



## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Reducción de Aluminio y huevos de Helminto contenidos en fangos deshidratados de una planta de tratamiento de aguas residuales, con procesos electroquímicos

Decrease of Aluminum and Helminth eggs present in dehydrated sludge from the wastewater treatment plant through electrochemical processes

Paola Duque-Sarango<sup>1</sup>, María Cáceres, Ana Cando, Carla Escandón, Fabiola Segarra, Anderson Zhingri<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica Salesiana-Ecuador, INBIAM Grupo de Investigación en Biotecnología Ambiental. Calle Vieja 12-30 y Elia Liut, Casilla 46 sector 2, Cuenca-Ecuador. Numero orcid: 0000-0003-4484-7273. pduque@ups.edu.ec

<sup>2</sup> Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana.

### Resumen

El presente artículo estudió el tratamiento electroquímico en fangos residuales provenientes de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) mediante la operación de una planta piloto, conformada por 3 cubas o celdas electrolíticas, cuyos electrodos fueron placas de cobre y grafito a diferentes distancias; 7.5, 15 y 12 cm en las cubas A, B y C respectivamente, en ellas se dispusieron aproximadamente 6800 cm<sup>3</sup> de fango hidratado con cloruro de sodio al 12%. Al estar en contacto las placas con el fango se expusieron a una corriente continua de 12 voltios, se tomaron 4 muestras en cada una de las 3 cubas, que obedecen a tiempos de contacto de 1 a 4 horas. En la fase de laboratorio se midieron: pH, conductividad, temperatura, humedad, hipoclorito de sodio y se analizó la reducción de la concentración de aluminio y huevos helmintos después de los tratamientos. Se encontró que el porcentaje Al residual es igual para cualquiera de las celdas ya sea la A, B o C; sin embargo la celda B posee una menor dispersión según el estadístico de Levene. Se consiguió además una remoción del 100% de huevos de helmintos en todos los ensayos.

**Palabras claves:** Fangos residuales, electroquímica, electro desinfección, huevos de helmintos, aluminio.

### Abstract

The present article studied the electrochemical treatment in waste sludge from a Wastewater Treatment Plant (WWTP) through the operation of a pilot plant, consisting of 3 tanks or electrolytic cells, whose electrodes were copper plates and graphite at different distances; 7.5, 15 and 12 cm in the tanks A, B and C respectively, in them approximately 6800 cm<sup>3</sup> of hydrated sludge were placed with 12% sodium chloride. When the plates were in contact with the mud, they were exposed to a direct current of 12 volts, 4 samples were taken in each of the 3



tanks, which obey contact times of 1 to 4 hours. In the laboratory phase were measured: pH, conductivity, temperature, humidity, sodium hypochlorite and analyzed the reduction of the concentration of aluminum and helminth eggs after treatments. It was found that the percentage of residual aluminum is the same for any of the cells, whether it is A, B or C; however, cell B has a smaller dispersion according to the Levene statistic. A 100% removal of helminth eggs was also achieved in all trials.

**Keywords:** Residual sludge, electrochemistry, electro disinfection, helminth eggs, aluminum.

## **Introducción**

En la actualidad, existe una gran preocupación a nivel mundial, por el considerable incremento de contaminación por parte de metales pesados como son: cromo, níquel, aluminio, plomo, mercurio, entre otros (T. Akar, 2009). Sustancias tóxicas que tienden a persistir en el ambiente, comprometiendo el bienestar y equilibrio de la fauna y flora hasta la salud de las personas residentes en las zonas aledañas, mediante su acumulación e ingreso a la cadena (Duque, 2008) (V.R. García Villegas, 2010).

El impacto ambiental negativo que se genera por el uso de estos metales, lleva a desarrollar y generar métodos para minimizarlos o eliminarlos. Para el tratamiento de efluentes y sólidos contaminados con estos metales, están: la precipitación, óxido-reducción, intercambio iónico, filtración, método electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación. Cabe destacar que estos métodos son válidos cuando las concentraciones de los metales son altas, sin embargo se generan residuos, cuya disposición final es un problema (Linares-Hernández et al., 2011), (Sarango et al., 2018).

