

# **UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería ambiental



*Una Institución Adventista*

## **Remoción de mercurio de efluentes mineros por electrocoagulación**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Ayde Nina Luna

Bertha Karina Ramos Fora

Asesor:

Msc. Rose Adeline Callata Chura

**Juliaca, julio de 2022**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

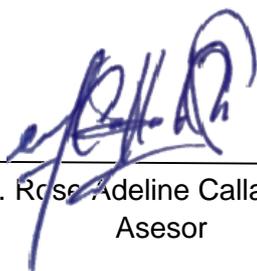
Msc. Rose Adeline Callata Chura, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### **DECLARO:**

Que el presente informe de investigación titulado: **“REMOCIÓN DE MERCURIO DE EFLUENTES MINEROS POR ELECTROCOAGULACIÓN”** constituye la memoria que presenta las Bachilleres **Ayde Nina Luna** y **Bertha Karina Ramos Fora** para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 08 días del mes de julio del año 2022.



Msc. Rose Adeline Callata Chura  
Asesor



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 08 día(s) del mes de julio del año 2022, siendo las 15:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Enrique Mamani Guila, el secretario: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera y los demás miembros: Dr. Efraín Lujano Laura y el asesor: Msc. Rose Adeline Gallata Ghura

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Remoción de mercurio de efluentes mineros por electrocoagulación

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) Nina Luna Ayde b) Ramos Forá Bertha Karina conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Nina Luna Ayde

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Litera, Cualitativa), Mérito. Row 1: Aprobado, 14, C, Aceptable, Bueno

Candidato (b): Ramos Forá Bertha Karina

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Litera, Cualitativa), Mérito. Row 1: Aprobado, 14, C, Aceptable, Bueno

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente (Signature) Asesor (Signature)

Secretary (Signature)

Member

Member

Candidate/a (a)

Candidate/a (b)

## **DEDICATORIA**

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino a cada paso, cuidándome, dándome salud y fortaleza para continuar; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mis PADRES Marcial Nina Morales y Fabia Luna de Nina, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Por último a mi asesor de tesis Msc. Rose Adeline Callata Chura porque el apoyo en todo momento.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
Capítulo 1. Introducción.....	9
Capítulo 2. Materiales y métodos.....	12
2.1. Procedimiento experimental .....	12
2.2. Diseño de Investigación.....	12
Capítulo 3. Resultados.....	13
3.1. Caracterización de la muestra inicial .....	13
3.2. Análisis del diseño experimental .....	13
3.3. Efectos del tiempo de tratamiento .....	15
3.4. Efectos del Potencial Eléctrico .....	16
3.5. Efecto de pH .....	17
Capítulo 4. Discusión .....	17
Capítulo 5. Conclusión.....	19
Bibliografía.....	20
Anexos.....	23

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Las reacciones electroquímicas para electrodos de cátodo y ánodo.....	11
Tabla 2. Diseño factorial 2k para los tratamientos. ....	13
Tabla 3. Niveles de las réplicas de los tratamientos. ....	13
Tabla 4. Análisis de varianza estadístico.....	14

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de electrocoagulación. ....	10
Figura 2. Potencial eléctrico en remoción de Hg; a). Remoción del mercurio; b). Potencial eléctrico; c). Remoción de turbiedad; d). Reacción de pH.....	16

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Evidencia de sumisión a la revista indexada Innovaciones Educativas.....	23
Anexo 2. Evidencias fotográficas.....	24
Anexo 3. Certificados de laboratorio.....	25

# REMOCIÓN DE MERCURIO DE EFLUENTES MINEROS POR ELECTROCOAGULACIÓN

## RESUMEN

El estudio tiene por objetivo evaluar la remoción de mercurio de efluentes mineros, mediante la electrocoagulación, de una celda electroquímica de volumen de 3 litros a escala de laboratorio, con medidas internas de 30, 15 y 10 cm de largo, ancho y alto, con ensamblaje de 16 electrodos (cátodo y ánodo) de aluminio conectado una fuente de corriente eléctrica con regulador de voltaje. En condiciones de trabajo a diferentes tiempos de 20, 35 y 50 minutos, con voltajes de 20, 22.5 y 25 voltios para un diseño experimental factorial  $2^K$  con puntos centrado. Los resultados muestran que a un tiempo de 50 min y con voltaje de 25 vol, muestra el 86.96 % de remoción de Hg (0.0003 mg/l), siendo un influencia directa de los parámetros. Se concluye que el tratamiento por electrocoagulación es una alternativa para el tratamiento de las aguas industriales mineros.

**Palabras clave:** Electrocoagulación, mercurio, relave minero.

# MERCURY REMOVAL FROM MINING EFFLUENTS BY ELECTROCOAGULATION

## ABSTRACT

The objective of the study is to evaluate the removal of mercury from mining effluents, by electrocoagulation, of an electrochemical cell with a volume of 3 liters on a laboratory scale, with internal measurements of 30, 15 and 10 cm long, wide and high, with assembly of 16 electrodes aluminum (cathode and anode) connected to an electrical power source with voltage regulator. In working conditions at different times of 20, 35 and 50 minutes, with voltages of 20, 22.5 and 25 volts for an experimental  $2^k$  factorial design with centered points. The results show that at a time of 50 min and with a voltage of 25 vol, it shows 86.96 % removal of Hg (0.0003 mg/l), being a direct influence of the parameters. It is concluded that treatment by electrocoagulation it is an alternative for the treatment of industrial mining waters.

**Key words:** electrocoagulation, mercury, mining tailings.

## **Capítulo 1. Introducción**

El agua es un elemento vital para la salud humana y ecosistema, el cual se ve afectado directamente por diferentes efluentes industriales y mineras, generando concentraciones elevadas de metales pesados, que se ha convertido en una crisis mundial, los pasivos ambientales genera impactos negativos sobre el recurso hídrico, perjudicial al medio ambiente y salud humana (Soto, Lozano, Barbarin, Castillo, & Alcata, 2009; Pabón, Benítez, Sarria, & Gallo, 2020; Castillo & Oviden, 2017).

La contaminación por la minería artesanal en la Provincia de Rinconada en donde se emplean Quimbaletes y Molinos en el proceso de trituración en forma de amalgama para recuperar el oro, este proceso ocasiona el derrame directo en grandes cantidades de metal pesado afectando directamente al cauce del río Rimas; el mercurio en estado líquido y sólido es altamente tóxico, invisible e inodoro, en contacto con partículas de oro, presentado como un compuesto disuelto y en agua se dispersa con facilidad. El vapor de mercurio es altamente riesgoso al inhalar y puede penetrar al cuerpo humano, almacenando el 80 % del vapor de mercurio inhalado, en cantidades puede ser mortal (Vera, 2017; Chávez, Montenegro, & Granados, 2009).

El uso indiscriminado e ineficiente de la amalgamación del total de la mena se considera una mala práctica debido a su manipulación, ya que es el método más aplicado en el sector minero, para la extracción del oro, siendo la principal actividad de la población La Rinconada; según los estudios realizados de tratamientos de efluentes mineros informales, para la remoción de metales pesados mediante la precipitación, adsorción, intercambio iónica mediante la electrocoagulación (Al Aji, Yavuz, & Koparal, 2012).

