidad. Para comprobar este procedimiento se tomaron 80 litros de muestra, de aguas ácidas, de los Pad's 6 y 7 con un pH entre 2.00 y 2.12; se trabajó con un reactor de 10 amperios, 2 electrodos, cátodo y ánodo, en un tiempo promedio de 3h con 03 min. Se obtuvieron resultados entre 70- 100% de remoción de metales presentes y un agua de Tipo III, debido a las variaciones del amperaje, cantidad de electrodos y tiempo de residencia; se observaron cambios fisicoquímicos, obteniéndose un pH entre 5.15 y 6.00.

Palabras clave: Electrocoagulación, electrodo, remoción de metales, agua ácida.

Abstract

The research aims to determine the influence of amperage and residence time on the removal of heavy metals in the treatment of acid waters by electrocoagulation. Electrocoagulation is an electrochemical process that aims to destabilize contaminating charges by means of electrodes, which generates an ion exchange. As time passes the suspended particles generate a zone of sedimentation and flotation, due to the densities of the metals, resulting in the removal of the metals present and a better quality of water. To verify this procedure, 80 liters of acid water sample were taken from Pad's 6 and 7 with a pH between 2.00 and 2.12. A 10 Amp, 2 electrode, cathode and anode reactor was worked at an average time of 3 hs. with 03 min. Results showed a 70-100% removal of metals present and a Type III water, due to variations in amperage, number of electrodes and residence time; physicochemical changes were observed, obtaining a pH between 5.15 and 6.00.

Keywords: Electrocoagulation, electrode, metal removal, acidic water.

1 Ingeniero de Minas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte Sede Cajamarca. Dirección: Jr. Los Cedros N° 257 Cajamarca-Perú. E-mail: Miriam.nmy@gmail.com

2 Ingeniero de Minas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte Sede Cajamarca. Dirección: Jr. Cinco Esquinas N°740 Cajamarca-Perú. E-mail: gonzalesparedes17@gmail.com

3 Maestro en Ingeniería Ambiental, Ingeniero Metalurgista de la Universidad Nacional de Trujillo. Dirección: Residencial Praderas Park Bloque E-804 Cajamarca-Perú. E-mail: farfangary-81@hotmail.com

4 Maestro en Ciencias, Ingeniero Químico de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho. Dirección: Residencial Praderas Park Bloque E-804 Cajamarca-Perú. E-mail: lgladys6@hotmail.com

Recibido: 03 de noviembre del 2019

Aprobado: 12 de diciembre del 2019



Introducción

Los diversos métodos de extracción y recuperación de minerales son los que generan aguas ácidas, estas se originan al entrar en contacto un sulfuro (pirita), agua y oxígeno, presentando altos contenidos en sulfatos y metales disueltos. Es por ello que se busca la aplicación de tecnologías limpias como la Electrocoagulación, que es un proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo.

El proceso de Electrocoagulación es afectado por diferentes factores. Entre los más importantes se encuentran la naturaleza y concentración de los contaminantes, el pH del agua ácida y la conductividad. Estos factores determinan y controlan las reacciones ocurridas en el sistema y la formación del coagulante., el tiempo de reacción que es la duración del proceso, esta variable es proporcional a la cantidad de iones de hierro disueltos en el agua. Cuando mayor es el tiempo de duración del proceso, mayor es la cantidad de hierro disuelta en el sistema.

En esta investigación presentamos un piloto del reactor tipo Bach, aplicando la Electrocoagulación en el tratamiento de aguas ácidas, la que tiene como finalidad demostrar que el amperaje y tiempo de residencia influyen significativamente sobre el porcentaje de remoción de metales pesados en un 99%, obteniendo ventajas tales como un agua de tipo III, Número de electrodos y costos de la tecnología, etc.

Materiales y métodos

Para los fines de esta investigación se procedió a través de un diseño experimental aplicada, puesto que, para desarrollar el tema de electrocoagulación, en minería, se utilizó un diagrama de flujo. En este sentido, se hizo un análisis entre las variables ya que se obtuvo información de fuentes secundarias que fueron debidamente evaluadas y contrastadas.