Una Planta o Estación de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es un sistema sanitario, cuyo objetivo principal es la reducción de las cargas contaminantes del agua residual cumpliendo con los límites aceptables para su incorporación en el cauce fluvial (Metcalf & Eddy, 1995). Una PTAR está

compuesta por procesos físicos, químicos y biológicos. Así, luego del tratamiento biológico se maneja a la par la línea de fangos, donde los sólidos sedimentados en los decantadores primarios y secundarios son, en realidad, una mezcla acuosa de color y olor característico llamada fango fresco.

Las características principales de los fangos residuales son: alto contenido de humedad, presencia de materia orgánica en conjunto con organismos patógenos, que hacen que entren fácilmente en descomposición, generando malos olores y siendo un foco de enfermedades; todo ello hace que deban tratarse con sumo cuidado (Valor, 2017). Además, los fangos residuales son un gran problema para las pequeñas ciudades, debido a los altos costos que implica su tratamiento, los volúmenes de generación y por su composición (Rojas & Leopoldo, 2012). Según Ahmad et al., (2016) los fangos residuales tienen una concentración significativa de metales pesados. Algunos metales están presentes en concentraciones alarmantes en el lodo deshidratado; bario, plomo, arsénico y otros metales pesados pueden causar daños significativos al medio ambiente si este no se elimina adecuadamente.

Por otro lado la electrocoagulación (EC) es una tecnología emergente en el tratamiento de agua y aguas residuales, ya que combina los beneficios de la coagulación, la flotación y la electroquímica. La unidad de EC básica consiste típicamente en una celda electrolítica con un ánodo y electrodos de metal del

cátodo conectados externamente a una fuente de alimentación de corriente continua y sumergidos en la solución a tratar (Moussa et al., 2017). Además la EC opera fácilmente debido a la simplicidad de sus equipos, por lo que es posible la automatización completa del proceso (Mollah et al., 2004) (Bazrafshan et al., 2015).

De tal forma, en la actualidad surge como alternativa para la remoción de metales pesados en los fangos, puesto que es una tecnología que permite no solo removerlos, sino también de darles un tratamiento posterior (J. Mao, 2009). El principio se basa en el uso y disposición de los electrodos (cátodos y ánodos), que por acción de un potencial de energía pueden generar una concentración de los metales pesados in situ (Eiband M, 2014), así se podría minimizar la generación de residuos secundarios y por ende el impacto ambiental del proceso (Merzouk et al., 2009).

La revisión de literatura, da cuenta que existen trabajos sobre tratamientos electroquímicos aplicados a remoción de contaminantes, en aguas residuales como la EC y electrofloculación, mas no hay experimentación con procesos de electro migración y electro desinfección con fangos provenientes del tratamiento biológico de una PTAR.

Así, Hernández et al., (2011) experimentaron en un sistema electroquímico, mediante tratamientos de EC, empleando electrodos de hierro y oxidación anódica directa, los resultados de estos tratamientos, indicaron una remoción del 99% de la demanda química de oxígeno (DQO), 99% de color y 97% de turbidez, en un tiempo de 2 h. Meunier et al., (2004) aplicaron la técnica electroquímica en un reactor a escala piloto de laboratorio para la eliminación de metales pesados (Cu y Zn) de lixiviados de lodo, encontraron rendi-

mientos de eliminación de Cu y Zn de 92.4 a 98.9% y de 69.8 a 76.6% respectivamente. Mientras que Bukhari (2008), experimentó con aguas residuales municipales crudas mediante EC para la eliminación de sólidos suspendidos totales (TSS), turbidez y DBO en partículas utilizando electrodos de acero inoxidable, encontraron que la mayor eficiencia de remoción de TSS fue de 95.4% y que la eliminación de DBO depende de la eficiencia de eliminación de TSS.

Otros autores, Khaled et al., (2015) investigaron el efecto de los parámetros de diseño del reactor de EC en la eliminación de cadmio de aguas residuales industriales, siendo la mejor remoción a una distancia entre electrodos de 0.5 cm, modo de conexión monopolar, velocidad de agitación de 300 rev.min<sup>-1</sup>, área de superficie a relación de volumen (S / V) de 13.6 m<sup>-1</sup>.