La electrocoagulación es el proceso técnico de electroquímica, empleando una corriente eléctrica a través de los electrodos de aluminio, considerando como un método eficaz en tratamientos de aguas residuales que tiende a elevarse el grado de estabilidad debido a la carga que posee de partículas suspendidas y coloidales, cuando el electrolisis tiene un proceso físico y químico, para remover los contaminantes del agua. Este método es el potencial eléctrico aplicando de electrodo a electrodo alimentados con una corriente eléctrica, mínimo a 15 voltios, la remoción de metales pesados en aguas residuales mediante la reacción química (Arango, 2005).

Según Popoca (2015) la reacción química es la desestabilización de las partículas en el proceso de electrolitos de coagulación que consiste en desestabilizar los coloides

mediante los electrodos que poseen una gran parte del ánodo y cátodo generando liberaciones en mayor cantidad de iones con cargas de lado positivo que sufren reacciones anódicas y el lado negativo sufre reacciones catódicas provocando electrodos de sacrificio liberando nitrógeno de gaseoso y oxígeno. A través del campo eléctrico aplicado y pueden ionizarse, generando una reacción de electrolisis o hidrólisis, dando una reacción en las propiedades físicas y químicas de agua, creando componentes partículas de mayor peso, formando la suspensión o decantación por hidrofóbicos, precipitación y flotación para ser removido fácilmente (Pabón et al., 2020).

La electrocoagulación se fundamenta en tres principios de electroquímica, coagulación, flotación y sedimentación, el proceso de electrocoagulación tiene parámetros influyentes en la remoción de contaminantes, como el pH, intensidad de corriente, conductividad, distancia entre electrodos (Ayuque & Esteban, 2021), 1) la reacción electrolítica inicia en la superficie de los electrodos así el ánodo se oxida y el cátodo se reduce. El ánodo forma cationes metálicos de Al o Fe. 2) Las moléculas de agua se electroliza en el cátodo se reduce dentro del cátodo para liberar iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) e iones hidrogenión ( $\text{H}^+$ ) en forma de gas. 3) La reacción de catión metálico con ion hidroxilo forma una reacción de hidrólisis que forma un coagulante que desestabiliza las partículas suspendidas y contaminantes disueltos. 4) De la interacción entre el catión ( $\text{M}^+$ ) y el anión ( $\text{OH}^-$ ) ocurre la desestabilización de partículas y forman flóculos que permiten la absorción de contaminantes. 5) Los flóculos al alcanzar estructuras grandes tienden a precipitarse. 6) Los contaminantes son absorbidos. 7) Los agregados formados flotan debido a las burbujas de gas no son adjuntados, se asentarán debido a su alta densidad en relación a la solución. 8) La interacción de flujo y mezcla permite mejorar la adsorción de los contaminantes (fig. 1) (AlJaberi, 2019; Benaissa, Kermet-Said, & Moulai-Mostefa, 2016).

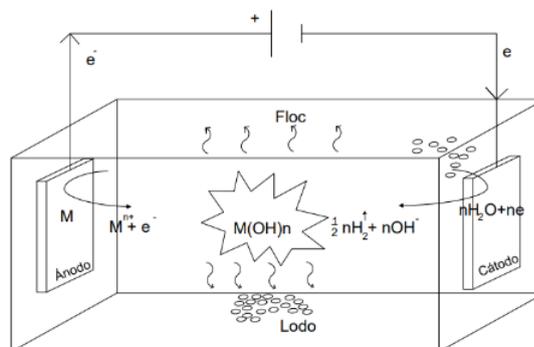


Figura 1. Sistema de electrocoagulación.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

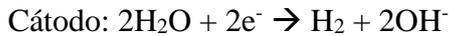
**Tabla 1.**

Las reacciones electroquímicas para electrodos de cátodo y ánodo, compuesto por Al y Fe, en la solución puede ser:

Localización	Reacción	
Ánodo en medio ácido	$\text{Al}_{(s)} \rightarrow \text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3e^{-}$	$\text{Fe}_{(s)} \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$
	$\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_{3(s)} + 3\text{H}^{+}$	$4\text{Fe}^{2+}_{(aq)} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{Fe}^{3+} + 4\text{OH}^{-}$
Ánodo medio alcalino	$\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^{-} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$	$\text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 2\text{OH}^{-}_{(aq)} \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_{2(s)}$
Cátodo en medio ácido en presencia de O <sub>2</sub>	$3\text{H}_2\text{O}_{(L)} + 3e^{-} \rightarrow 3/2 \text{H}_{2(g)} + 3\text{OH}^{-}$	$2\text{H}_2\text{O}_{(L)} + 2e^{-} \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^{-}_{(aq)}$
Cátodo en medio neutro o alcalino	$2\text{OH}^{-} \rightarrow 1/2 \text{O}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O} + 2e^{-}$	
En presencia de oxígeno en la solución		$\text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 4\text{H}^{+}_{(aq)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{Fe}^{3+}_{(aq)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(L)}$
		$\text{Fe}^{3+}_{(aq)} + 3\text{OH}^{-}_{(aq)} \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$

Fuente: (Merma, Santos, Rego, Hacha, & Torem, 2020; Espinoza-Quiñones et al., 2020).

La electrólisis del agua genera oxígeno e hidrógeno (Isgró, 2015), representado por la ec 1:



La importancia de electrocoagulación se basa en la remoción de contaminantes orgánicos, asimismo, en la remoción de metales pesados, los iones del metal recorren por un procesos electrólisis hacia el cátodo donde sufren una reducción y quedan depositados, mediante la remoción (Onainor, 2005). Generando microburbujas como los electrodos derivando dos gases y produciendo oxígeno e hidrógeno, a nivel molecular, que chocan y se adhieren a los floculos (Nieve, 2019). Esto ocasiona que produzca dos reacciones muy diferentes como la sedimentación de lodos y la formación de espuma a la superficie del líquido, en algunos casos puede ser removida mecánicamente (electro flotación).

El objetivo del presente estudio es remover las concentraciones de Hg por electrocoagulación de las aguas residuales provenientes de relaves mineros.

## Capítulo 2. Materiales y métodos

Las muestras se consideraron de uno de los vertederos de la canaleta del quimbaleta de una minera artesanal, se tomaron 30 litros de muestra según la metodología de toma de muestra de la guía de manejo ambiental minero según el D.S.N° 016-93-EM, y posteriormente se comparó el resultado de Hg con el D.S. N° 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero y metalúrgicas.