Se realizó un muestreo por conveniencia no probabilístico que consistió en tomar 80 litros de muestra, de aguas ácidas, de los Pad's 6 y 7 y aplicar la tecnología de la electrocoagulación. Se obtuvo como resultado una Remoción de metales presentes entre 70- 100% y un agua de Tipo III con un pH entre 5.15 y 6.00m esto debido a las variaciones del amperaje, cantidad de electrodos y tiempo de residencia., Ver figura n°01.

Materiales en Gabinete:

- Computadoras.
- Microsoft Excel, Word, Power Point.
- AutoCAD 2014.
- Visio 2013.
- Libreta de Campo.
- Memoria USB.
- Fichas de Registro.
- Cámara Fotográfica.
- Impresoras.
- Lapiceros.
- Calculadora.
- Juego de reglas.
- Marcadores.
- Cúter.

Materiales en Campo:

- Aguas ácidas del Pad 6 y 7.
- Celda electrolítica.
- Frascos de polietileno.
- Pizetas o matraz.
- Guantes descartables.
- Galoneras de 20 Litros.
- Tanque de 80 Litros.
- Cámara Fotográfica.
- Libreta de Campo.
- Lapiceros.
- Cúter.
- Epp (casco de seguridad, lentes, guantes anti cortes y descartables, zapatos de seguridad, chalecos, mandil para laboratorio.
- Electrodo de (Hierro y Aluminio comercial).
- Cinta aislante de color rojo, negro y verde.
- Pestañas de electrodos, conductor eléctrico de cobre.
- Pinzas para corriente.
- Detergente.
- Bandejas N° 6, 10, 12.
- Buffers de 2, 4.01 y 7 de pH.
- Buffers para conductividad.
- Jarra.

- Pipetas.
 - Vasos precipitados.
 - Mortero.
 - Probeta de 500 ml.
 - Hornos.
 - Moladora.
 - Bolsa de Aluminio con cierre Zip.
 - Matraz cónico para la purificación del agua.
 - Rafia.
 - Purificador.
 - Vasos precipitados de 500, 1000 y 2000 ml.
 - Limpiador ultrasónico.
 - Ácido Nítrico.
 - Campana extractora.
 - Solución de Ag/AgCl, KCl para la titulación.
 - Solución de Pb.
 - Micropipeta.
 - Lijas.
 - Tapas para tubos de ensayo.
 - Pegamento para la celda.
 - Filtros.
 - Rejillas para tubos de ensayo.
 - Cuchara para mover las muestras.
 - Agua destilada.
 - Papel toalla.
 - Pizarra acrílica.
 - Plumones.
 - Balde.
 - Jeringas de 20 ml, 15 ml.
 - Probetas.
- Instrumentos:
- Fuente de poder de 10 A.
 - PH-metro.
 - Termómetro Digital.
 - Cronómetro.
 - Flexómetro.
 - Balanza electrónica y analítica.
 - Pinza amperimétrica.
 - Multiparámetro.
 - Turbidímetro.
 - Oxímetro.