Bani-Melhem y Smith (2012) investigaron la EC para tratar las aguas grises, los resultados del análisis mostraron que el proceso mejora el porcentaje de eliminación de turbidez, color y DQO, obtuvieron además una remoción del 100% de sólidos suspendidos y coliformes fecales. Y Bazrafshan et al., (2015) combinaron la coagulación química, la EC y la adsorción para tratar aguas residuales de procesos textiles en un estudio a escala piloto, el resultado del estudio mostró que se logró una reducción de 40% para la DQO, 34% para la DBO5 y 23.7% para SST después de la coagulación química. La eficiencia de eliminación total después de combinar la adsorción también fue del 98% y 94.2% para DQO y DBO5 respectivamente.

A nivel nacional, el estudio electroquímico realizado por Zúñiga (2016), en fangos residuales; obtuvo una eficiencia de remoción de plomo del 70% con un contenido de agua del 98%, una distancia entre electrodos

de 6cm, un tiempo de 120 minutos y con electrodos de hierro-hierro y grafito-grafito. También Guapisaca (2016), logró un rendimiento del 100% en la remoción de huevos de helmintos con el electrodo de grafito en un tiempo de contacto de 70 minutos y con el electrodo hierro en un tiempo de contacto de 90 minutos. Indicó que el tiempo de tratamiento es de gran importancia desde un punto de vista biológico ya que, a mayor tiempo, mejor será el porcentaje de eliminación.

De esta forma el presente artículo propone el uso de la técnica electroquímica como tecnología alternativa para la reducción de metales pesados y huevos de Helmintos presentes en los fangos, experimentado a nivel piloto en las instalaciones de los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, y usando el fango residual de la PTAR de Ucubamba. **Materiales y métodos**

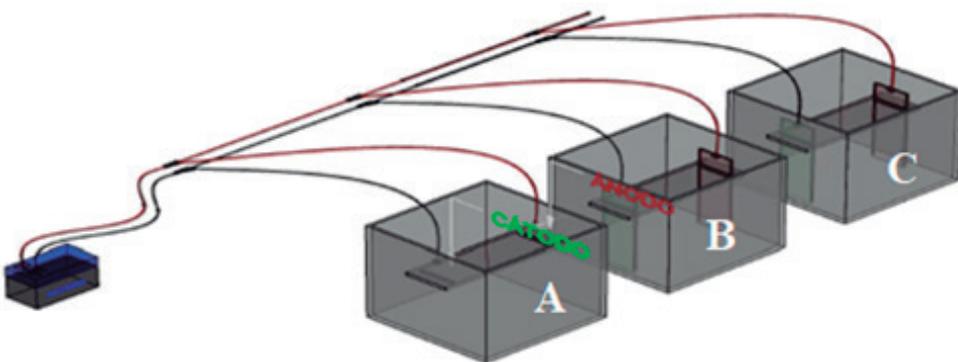
### Descripción de la PTAR Ucubamba

En la ciudad de Cuenca existe la PTAR de Ucubamba, la misma que trata el 95% de aguas residuales de la localidad, su tecnología es de tipo no convencional mediante sistema de lagunaje, cuenta con 6 lagunas de

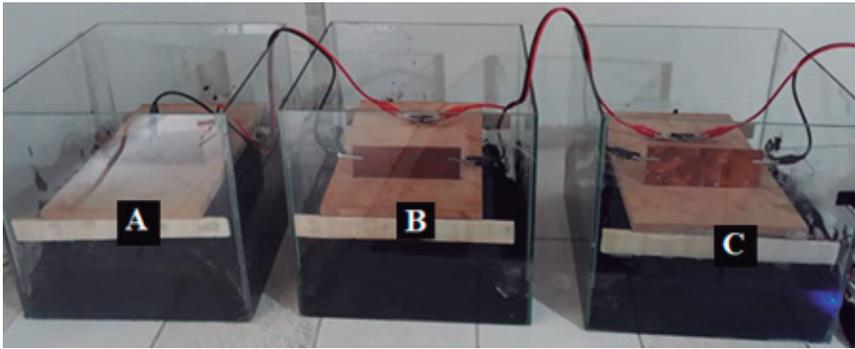
estabilización que tiene por objetivo: reducir el nivel de sólidos y la carga orgánica, regular la carga biológica y de oxígeno por medio de algas unicelulares. Los fangos residuales son extraídos por bombeo mediante dragas y transportadas hasta el sistema de filtros prensa donde se reduce la mayor cantidad de humedad (Ganzhi et al., 2013).