### 2.1. Procedimiento experimental

Se diseñó la celda de electrocoagulación con las medidas internas de 30, 15 y 10 cm de largo, ancho y alto, respectivamente, con 8 electrodos de cátodo y 8 electrodos de ánodo, que se colocó de forma intercalada con una separación de 1.5 cm, asimismo, se conectó a una fuente de alimentación Digital DC 0-32V 5A UTP-1305, con regulador de voltaje (Roblez & López, 2017). La celda de electrocoagulación puede tratar 3 litros de muestra. Se trabajó a temperatura ambiente, en un medio alcalino, en tiempos de contacto distintos y a distintos voltajes, una vez tratada la muestra se tomó una alícuota para el análisis respectivo, asimismo se analizó los parámetros de pH y Temperatura mediante un equipo digital modelo MILWAUKEE - MI150, CE mediante el método digital modelo Multímetro portátil HQ40D y la TDS mediante el método digital modelo TURBIDIMETRO TB1, y la concentración del mercurio se envió a un laboratorio acreditado. La remoción del mercurio se calculó con la siguiente ecuación. Donde %R = porcentaje de remoción,  $C_i$  = concentración inicial,  $C_f$  = concentración final, presentado por la ec. 2 (Ece Ümmü, Akarsu, Gönen, & Özay, 2019; Abdelaaziz et al., 2020; Barun Kumar & Patel, 2014).

$$\%R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \quad \text{ec.2}$$

### 2.2. Diseño de Investigación

La electrocoagulación es una técnica que está influenciada por varios parámetros de operación en la mejor remoción de contaminantes, así se utilizó el diseño factorial 2k con puntos centrales, siendo dos variables con tres niveles, con un total de 5 tratamientos, cada tratamiento fue por triplicado en la experimentación (tabla 1). Este diseño permite analizar la aproximación de la inferencia estadística, lo que permite calcular los residuos y la desviación estándar (Medina & Lopez, 2011), los puntos centrales permiten evaluar el error de forma aleatoria y la linealidad del modelo matemático (Alberto & Palacios, 2011). En el ANOVA si  $F_0$  es grande, se contradice a la hipótesis de que no hay efectos de tratamientos;

en cambio, si  $F_0$  es pequeño se confirma la validez de  $H_0$ . Así, para un nivel de significancia  $\alpha$  prefijado, se rechaza  $H_0$  si  $F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$ , donde  $F_{\alpha, k-1, N-k}$  es el percentil  $(1 - \alpha) \times 100$  de la distribución F. También se rechaza  $H_0$  si el valor-p  $< \alpha$ , donde el valor-p es el área bajo la distribución  $F_{k-1, N-k}$  a la derecha del estadístico  $F_0$ , es decir, el valor-p =  $P(F > F_0)$  (Pineda, 2014), y si el valor de F es mayor que  $F_0$  ( $F_{\alpha, error, factor/interacción}$ ) significa que es significativo (Torres, Rodríguez, Baltazar Flores, & Siche, 2013). La magnitud del valor P es utilizada por lo general para decidir la significancia estadística de la prueba F en el análisis de varianza (Rodríguez, 2019). El análisis estadístico se procesó en el SPSS versión IBM SPSS Statistics 22.

**Tabla 2.**

*Diseño factorial 2k para los tratamientos.*

Factores		Niveles		
		-1	0	+1
$X_1$	Tiempo (min)	20	35	50
$X_2$	Voltaje (V)	20	22.5	25

*Fuente:* Elaboración propia, 2022.

### Capítulo 3. Resultados

#### 3.1. Caracterización de la muestra inicial

La muestra analizada mostró las siguientes características de; concentración de Hg de 0.0023 mg/ml, pH = 13, temperatura = 7°C, CE = 3016 y turbidez de 395 UNT, datos que se consideraron para los tratamientos experimentales.

#### 3.2. Análisis del diseño experimental

El diseño factorial  $2^k$  con punto central permite buscar información útil en el comportamiento de respuestas ante niveles iniciales atribuidos a los factores, además evidencia la calidad de las réplicas en los tratamientos (Medina & Lopez, 2011), los que se muestran en la tabla (3) a partir de los tratamientos experimentales.

**Tabla 3.**

Niveles de las réplicas de los tratamientos.

Tratamiento	#	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> (Tiempo)	X <sub>2</sub> (Voltaje)	pH	T°	CE	UNT	Hg (mg/ml)	%rem Hg	Promedio
				20	20	12.13	12	1581	6.38	0.0009	60.87 %	
1	T1R1			20	20	12.13	12	1581	6.38	0.0009	60.87 %	
	T1R2	-1	-1	20	20	10.9	12.5	1535	6.46	0.0008	65.22 %	63.77 %
	T1R3			20	20	11	12.4	1476	6.21	0.0008	65.22 %	
	T2R1			20	25	11.4	12.1	1492	5.48	0.0007	69.57 %	
2	T2R2	-1	1	20	25	10.5	12.6	1523	5.55	0.0006	73.91 %	72.46 %
	T2R3			20	25	10.9	12.3	1479	6.75	0.0006	73.91 %	
	T4R1			50	20	11.8	12.2	1468	5.35	0.0007	69.57 %	
4	T4R2	1	-1	50	20	10.2	12.8	1523	5.79	0.0006	73.91 %	72.46 %
	T4R3			50	20	10.3	12.7	1479	5.89	0.0006	73.91 %	
	T5R1			50	25	10.13	12.4	1468	5.48	0.0004	82.61 %	
5	T5R2	1	1	50	25	9.5	13	1448	5.34	0.0003	86.96 %	86.96 %
	T5R3			50	25	9.1	12.9	1448	5.23	0.0002	91.30 %	
	T3R1			35	22.5	11.9	12	1490	5.38	0.0006	73.91 %	
3	T3R2	0	0	35	22.5	10.2	12.2	1523	5.8	0.0005	78.26 %	76.81 %
	T3R3			35	22.5	10.7	12.4	1468	6.18	0.0005	78.26 %	

Nota: T1\* es el indicador del primer Tratamiento; T2\* es el indicador de segundo Tratamiento; T3\* es el indicador de tercer Tratamiento; R1\* indicador del Primer Replica; R2\* es el indicador del Segundo Replica; R3\* indicador de Tercer Replica.

Los ensayos experimentales en un medio alcalino muestran el descenso del pH debido a la formación del aluminato  $[Al(OH)_4^-]$  que puede ocasionarse a partir de un pH superior a 9, por otra parte, la formación del aluminato está influido por la corriente eléctrica (Merma et al., 2020). El incremento del voltaje de 20 a 25 vol muestra la activación del electrodo basado en la ley de Ohm que incrementa la densidad de corriente con el tiempo (Espinoza-Quiñones et al., 2020; Mahvi, Bazrafshan, & Ownagh, 2012), así a un potencial eléctrico de 20 vol con un tiempo de 50 min muestra una remoción del 63.77 % y con valores altos de 50 vol y 25 min alcanza a una máxima remoción de 86.96 % hecho que es afectado principalmente por la carga eléctrica ( $Q= I.t$ ) (Yu, Zhong, Wang, & Guo, 2021; Chen, Guohua, & Yue, 2007). Los resultados obtenidos de temperatura se encuentran en el rango por debajo de 293 K, lo que muestra que los resultados obtenidos estarán en la remoción por debajo de 84 % (Morantes, 2017). Los valores de turbidez disminuyen debido a que en la celda se forma los flocúlos lo que permite la remoción partículas suspendidas y la adsorción del contaminante de mercurio. A continuación, se presenta la tabla del ANOVA para el análisis de los efectos más significativos.