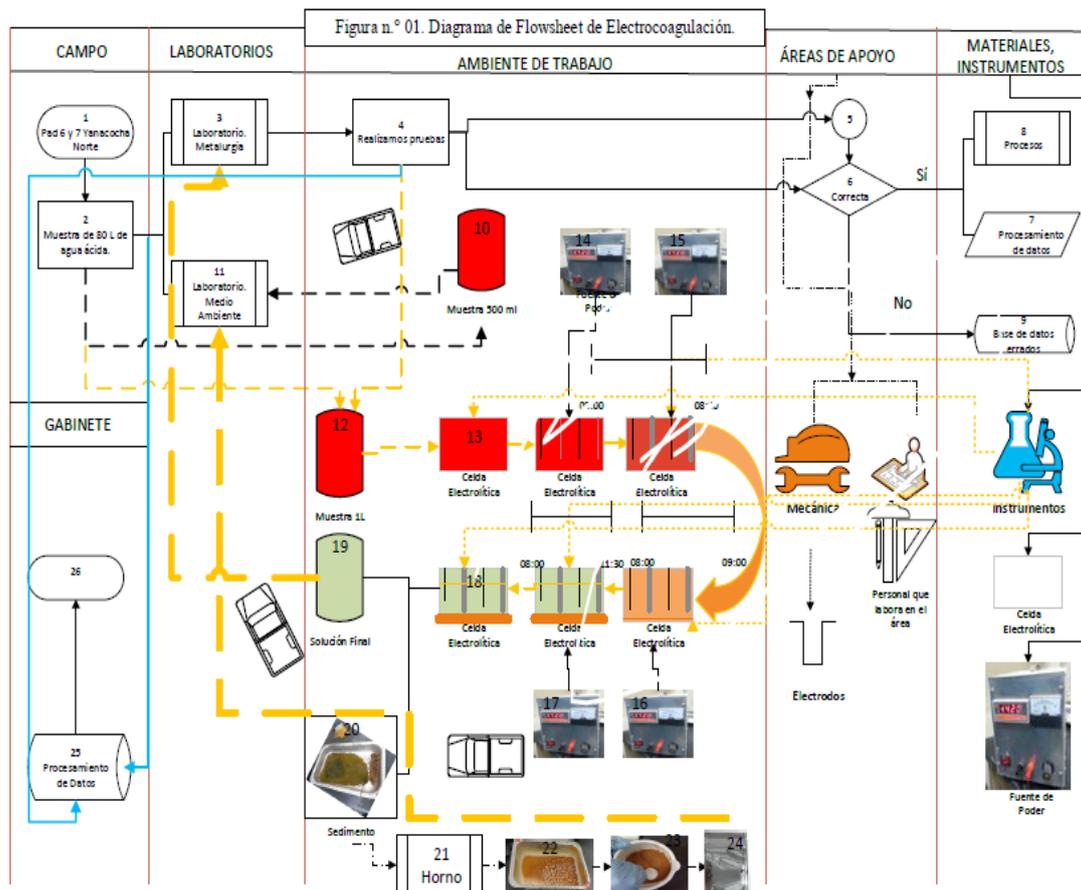


Figura 1. Diagrama de Flowsheet de Electrocoagulación

Resultados y Discusión

Tabla 1. *Características del diseño de la Celda de Electrocoagulación.*

Celda Electrolytica			
Altura	Largo	Profundidad	Ranuras para la Separación de Electrodo
13.7 cm	20.75 cm	8.5 cm	1.95 cm
Diseño de Electrodo			
Altura	Largo	Espesor	
12 cm	5.3 cm	0.3 cm	
Fuente de Poder			
Rango del Amperaje		Rango del Voltaje	
0 - 10 A		0 - 46 V	

LABORATORIO DE MEDIO AMBIENTE Y QA/QC

Informe de Ensayo Total 1812041729

Datos del Cliente

Area o Departamento: Placamiento de Aguas
 Nombre del Solicitante: Henriquez Gallegos Catherine Mariabella
 Anexo: Catherine.Henriquez @Newmont.com
 Email del solicitante: Catherine.Henriquez @Newmont.com

Información Sobre la Recepción:

Nº de muestras: 8
 Fecha Hora de recepción: 13/11/2018 14:46
 Muestras entregadas por: Delgado Lozano José
 Condición de las muestras: Buen Estado
 Procedimiento de muestreo: No Aplica
 Fecha de emisión de resultados: 13/11/2018 18:41
 Observaciones: TS-YN-6/7 Reportar: Julio Luycho

Ensayo	Método
Mercurio Totals	ILMA-06 - "Análisis de Mercurio". Método modificado de APHA 3112B Col-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method 2012, 22th ed. Método Espectrométrico de Absorción Atómica con Vapor Frío.
Metales Totales	ILMA-12 - "Análisis de Metales Totales y Disueltos por ICP-MS". Método modificado de EPA 200.8 Determination of Trace elements in Water and Waste by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry, rev. 5.4, 1994 y en EPA 3015A Microwave assisted acid digestion of aqueous sample and extracts rev. 1, 2007. (Determinación de Elementos traza en agua y aguas residuales por Espectrometría de Masa-Plasma Inductivamente Acoplado).