### Diseño de la planta piloto

Se construyó una planta piloto que consiste en tres celdas electrolíticas (reactores electroquímicos) en vidrio laminado, de dimensiones 30x30x30 cm y volumen de 27000 cm<sup>3</sup>, en cada una de ellas se colocó 6800cm<sup>3</sup> de fangos residuales, cada celda electrolítica tuvo un soporte de balsa de 20 cm de ancho para ubicar los electrodos en serie de cobre – grafito con una distancia de separación de 7.5, 15 y 12 cm denominándoles celdas A, B y C respectivamente. Tanto el electrodo de cobre como el de grafito fueron de placa rectangular y colocados de manera vertical, en el primer caso sus dimensiones fueron de 18 cm de alto y 14 cm de ancho con un espesor de 0.4 mm, mientras que para el electrodo grafito; espesor de 0,2 mm y 8 cm de alto (Figura 1.)



**Figura.1:** Prototipo de la planta experimental, cátodo de cobre y ánodo de grafito



**Figura 2.** Imagen real del prototipo experimental.

Para el funcionamiento las tres celdas electrolíticas estuvieron conectadas en paralelo a una fuente de alimentación con una tensión de entrada de 110/220 V de corriente alterna, tensión de salida de 0 – 30 V de corriente continua, mediante abrazaderas tipo pinza de cocodrilo rojo y negra. El resumen de las características de las celdas se presenta en la tabla 1.

Celdas	Distancia de electrodos	Humedad (%)
A	7.5	67.59
B	15	68.73
C	12	69.07

**Tabla 1** Principales características en las celdas de experimentación A, B y C.

Para la experimentación primero se procedió a hidratar los fangos con cloruro de sodio (NaCl) al 12%, en cada celda electrolítica, se verificó que las placas de cobre y grafito estén en contacto con el fango y que estén debidamente conectadas, la placa de cobre conectada a la carga negativa (negro) y la placa de grafito a la carga positiva (rojo).

El tiempo de contacto total fue de 4 horas, observando a los primeros 20 minutos la reacción del hipoclorito de sodio letal para microorganismos, virus y bacterias, esterilizando el sustrato, además de su olor característico que se percibió durante toda la fase experimental.

La toma de muestras se realizó cada hora en cada cuba, se almacenaron en un envase de polipropileno (PP) y fueron etiquetadas y selladas correctamente, y almacenadas bajo

refrigeración.

Análisis de los fangos residuales antes y después de los procesos electroquímicos

Los parámetros analizados fueron pH, conductividad eléctrica, temperatura, humedad, concentración de aluminio siguiendo el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. La determinación de huevos de Helminto por visualización directa en el microscopio y conteo directo, siguiendo el método recomendado por la OMS (OMS, 1989) propuesto para facilitar la concentración y observación de huevos de helmintos (Ayres et al., 1991).

La información se tabuló para estudiar la estadística respectiva, se usó el programa R para la construcción de los gráficos respectivos, así como el análisis de estadística

inferencial.

## Resultados y discusiones

Los resultados de la muestra inicial, como se observa en la tabla 2 la concentración inicial

de aluminio fue de 6.1ppm, la conductividad de 0.095 miliSiems/cm, Ph de 6.65 y temperatura de 19.2 °C. Además, en la parte microbiológica se visualizó 5 huevos helmintos (tabla 3 y figura 3).