**Tabla 4.**

### Análisis de varianza estadístico.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	851.92	212.980	24.14	0.000
Lineal	2	806.55	403.277	45.71	0.000
Tiempo	1	403.28	403.277	45.71	0.000
Voltaje	1	403.28	403.277	45.71	0.000
Interacciones de 2 términos	1	25.20	25.205	2.86	0.122
Tiempo*Voltaje	1	25.20	25.205	2.86	0.122
Curvatura	1	20.16	20.164	2.29	0.162
Error	10	88.22	8.822		
Total	14	940.14			

Fuente: IBM SPSS Statistics 22 de Análisis de la Varianza con un Factor (ANOVA).

El análisis de varianza muestra que hay unos efectos principales significativos de las variables tiempo y voltaje (valor de  $F > F_{0.05, 1, 10} = 4.965$ ), sin presencia de interacción de efectos, y no hay curvatura de segundo orden en la región de exploración para un coeficiente de correlación de  $R^2 = 86.96\%$ . Asimismo, el modelo de regresión que asocia al Anova es:  $Y = 0.00162167 + 0.00000666667X_1 - 0.0000333333X_2 - 6.66667E - 7X_1X_2$ . La acción del tiempo de tratamiento afecta en la cantidad de coagulante producido, asimismo la intensidad de voltaje por la cantidad de reacciones electroquímicas que se dan en la superficie del electrodo (Mikko, et al. 2020), con la siguiente ecuación de  $\%remHg = 29.3656 - 0.287778X_1 + 1.45556X_2 + 0.0288889X_1X_2$  que muestra la remoción del Hg en el tiempo y la formación de floculo por el efecto del potencial eléctrico, asimismo disminuye la turbidez de la muestra.

### 3.3. Efectos del tiempo de tratamiento

La concentración de aluminio liberado es directamente proporcional al tiempo de electrólisis (Arevalo, 2017) formando el producto en un medio alcalino lo que muestra en la fig. (2-A) en la remoción del mercurio que se incrementa con el tiempo hasta alcanzar 0.003 mg/L en 50 min, debido a la liberación de iones del ánodo en mayor densidad de corriente y tiempo de electrólisis, formando los iones de aluminio (coagulante) y consecutivamente los flóculos de hidróxido de aluminio o según al intervalo del pH, siendo el tiempo suficiente para la adsorción de los iones (Khan, Mahtab, & Farooqi, 2021; Rufino & Pereyra, 2018) en la remoción del mercurio. Lógicamente el costo de operación está influenciado al tiempo de formación de los flóculos para el tratamiento de aguas residuales (AlJaberi, 2019; Elazzouzi, Haboubi, Elyoubi, & El Kasmi, 2021).

### 3.4. Efectos del Potencial Eléctrico

El potencial eléctrico medido en voltio tiene una influencia significativa en la velocidad de reacción (Arevalo, 2017; Patel & Parikh, 2020) de la generación de la dosis del coagulante, gases y crecimiento del flocúlo (Rivera, Perez, Martin, Gomez, & Hernandez, 2011), así, de acuerdo con la Ley de Faraday muestra que la cantidad de carga que pasa por el sistema es proporcional (disolución del metal) a la generación del radical hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) (Asfaha, Zewge, Yohannes, & Kebede, 2022); (Zhang, Xu, Sun, Wang, & Tang, 2020) que reacciona con el  $\text{Hg(II)}$ . La figura 2-B muestra que a mayor potencial eléctrico mejor es la remoción del mercurio, siendo la siguiente  $EC = 1706.03 - 1.48889X1 - 7.4X2 + 0.00666667 X1 X2$ , que muestra la interacción de tiempo y potencial eléctrico que influyen significativamente, fenómeno que se ajusta a la ley de Faraday del incremento de potencial eléctrico que genera mayor reacción electroquímica así, una parte del voltaje eléctrico se utiliza para liberar iones de  $\text{Al}_3^+$  del ánodo y el resto para la especiación iónica (Espinoza-Quiñones et al., 2020). Sin embargo, un tiempo de contacto prolongado con alto potencial eléctrico puede disminuir la adsorción (Zhang et al., 2020) del Hg. Asimismo, la turbidez disminuye en la celda electroquímica modelada con la siguiente ec.  $UNT = 10.0183 - 0.0606667X1 - 0.160889X2 + 0.00191111X1X2$ .

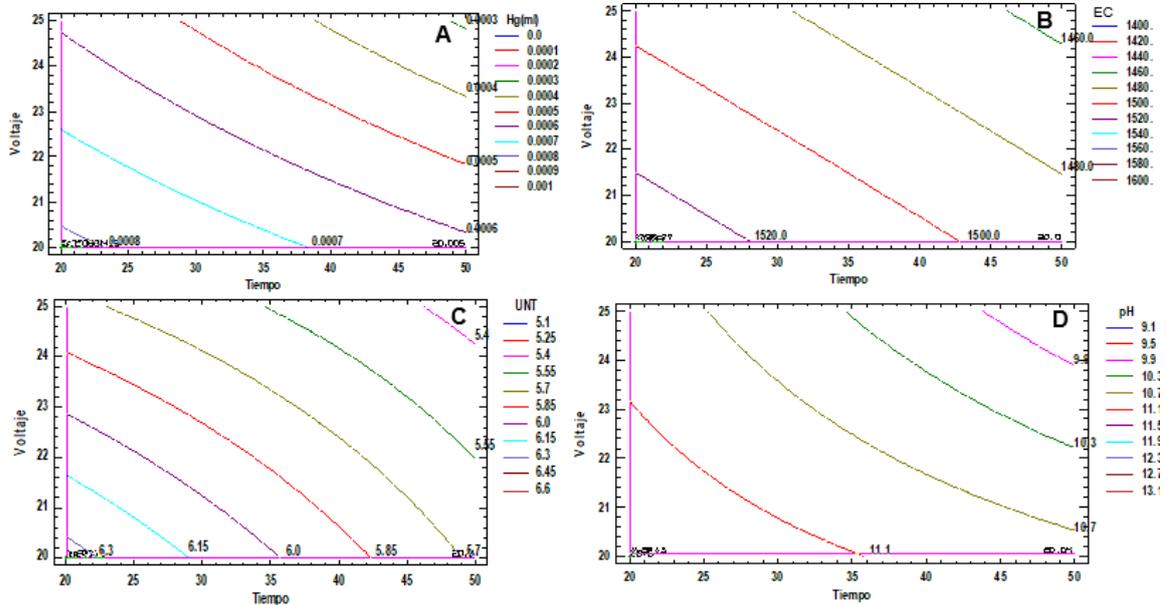


Figura 2. Potencial eléctrico en remoción de Hg; a). Remoción del mercurio; b). Potencial eléctrico; c). Remoción de turbiedad; d). Reacción de pH.