Código del Laboratorio MMAA	Código Segun Cliente	Fecha de Muestreo	Al Tot. mg/L	Sb Tot. mg/L	As Tot. mg/L	Ba Tot. mg/L	Be Tot. mg/L	Cd Tot. mg/L	Ca Tot. mg/L	Co Tot. mg/L	Cu Tot. mg/L	Cr Tot. mg/L	Fe Tot. mg/L	Mg Tot. mg/L	Mn Tot. mg/L	Mo Tot. mg/L	Ni Tot. mg/L	Ag Tot. mg/L	Pb Tot. mg/L	K Tot. mg/L	Se Tot. mg/L	Na Tot. mg/L	Tl Tot. mg/L	V Tot. mg/L	Zn Tot. mg/L	
16804-18	TSYN 6/7	13/12/2018 10:30	219.22	0.1289	177.9	0.03	0.01	0.2207	330.1	4.485	348.6	0.4045	5067	47.92	13.42	0.1347	0.602	1.626	0.0135	0.0261	1.222	0.155	101.1	<0.002	0.1244	26.43

∓: Análisis no solicitado por el cliente

ND: No detectable

MI: Muestra insuficiente para realizar los análisis.

Las muestras serán descartadas después de 3 días de la emisión de estos resultados

Los resultados de los ensayos corresponden a las muestras identificadas y proporcionadas por el cliente.

Los ensayos han sido realizados en: Laboratorio de Medio Ambiente y QA/QC de Minera Yanacocha - Yanacocha Norte. Anexos 22990, 22807, 22690.

Este Informe de Ensayo no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la autorización escrita del Supervisor del Laboratorio Medio Ambiente

La incertidumbre expandida de la medición esta calculada a partir de la incertidumbre estándar de la medición, multiplicada por un factor de cobertura K, para un nivel de confianza del 95%

Catherine Henriquez Gallegos

Supervisor de Laboratorio

Anexo 22672

a

Coordinador de Laboratorio

Anexo a

Figura 2. Informe del Laboratorio de Medio Ambiente- Sólidos Totales (Ley de Cabeza).

Tabla 2. Informe del Laboratorio de Química después de la Prueba de Electrocoagulación en Soluciones ppm, con electrodos (Fe-Al-Fe)

mts_7_221118	mts_6_221118	mts_5_221118	mts_4_221118	mts_3_221118	mts_2_221118	mts_1_221118	units:	code:	name:
0.004	0.001	0.005	0.003	0.008	0.016	0.023	ppm	ICP	Ag
0.292	1.608	12.07	55.358	128.409	187.972	239.5	Ppm	ICP	Al
0	0	0	0.183	4.953	48.102	153.819	Ppm	ICP	As
0.236	0.234	0.233	0.22	0.192	0.17	0.17	Ppm	ICP	Ba
0	0	0	0.002	0.005	0.008	0.01	ppm	ICP	Be
488.747	478.965	470.732	454.286	448.392	479.714	470.223	ppm	ICP	Ca
0	0	0	0.011	0.08	0.17	0.328	ppm	ICP	Cd
0.327	0.553	0.856	1.623	2.881	4.308	5.169	ppm	ICP	Co
0.012	0.02	0.111	0.596	0.848	0.806	0.778	ppm	ICP	Cr
0.054	0.319	3.28	30.91	130.159	224.11	357.923	ppm	ICP	Cu
1343.306	1356.333	1346.34	1332.216	1319.14	1312.069	1295.938	ppm	ICP	Fe
1.307	1.298	1.278	1.207	1.137	1.127	1.209	ppm	ICP	Ga
2.476	2.531	2.575	2.488	2.465	2.538	2.628	ppm	ICP	K
0.061	0.059	0.058	0.057	0.055	0.06	0.06	Ppm	ICP	Li
mts_7_221118	mts_6_221118	mts_5_221118	mts_4_221118	mts_3_221118	mts_2_221118	mts_1_221118	units:	code:	name:
56.829	56.48	58.949	58.01	57.598	63.268	65.163	ppm	ICP	Mg
48.108	44.807	44.386	37.772	29.827	26.208	24.201	Ppm	ICP	Mn
0	0	0	0	0	0	0.509	Ppm	ICP	Mo
151.564	138.617	132.558	128.637	134.453	142.966	140.286	Ppm	ICP	Na
0.284	0.372	0.523	0.771	1.257	1.715	2.095	ppm	ICP	Ni
0	0	0	0	0.015	0.031	0.053	ppm	ICP	Sc
0	0	0	0.065	0.095	0.159	0	ppm	ICP	Se
0.022	0.044	0.06	0.071	0.066	0.089	0.077	ppm	ICP	Sn
0.207	0.203	0.199	0.19	0.186	0.194	0.19	ppm	ICP	Sr
1.994	1.934	1.904	1.806	1.564	1.439	1.472	ppm	ICP	Te
0	0	0	0.001	0.003	0.006	0.028	ppm	ICP	Ti
0.015	0	0.029	0	0	0.081	0.099	ppm	ICP	Tl
0.668	0.663	0.637	0.64	0.57	0.548	0.607	ppm	ICP	V
3.237	4.173	5.609	10.158	18.07	26.761	32.116	Ppm	ICP	Zn