**Tabla 2** Caracterización del fango residual inicial y del fango en cada una de las cubas tras los tratamientos.

	Tiempo (horas)	Ph	Conductividad (miliSiems/cm)	Temperatura (°C)	NaClO (ppm)	Aluminio inicial (0) y residual (A, B y C) (ppm)
	0	6.65	0.095	19.2	0.00	6.1
A	1	9.27	1.114	20.4	9.70	4.94
	2	8.52	1.312	20.8	10.15	3.86
	3	7.21	1.543	20.3	12.48	1.02
	4	7.28	1.44	21.4	19.28	1.45
B	1	5.56	1.822	21.5	7.15	3.56
	2	6.48	1.762	21.6	10.66	3.85
	3	8.92	1.655	21.3	10.04	4.24
	4	9.07	1.465	21.4	10.66	3.76
C	1	10.19	2.190	21.1	9.87	1.83
	2	8.34	2.351	21.1	7.54	3.09
	3	7.76	2.713	21.1	7.71	2.59
	4	7.37	2.482	21.8	6.01	3.12

Valores obtenidos en las 3 cubas

En la cuba A donde las placas tenían una distancia de 7.5 cm, se observó que en la muestra A3 (tiempo de contacto de tres horas) se redujo el 83.28% de aluminio con un Ph de 7.21, temperatura de 20.3°C y conductividad de 1.543 miliSiems/cm. Se observa en los resultados la disminución del aluminio hasta la muestra A3, y un incremento en la muestra A4, este incremento del metal a un mayor tiempo de contacto puede ser explicado por el desgaste que tuvo las placas de cobre y grafito (Figura 4).

**Tabla 3:** Presencia de huevos helmintos en las cubas

<b>Celdas</b>	<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Huevos de helmintos (número)</b>
0	INICIAL	5
A	1	-
	2	-
	3	-
	4	-
B	1	-
	2	-
	3	-
	4	-
C	1	-
	2	-
	3	-
	4	-

En la cuba B, se registró en la muestra B1 una reducción del 41.64% de aluminio, pH de 5.56, temperatura de 21.5°C y conductividad de 1.822 miliSiems/cm. En esta cuba, existe un incremento de pH a medida que aumenta el tiempo de contacto, la muestra A4 presenta una disminución del metal en comparación con las muestras anteriores, la disminución del aluminio se dio con un pH ligeramente alcalino, temperatura ambiente (Figura 4).



**Figura 3.** Huevos de helmintos identificados (*Ascaris lumbricoides*).

En la cuba C, la muestra C1 tuvo mayor reducción de aluminio con el 70%, se trabajó con pH más alto de 10.19 y conductividad de 2.19 miliSiems/cm. La muestra C1 tuvo la mayor remoción de aluminio, con un pH moderadamente alcalino (Figura 4).