### 3.5. Efecto de pH

En la electrocoagulación la influencia del pH de la solución inicial es significativo en el mecanismo de tratamiento (Abdelaaziz et al., 2020), debido al efecto directo de la especiación de los hidróxilos metálicos en la solución y también el potencial z de las partículas coloidales (Morantes, 2017) en el rendimiento de la electrocoagulación (Rivera et al., 2011), así a un pH alrededor del neutro puede alcanzar una máxima remoción de los contaminantes por la formación de  $\text{Al(OH)}_3$  en la solución, sin embargo, si se encuentra en un rango de 6.5 a 7.8 se tendrá una disponibilidad suficiente para formar el coagulante. A pH por debajo de 5 se tiene especies poliméricas de  $\text{Al(OH)}_2^+$ ,  $\text{Al(OH)}_{22}^+$ ,  $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^+$ ,  $\text{Al}_7(\text{OH})_{174}^+$ ,  $\text{Al}_{113}(\text{OH})_{345}^+$  que se transforman en flóculos de  $\text{Al(OH)}_{3(s)}$  insoluble a través de la polimerización y mecanismos de precipitación. A pH superior a 9 se incrementará la presencia de monómero de  $\text{Al(OH)}_4^-$  reduciendo la formación de flóculos de  $\text{Al(OH)}_{3(s)}$  amorfo insoluble (Elazzouzi et al., 2021; Garcia-Segura, Eiband, de Melo, & Martínez-Huitl, 2017; Asfaha et al., 2022) de acuerdo al diagrama de Pourbaix (Abdelaaziz et al., 2020; Garcia-Segura et al., 2017; Merma et al., 2020). Así del fig.(2-D) se observa que el pH inicial se ha modificado con el tiempo debido a las reacciones electroquímicas (Khan et al., 2021) en la celda electroquímica, con la siguiente ecuación en un medio básico:  $\text{pH} = 11.7912 + 0.0758889 \cdot X_1 - 0.000222222 \cdot X_2 - 0.00475556 \cdot X_1 X_2$ , influenciado por el tiempo en el incremento de la formación de aluminato a pH alcalino.

## Capítulo 4. Discusión

Se evaluó la influencia de la variación del tiempo y el voltaje eléctrico en la remoción de Hg, tras analizar los porcentajes de remoción de Hg registrado (Tabla 3), se infiere que el tiempo de electrocoagulación y porcentaje de remoción de Hg presentaron una relación directamente proporcional, es decir a medida que el tiempo se incrementa el porcentaje de remoción de Hg alcanzado fue mucho mayor, por lo cual analizando el tiempo con relación al voltaje eléctrico, se logró un 63.67 % cuando el tiempo de electrocoagulación fue de 20 min, al incrementar este tiempo hasta 35min el porcentaje de remoción alcanzo 76.81 % y al dejar en contacto la solución con los electrodos de aluminio durante 50 min se alcanzó un porcentaje de remoción de Hg máximo de 86.96 %. La remoción de Hg en las aguas residuales en mineras artesanales mediante electrocoagulación, dichos

investigadores evaluaron la remoción de Hg a diferentes tiempos de 15min y 45 min logrando una máxima remoción de Hg de 97,72%, del mismo modo en el trabajo (Mayta & Mayta, 2017).

En la fig.(2-D) se observa los resultados experimentales con respecto a los datos registrados de la remoción de pH en las aguas residuales provenientes de La Rinconada, especialmente la corriente aplicada que tiene la principal efecto sobre el proceso de electrólisis, el pH promedio de los tratamientos evaluados fue 11.4023 con un voltaje de 20 vol y a un tiempo de 20 min se deduce el mejor remoción de mercurio, a mayor tiempo y voltaje aumenta relativamente en pH. El pH de las aguas residuales aumento durante el proceso de electrocoagulación y el pH aumenta más a mayor densidad de corriente, este aumento depende de la actividad del ánodo y cátodo durante el proceso de electrocoagulación y está dominado por el cátodo (Quispe, 2015).

En la fig. (2-B) se observó una relación opuesta entre el tiempo de reacción y la EC, a mayor tiempo disminuye la conductividad teniendo un valor óptimo de 1530.92 con tiempo de 20 min y vol de 20 vol, de la muestra tratada, se dice que la presencia de los iones disueltos en el efluente, tiende a disminuir la EC. El comportamiento de la T °C incrementa durante el proceso de la reacción química en electrolisis, factores que revelan la interacción, dispersando los agregados en el tiempo de electrocoagulación, teniendo el valor de la temperatura de 12.71 °C, el agua es la conductora de electricidad, cuando hay resistencia de electrones, se genera incremento de la temperatura.

El UNT es la medida del grado de transparencia que pierde el agua, a medida que se desarrolla el tratamiento se observa en la fig.(2-C) la densidad de corriente, que influye en la limpieza del agua residual, dando como valor de 6.35167 UNT. La desestabilización de los contaminantes del agua, por comprensión de corriente eléctrica, con dobles capas eléctricas que rodean las partículas coloidales, por la acción de electrodos de aluminio de sacrificio (Perez, 2018).

En el proceso de electrocoagulación muestra como los electrodos generan oxígeno e hidrógeno, mostrando los gases que emanan y creando un micro burbujeo en las placas, creando con la ayuda de dos electrodos metálicos (cátodo/ ánodo), las finas partículas se adhieren a las partículas insolubles (Persino, 2010).

Asimismo, el proceso de electrocoagulación es una alternativa para remover contaminantes en el cuerpo de agua, puesto que se mejoran parámetros como el color, el olor y la turbiedad relacionados la suspensión de sustancias en ellos (Gilpavas, 2015).

El tratamiento por electrocoagulación de mercurio se obtuvo con una reducción como valor óptimo de 0.000821667 Hg, con los factores mayores de tiempo de 50 min y vol de 25 vol, se deduce que a mayor tiempo y voltaje los resultados son optimo, el voltaje y tiempo que influye significativamente en el porcentaje de remoción, el mejor porcentaje de remoción de UNT del agua con 25 vol y 50 min de tiempo. (Neciosup, Valderrama, Vega, & Arce, 2015) registro una investigación muy favorables con respecto a la remoción de la turbiedad con un valor de 65.1% con factores de tiempo de 25 min y con un vol (21-23 V), con el proceso de electrocoagulación que es una técnica sencilla y que a su vez remueve grandes concentraciones de contaminantes.

## **Capítulo 5. Conclusión**

Se logró una mayor eficiencia alcanzando un 86.96% de porcentaje de remoción de Hg logrando remover (0.0003 mg/l) Hg, el tiempo de electrocoagulación fue de 50 minutos y el voltaje eléctrico de 25 voltios en el tratamiento 3.

Se determinó la influencia del proceso de electrocoagulación en la remoción de Hg a nivel laboratorio, empleando un reactor tipo Bach, la evaluación de la influencia se realizó utilizando dos variables independientes, los cuales fueron tiempo de electrocoagulación y voltaje, a medida que el tiempo y el voltaje eléctrico fueron mayores se incrementó el porcentaje de remoción.

Los parámetros que tuvieron mayor influencia fueron la EC, pH, turbiedad y la eficiencia de remoción de Hg, fueron la distancia entre electrodos, interacción de concentración inicial-concentración inicial, electrodo-electrodo, voltaje y voltaje-tiempo, en donde las interacciones distancian de electrodos. La reacción de reducción del agua generó las burbujas de hidrógeno, que contribuyeron a la flotación de los flóculos formados y la sedimentación de contaminantes.