Tabla 3. Resultados finales de la Prueba (Al-Fe-Al).

Tiempo (horas)	Amperios (A)	V	pH
0.0333333	5.6	43.7	2.1
0.5333333	4.8	44.12	2.27
1.0333333	5.8	43.14	2.3
1.5333333	8.8	41.81	2.63
2.0333333	6.8	42.87	3.65
2.5333333	6.4	43.03	3.87
3.0333333	6	43.33	4.67

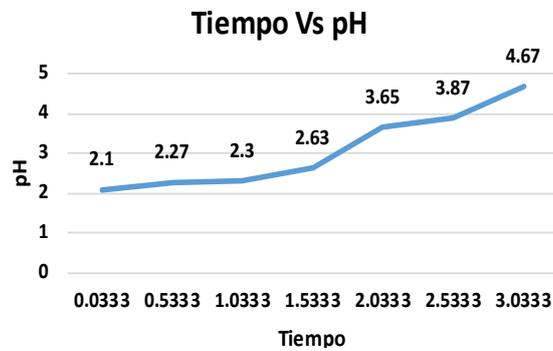


Figura 3. Tiempo Vs pH

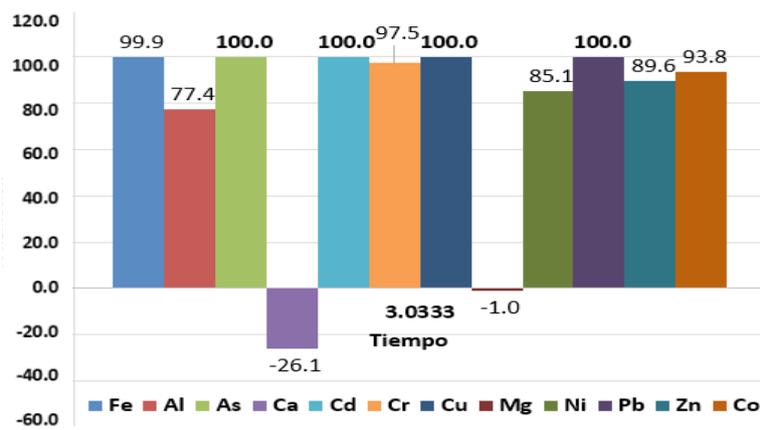


Figura 4. % Remoción en función del Tiempo de los Metales pesados

Discusión de resultados

A partir de los resultados de las diversas pruebas realizadas, corroboramos nuestra hipótesis; ya que se demostró que el amperaje y tiempo de residencia son factores influyentes en el porcentaje de remoción de metales pesados. Estos guardan relación con lo que mencionan Arango y Garcés la eficiencia en la remoción incrementa con el aumento del amperaje y el tiempo de residencia, para realizar el diseño de la celda se debe tener en cuenta la relación con los electrodos, los materiales de este, la geometría y la disposición de los electrodos para la aplicación de la electrocoagulación.