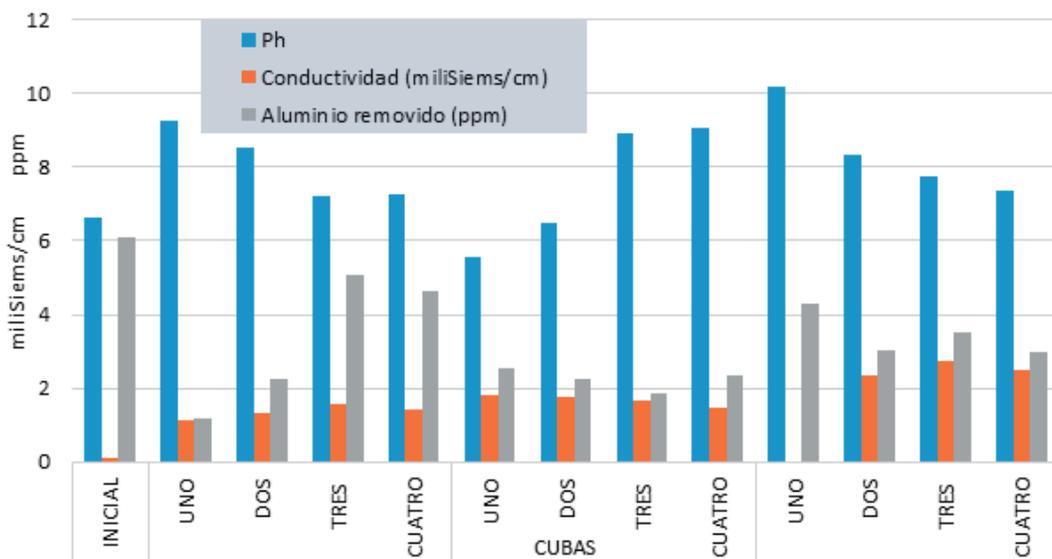


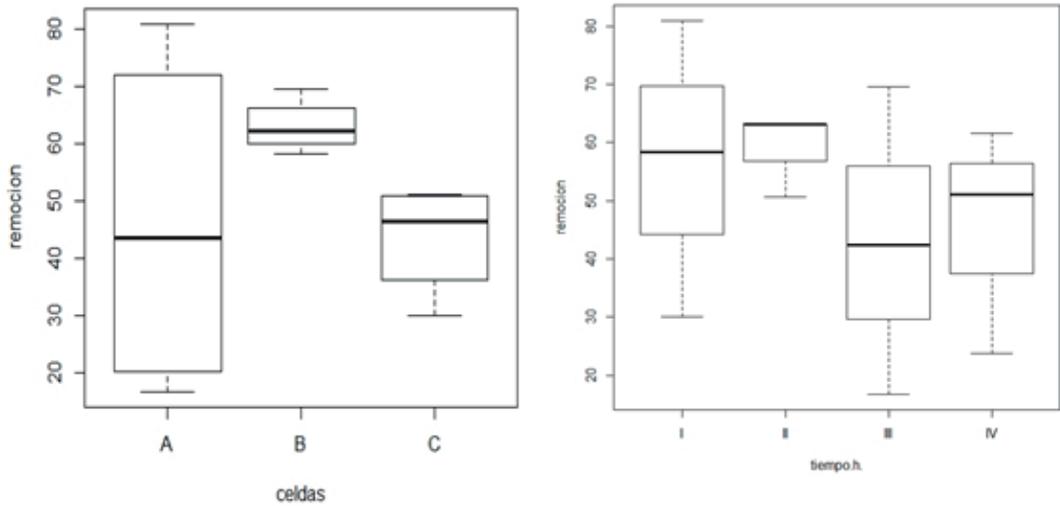
Figura 4. Resultado de la caracterización del fango residual inicial y del fango en cada una de las cubas tras los tratamientos.

La tabla 4, muestra el estadístico general de los ensayos.

Tabla 4. Estadístico general, porcentaje Alresidual vs celda y Alresidual vs. tiempo

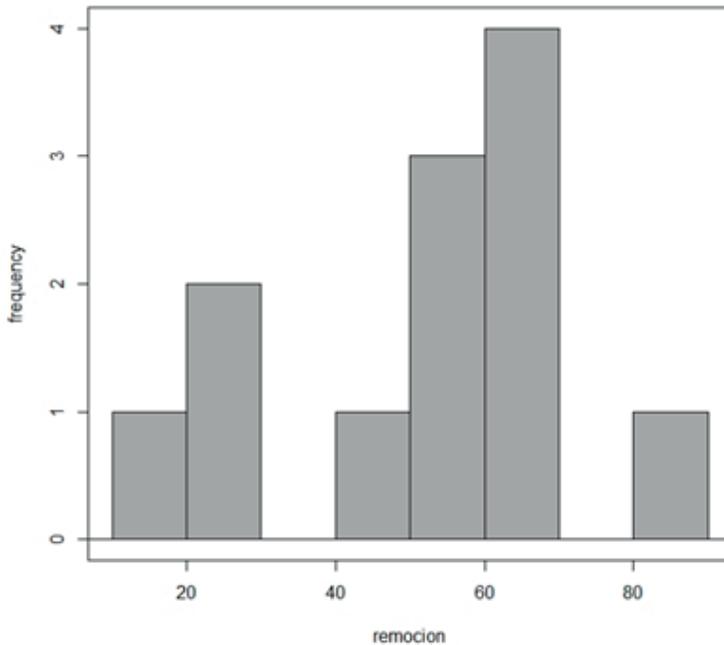
	$\bar{X}$	s	IQR	0%	25%	50%	75%	100%
A	46.18	30.94	45.69	16.72	22.00	43.52	67.70	80.98
B	63.15	4.67	3.89	58.36	60.81	62.37	64.71	69.50
C	43.56	9.88	11.43	30.00	39.34	46.55	50.77	51.14
I	56.44	25.54	25.49	30.00	44.18	58.36	69.67	80.98
II	59.01	7.24	6.31	50.65	56.88	63.11	63.19	63.27
III	42.89	26.39	26.39	16.72	29.59	42.45	55.98	69.50
IV	45.51	19.55	18.93	23.77	37.45	51.14	56.39	61.63