## Bibliografía

- Abdelaaziz, A., Abdesselam, A., Benyaich, A., Romane, A., & Elmeray, M. (2020). Optimization of Physicochemical Parameters during the Electrocoagulation Cadmium Elimination. *Journal of Chemistry*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/3071420>
- Al Aji, B., Yavuz, Y., & Koparal, A. S. (2012). Electrocoagulation of heavy metals containing model wastewater using monopolar iron electrodes. *Separation and Purification Technology*, 86(Syria), 248–254. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.11.011>
- Alberto, J., & Palacios, H. (2011). Pronósticos con restricciones para series de tiempo. *Universidad EAFIT*.
- AlJaberi, F. Y. (2019). Operating cost analysis of a concentric aluminum tubes electrodes electrocoagulation reactor. *Heliyon*, 5(8), e02307. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02307>
- Arango, A. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 49–56.
- Arevalo, C. (2017). Influencia de la Densidad de Corriente y Tiempo de Residencia en la Reducción de Arsénico de Efluentes Artificiales Mediante el proceso de Electrocoagulación. *Univerdiad Nacional de Trujillo*, 01, 1–99. Retrieved from [http://repositorio.neumann.edu.pe/bitstream/NEUMANN/244/1/TRABAJO\\_DE\\_INV\\_MAN\\_MEDINA\\_DANIEL.pdf](http://repositorio.neumann.edu.pe/bitstream/NEUMANN/244/1/TRABAJO_DE_INV_MAN_MEDINA_DANIEL.pdf)
- Asfaha, Y. G., Zewge, F., Yohannes, T., & Kebede, S. (2022). Investigation of cotton textile industry wastewater treatment with electrocoagulation process: performance, mineralization, and kinetic study. *Water Science and Technology*, 85(5), 1549–1567. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.061>
- Ayque, J., & Esteban, J. (2021). Eficiencia De Una Cámara De Electrocoagulación a Escala De Laboratorio Para Tratamiento De Aguas Residuales Del Camal Municipal Distrito De Huancavelica. *Universidad Nacional de Huancavelica*.
- Barun Kumar, A., & Patel, S. (2014). Removal of Brilliant Green from Aqueous Solution by Electrocoagulation using Aluminum Electrodes: Experimental, Kinetics, and Modeling. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 49(4), 601–612. <https://doi.org/10.1080/01496395.2013.838682>
- Benaissa, F., Kermet-Said, H., & Moulai-Mostefa, N. (2016). Optimization and kinetic modeling of electrocoagulation treatment of dairy wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 57(13), 5988–5994. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.985722>
- Castillo, C., & Oviden, B. (2017). *Influencia de la Distancia entre Electrodo y Densidad de Corriente en la Disminucion de Carga Contaminante de Residuos Liquidos de Pelambre por Electrocoagulation*. Univerdiad Nacional de Trujillo.
- Chávez, Á., Montenegro, D., & Granados, É. (2009). Una alternativa limpia para el tratamiento de las aguas residuales galvánicas: revisión bibliográfica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14), 39–50. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75012454004>
- Chen, X., Guohua, C., & Yue, P. (2007). Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation. *Separation Science and Technology*, 42(4), 819–833. <https://doi.org/10.1080/01496390601120557>
- Ece Ümmü, D., Akarsu, C., Gönen, Ç., & Özyay, Y. (2019). Enhancing treatability of tannery wastewater by integrated process of electrocoagulation and fungal via using RSM in an economic perspective. *Process Biochemistry*, 84(June), 124–133.

<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.06.016>

- Elazzouzi, M., Haboubi, K., Elyoubi, M. S., & El Kasmi, A. (2021). Development of a novel electrocoagulation anode for real urban wastewater treatment: Experimental and modeling study to optimize operative conditions. *Arabian Journal of Chemistry*, *14*(1). <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.11.018>
- Espinoza-Quiñones, F. R., Romani, M., Borba, C. E., Módenes, A. N., Utzig, C. F., & Dall'Oglio, I. C. (2020). A mathematical approach based on the Nernst-Planck equation for the total electric voltage demanded by the electrocoagulation process: Effects of a time-dependent electrical conductivity. *Chemical Engineering Science*, *220*. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115626>
- García-Segura, S., Eiband, M. M. S. G., de Melo, J. V., & Martínez-Huitle, C. A. (2017). Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, *801*(November 2016), 267–299. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.07.047>
- Isgró, M. de los Á. (2015). El Hidrógeno como Vector Energético: su obtención por Electrólisis. *EnAlTecS*.
- Khan, S. U., Mahtab, M. S., & Farooqi, I. H. (2021). Enhanced lead (II) removal with low energy consumption in an electrocoagulation column employing concentric electrodes: process optimisation by RSM using CCD. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, (ii). <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1873304>
- Mahvi, A. H., Bazrafshan, E., & Ownagh, K. A. (2012). Application of electrocoagulation process using iron and aluminum electrodes for fluoride removal from aqueous environment. *E-Journal of Chemistry*, *9*(4), 2297–2308. <https://doi.org/10.1155/2012/102629>
- Medina, P., & Lopez, Á. (2011). Análisis crítico del diseño factorial 2K sobre casos aplicados. *Scientia Et Technica*, *XVII*(47), 101–106. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84921327018>
- Merma, A. G., Santos, B. F., Rego, A. S. C., Hacha, R. R., & Torem, M. L. (2020). Treatment of oily wastewater from mining industry using electrocoagulation: Fundamentals and process optimization. *Journal of Materials Research and Technology*, *9*(6), 15164–15176. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.10.107>
- Morantes, D. (2017). Modificaciones cationicas de nanocristales de celulosa aplicadas como floculantes al tratamiento de aguas. *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*, 6–18.
- Nieve, G. (2019). Optimización de Trampa de Grasas y Aceites con Operación Continua por Efecto del Calor en Condiciones de Laboratorio. *Universidad Nacional Agraria de La Selva*, *8*(5), 55.
- Onainor, E. R. (2005). Remoción de Amonio y de Metales Pesados de los Lexiviados del Relleno Sanitario “La Esmeralde” de la Ciudad de Manizales por Electrocoagulación. *Universidad Nacional de Colombia*, *1*, 105–112.
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, *14*(27), 9–18. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Patel, S. R., & Parikh, S. P. (2020). Statistical optimizing of electrocoagulation process for the removal of Cr(VI) using response surface methodology and kinetic study. *Arabian Journal of Chemistry*, *13*(9), 7032–7044. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.07.009>