- Evelyn Pantoja señala que dependiendo del material de electrodo se obtienen las reacciones de oxidación y reducción; utilizaron Fe y Al por la formación de hidróxidos metálicos que forman los núcleos de las partículas. Al realizar nuestras pruebas, corroboramos lo mencionado; pero lo que no considera Pantoja es que el electrodo de Fe tiende a corroerse, y a su vez promueve el aumento de sedimentos en el agua ácida.

- Evelyn Pantoja muestra que al realizar la EC utilizan pestañas para la separación de electrodos que van conectados a las pinzas, mientras que en la presente se usó un conductor eléctrico de cobre (Cu), cubierto con cinta aislante con cortes intercalados permitiendo la separación de estos y facilitando el traspaso de corriente eléctrica a todos los electrodos.

- Domínguez y Betancourt mencionan que la coagulación química, se adiciona un agente químico. En la electrocoagulación el coagulante es formado in situ mediante las reacciones de iones metálicos que se da en el ánodo y son los iones que por oxidación electrolítica, dan origen al coagulante, con lo que estamos de acuerdo.

Prueba (Al-Fe-Al)

- En la cual el electrodo de sacrificio fue el hierro (ánodo), ya que en esta placa metálica se da la transferencia de electrones, y en el aluminio (cátodo) en la cual se concentran los metales generando sedimentos que se depositan en el fondo de la Celda electrolítica.

Referencias bibliográficas

- Arango Ruíz, Á. (2005). *La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales*. Revista Lasallista de investigación, 2(1).
- Arango Ruíz, A., & Garces Giraldo, L. F. (2007). *Diseño y construcción de una celda prototipo de electrocoagulación para el tratamiento de aguas*. Ingeniería sanitaria y ambiental (Buenos Aires), (92), 48-53.
- Pantoja, E. (2012). *Aplicación de la electrocoagulación y floculación sobre el tratamiento del drenaje ácido de minas de carbón*. Santiago de Cali: Universidad Del Valle., (6), 10-12.
- Arango, A., & Garcés, L. (2007). *Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea*. Universidad Eafit, 43(147), 56-66.
- Reyes Ávila, D., & Mercado Martínez, I. D. (2003). *Estudio de tratabilidad por electrocoagulación de los lixiviados del relleno sanitario La Esmeralda (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales)*, (54), 59-60.
- Ríos Cardona, J. N. (2006). *Remoción de amonio y de metales pesados de los lixiviados del relleno sanitario "La Esmeralda" de la ciudad de Manizales por electrocoagulación (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales)*, 11-12, (21).
- Aguilar Ascon, E. A. (2015). *Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua*, 22-28, 72-73.
- Niño, G. E. A., Barrera, C. A. C., García, A. B., & Lumbaque, E. C. (2013). *La electrocoagulación como un tratamiento eficiente para la remoción de metales pesados presentes en aguas residuales*. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 9(2), 306-314.
- Hilario, C., Marvin, D., Cipriano, C., & Alexander, E. (2019). *Estudio de la densidad de corriente y tiempo de residencia en el proceso de electrocoagulación y su influencia en la reducción de Fe^{2+} de solución de drenaje ácido de mina*, 16-18, 22-23.
- Gutierrez, H., & Sasyira, L. (2017). *Propuesta de tratamiento electroquímico en aguas de filtración de relave, provenientes de Southern Copper Corporation en la Región Moquegua, para su uso Agrícola*.
- Chen, G. (2004). *Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and purification Technology*, 38(1), 11-41.

Correspondencia

Autor: Mirian Nataly Malca Yopla
Dirección: Universidad Privada del Norte
Email: miriam.nmy@gmail.com