- Pineda, D. (2014). Diseño de un Experimento para el Desarrollo de Correlaciones de Transferencia de Color y Caída de Presión en Intercambiadores de Calor de Tubo Torsionado Helicoidal. *Institución Universitaria*.
- Popoca, X. (2015). *Estudio Teorico de un Microflujo: Confinado en un Cilindro*. 108. Retrieved from <https://www.fcfm.buap.mx/assets/docs/docencia/tesis/fisica/2015/MendezAlvarezRicardoAntonio.pdf>
- Rivera, M., Perez, S., Martin, A., Gomez, A., & Hernandez, C. (2011). Análisis Técnico y Económico del Proceso de Coagulación con Cloruro Ferrico para Remover Arsenico de agua Subterránea. *Revista Aidis*, 4(1), 46–56.
- Roblez, L. K., & López, A. F. (2017). Diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas , basado en electrocoagulación. *Universidad de La Salle*. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1314&context=ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1314&context=ing_civil)
- Rodriguez, E. (2019). Diseño factorial al modelo Educativo Jornada Escolar Regular y Completa para el rendimiento académico de la I.E.S José María Arguedas distrito Mazocruz periodo 2016 - 2017. *Universidad Nacional Del Altiplano*, 122. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10767>
- Rufino, L., & Pereyra, C. (2018). Grado de Remocion de Colorantes en los Efluentes Flexo Graficos, Empleando un Método combinado electrico catalisis - Oxidación avanzada. *Univerddidad Nacional Del Callao*, 130. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5053>
- Soto, E., Lozano, T., Barbarin, J., Castillo, B., & Alcata, M. A. (2009). Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos. *Ingeniería Química de La Facultad de Ciencias Químicas*, 1(0), 18–26.
- Torres, C. D., Rodríguez, D., Baltazar Flores, R., & Siche, R. (2013). Optimizing conditions of osmotic dehydration asparagus (*Asparragus officinalis*), using response surface methodology. *Agroindustrial Science*, 3, 7–18. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2013.01.01>
- Vera, J. A. (2017). Remoción de mercurio en aguas contaminadas mediante microorganismos tolerantes, una aproximación a la biorremediacion microbiana. *Universidad Santo Tomás*, (Bogota), 64. Retrieved from [http://repository.usta.edu.co/handle/11634/2952#.Wn-uQl\\_uxic.mendeley](http://repository.usta.edu.co/handle/11634/2952#.Wn-uQl_uxic.mendeley)
- Yu, Y., Zhong, Y., Wang, M., & Guo, Z. (2021). Electrochemical behavior of aluminium anode in super-gravity field and its application in copper removal from wastewater by electrocoagulation. *Chemosphere*, 272. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129614>
- Zhang, Y., Xu, R., Sun, W., Wang, L., & Tang, H. (2020). Li extraction from model brine via electrocoagulation: Processing, kinetics, and mechanism. *Separation and Purification Technology*, 250(May). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117234>

## Anexos

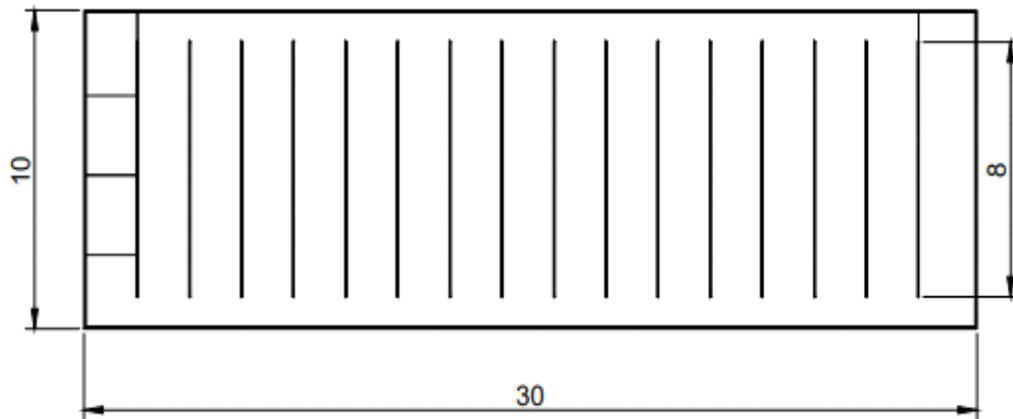
### Anexo 1. Evidencia de sumisión a la revista indexada Innovaciones Educativas (UNED).

The screenshot displays the author dashboard for the journal 'Innovaciones Educativas'. The page title is 'REMOCIÓN DE MERCURIO DE EFLUENTES MINEROS POR ELECTROCOAGULACIÓN' by 'ayde.nina07 07@AydeNina07'. The submission is in the 'Envío' (Submission) stage. The 'Archivos de envío' (Submitted Files) section lists two files:

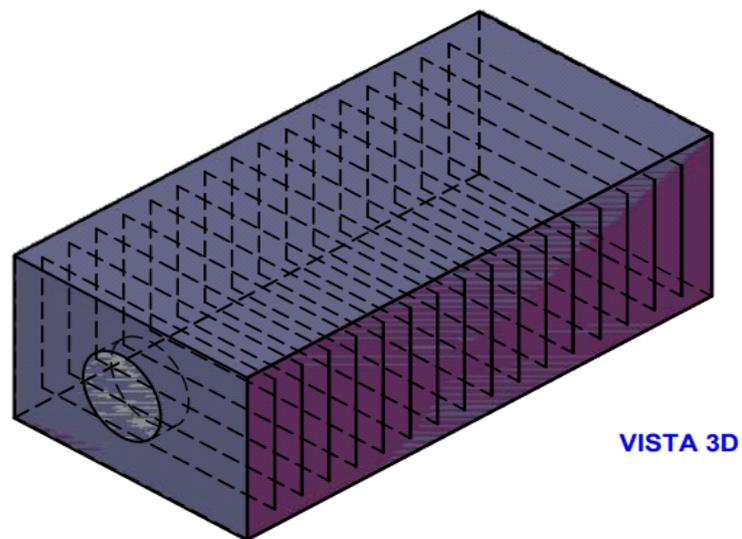
ID	Nombre del archivo	Fecha	Descripción
18101-2	ayde07nina, Declaración de autenticidad y autorización de publicación.docx (2)	June 14, 2022	Texto del artículo
18102-2	ayde07nina, Art. NINA LUNA - UNED.docx (2)	June 14, 2022	Texto del artículo

Below the files, there is a 'Discusiones prerrevisión' (Pre-review discussions) section, which is currently empty, with the message 'No hay artículos' (No articles).

**Anexo 2.** Evidencias fotográficas.



*Figura 1.* Flujo de electrocoagulación y diseño de electrodos.



*Figura 2.* Vista en 3D del reactor de electrocoagulación de tipo Bach.

Anexo 3. Certificados de laboratorio.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003**



Registro N° LE - 003

**INFORME DE ENSAYO N° 2-01907/21**

Página 1/2

Solicitante : **AYDE NINA LUNA / BERTHA RAMOS FORA**  
 Domicilio legal : **JR. PALMERAS S/N URBANIZACIÓN SANTA ROSA**  
 Producto declarado : **AGUA RESIDUAL**  
 Lugar de Muestreo : **CENTRO POBLADO LA RINCONADA**  
 Fecha de Muestreo : **2021-06-20**  
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : **0.6 Litros**  
 Forma de Presentación : **Muestra proporcionada por el solicitante**  
 Identificación de la muestra : **En Frasco de Plástico, Cerrado, Refrigerado Y Preservado**  
 Fecha de recepción : **Según se indica**  
 Fecha de inicio del ensayo : **2021-06-22**  
 Fecha de término del ensayo : **2021-07-03**  
 Ensayo realizado en : **2021-06-22**  
 Identificado con : **Laboratorio ICP-AA Callao**  
 Validez del documento : **HS 21005022 (EXMA-07461-2021)**  
 Este documento es válido solo para la muestra descrita

Proyecto: "REMOCIÓN DE MERCURIO PROVENIENTE DE AGUAS RESIDUALES DE RELAVE MINERO POR ELECTRODEPOSICIÓN."

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
M1-AR-REPLICA 1	19L451297	8382360	Voltaje: 25V; Tiempo: 50min.	



**AREQUIPA**  
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
 Miraflores - Arequipa  
 T. (054) 265572

**CALLAO**  
 Oficina Principal  
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
 T. (511) 319 9000

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



**INFORME DE ENSAYO N° 2-01908/21**

Página 1/2

Solicitante : **AYDE NINA LUNA / BERTHA RAMOS FORA**  
 Domicilio legal : **JR. PALMERAS S/N URBANIZACIÓN SANTA ROSA**  
 Producto declarado : **AGUA RESIDUAL**  
 Lugar de Muestreo : **CENTRO POBLADO LA RINCONADA**  
 Fecha de Muestreo : **2021-06-20**  
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : **0.6 Litros**  
 Forma de Presentación : **Muestra proporcionada por el solicitante**  
 Identificación de la muestra : **En Frasco de Plástico, Cerrado, Refrigerado Y Preservado**  
 Fecha de recepción : **Según se indica**  
 Fecha de inicio del ensayo : **2021-06-22**  
 Fecha de término del ensayo : **2021-07-03**  
 Ensayo realizado en : **Laboratorio ICP-AA Callao**  
 Identificado con : **HS 21005022 (EXMA-07461-2021)**  
 Validez del documento : **Este documento es válido solo para la muestra descrita**

Proyecto: "REMOCIÓN DE MERCURIO PROVENIENTE DE AGUAS RESIDUALES DE RELAVE MINERO POR ELECTRODEPOSICIÓN."

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
M - SECUNDARIO R2	19L451297	8382360	Voltaje: 25V; Tiempo: 50min.	



**AREQUIPA**  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores - Arequipa  
T. (054) 265572

**CALLAO**  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) - [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

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



**INFORME DE ENSAYO N° 2-01909/21**

Página 1/2

Solicitante : **AYDE NINA LUNA / BERTHA RAMOS FORA**  
 Domicilio legal : **JR. PALMERAS S/N URBANIZACIÓN SANTA ROSA**  
 Producto declarado : **AGUA RESIDUAL**  
 Lugar de Muestreo : **CENTRO POBLADO LA RINCONADA**  
 Fecha de Muestreo : **2021-06-20**  
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : **0.6 Litros**  
 Forma de Presentación : **Muestra proporcionada por el solicitante**  
 Identificación de la muestra : **En Frasco de Plástico, Cerrado, Refrigerado Y Preservado**  
 Fecha de recepción : **Según se indica**  
 Fecha de inicio del ensayo : **2021-06-22**  
 Fecha de término del ensayo : **2021-06-22**  
 Ensayo realizado en : **2021-07-03**  
 Identificado con : **Laboratorio ICP-AA Callao**  
 Validez del documento : **HS 21005022 (EXMA-07461-2021)**  
 Este documento es válido solo para la muestra descrita

Proyecto: "REMOCIÓN DE MERCURIO PROVENIENTE DE AGUAS RESIDUALES DE RELAVE MINERO POR ELECTRODEPOSICIÓN."

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
MS-AR-REPLICA 3	19L451297	8382360	Voltaje: 25V; Tiempo: 50min.	



**AREQUIPA**  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores - Arequipa  
T. (054) 265572

**CALLAO**  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

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





**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE 003**



Registro N° LE - 003

**INFORME DE ENSAYO N° 2-01910/21**

Página 1/2

**Solicitante** : **AYDE NINA LUNA / BERTHA RAMOS FORA**

**Domicilio legal** : **JR. PALMERAS S/N URBANIZACIÓN SANTA ROSA**

**Producto declarado** : **AGUA RESIDUAL**

**Lugar de Muestreo** : **CENTRO POBLADO LA RINCONADA**

**Fecha de Muestreo** : **2021-06-20**

**Cantidad de Muestras para el Ensayo** : **0.6 Litros**  
**Muestra proporcionada por el solicitante**

**Forma de Presentación** : **En Frasco de Plástico, Cerrado, Refrigerado Y Preservado**

**Identificación de la muestra** : **Según se indica**

**Fecha de recepción** : **2021-06-22**

**Fecha de inicio del ensayo** : **2021-06-22**

**Fecha de término del ensayo** : **2021-07-03**

**Ensayo realizado en** : **Laboratorio ICP-AA Callao**

**Identificado con** : **HS 21005022 (EXMA-07461-2021)**

**Validez del documento** : **Este documento es válido solo para la muestra descrita**

Proyecto: "REMOCIÓN DE MERCURIO PROVENIENTE DE AGUAS RESIDUALES DE RELAVE MINERO POR ELECTROCOAGULACIÓN."

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
M 4-AR-MEDIO	19L451297	8382360	Voltaje: 22,5V; Tiempo: 35 min.	---



**AREQUIPA**  
Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
Miraflores - Arequipa  
T. (054) 265572

**CALLAO**  
Oficina Principal  
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
T. (511) 319 9000

[info@cerper.com](mailto:info@cerper.com) - [www.cerper.com](http://www.cerper.com)

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





**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003**



Registro N° LE - 003

**INFORME DE ENSAYO N° 2-01678/21**

Página 1/2

Solicitante : **AYDE NINA LUNA / BERTHA RAMOS FORA**  
 Domicilio legal : **JR. PALMERAS S/N URBANIZACIÓN SANTA ROSA**  
 Producto declarado : **AGUA RESIDUAL**  
 Lugar de Muestreo : **CENTRO POBLADO LA RINCONADA**  
 Fecha de Muestreo : **2021-06-20**  
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : **0.6 Litros**  
 Forma de Presentación : **Muestra proporcionada por el solicitante**  
 Identificación de la muestra : **En Frasco de Plástico, Cerrado, Refrigerado Y Preservado**  
 Fecha de recepción : **Según se indica**  
 Fecha de inicio del ensayo : **2021-06-22**  
 Fecha de término del ensayo : **2021-07-03**  
 Ensayo realizado en : **Laboratorio ICP-AA Callao**  
 Identificado con : **HS 21005022 (EXMA-07461-2021)**  
 Validez del documento : **Este documento es válido solo para la muestra descrita**

Proyecto: "REMOCIÓN DE MERCURIO PROVENIENTE DE AGUAS RESIDUALES DE RELAVE MINERO POR ELECTRODEPOSICIÓN."

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
M - PRIMARIO	19L451297	8382360	---	---



**AREQUIPA**  
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
 Miraflores - Arequipa  
 T. (054) 265572

**CALLAO**  
 Oficina Principal  
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
 T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

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