Los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio son analizados estadísticamente mediante el software R; la celda que mejores resultados arroja a primera vista en cuanto al porcentaje de aluminio residual es la B, debido a su promedio más alto ( ) y menor desviación estándar (s); de 63.15%  $\pm$  4.68, comparado con las celda A de 46,19%  $\pm$  30.95 y con la celda C con de 43,57%  $\pm$  9.88, como se puede constatar en la gráfica 5. Referente al porcentaje de Alresidual analizado en función del tiempo la figura X, muestra una distribución similar en las cuatro horas de ensayo.



**Figura 5.** Diagrama de caja y bigotes: a) porcentaje de Alresidual vs celdas b) porcentaje de Alresidual vs tiempo

El gráfico 2 muestra la distribución normal, se obtuvo un p-value = 0.646 que es mayor a 0,05 por lo tanto se distribuyen normalmente



**Figura 6.** Distribución normal de los datos

Para verificar si el valor promedio de remoción obtenido en la celda B es significativamente mayor al obtenido con las celdas A y C se realiza una prueba ANOVA, esto debido a que los datos cumplen con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk como se detalla en la tabla 5 siendo el valor p (o sig) mayor a 0.05.

**Tabla 5 .** Prueba de Normalidad

Celda	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
A	0,896	4	0,41
B	0,952	4	0,729
C	0,862	4	0,269

La prueba ANOVA indica que en realidad el porcentaje Alresidual es igual para cualquiera de las celdas ya sea la A, B o C; es decir se acepta Ho que los promedios de remoción son igual para cada una de las celdas debido a que el valor p(sig) es mayor a 0.05. Cabe resaltar que al comparar las varianzas de los porcentajes de Alresidual por celda existe una diferencia significativa entre las celdas A,B y C; según la estadística inicial la que menor dispersión arroja es los resultados obtenidos con la celda B; esto se confirmó con el estadístico de Levene (ver Tabla 7).

**Tabla 6.** Análisis Anova.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	904,574	2	452,287	1,259	0,329
Dentro de grupos	3232,326	9	359,147		
<b>Total</b>	<b>4136,9</b>	<b>11</b>			

**Tabla 7.** Prueba de homogeneidad de varianzas.

Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
18,593	2	9	0,001

## Conclusiones

De acuerdo al presente trabajo se determinó que la eliminación de huevos de helminto en el tratamiento electroquímico es muy eficiente. La remoción fue de un 100% con un tiempo de exposición máximo de 240 minutos con una humedad de 70% promedio. La formación de hipoclorito fue importante en los procesos de desinfección con un 19,2 ppm de concentración.

Con respecto al aluminio se obtuvo una eficiencia de remoción hasta del 80%, conseguido en el ensayo A2 (distancia de 7,5cm

entre electrodos, tiempo de contacto 180 minutos y con electrodos de grafito- cobre).

Se concluye que la humedad en el tratamiento electroquímico es un factor importante para la remoción de patógenos con porcentajes más altos hay una mejor remoción. A mayor tiempo de exposición a 12 voltios se concluye que hubo electro migración de los metales presentes en la placa hacia el lodo.

La desactivación y eliminación de huevos de helminto mediante el método electroquímico tuvo una eficiencia del 100%, dado que en el análisis de la muestra inicial se pudo obser-

var la presencia de los mismos, mientras que en el análisis del fango residual después de someter al proceso electroquímico se pudo observar una presencia nula de los huevos helminto.

## Literatura Citada

Ahmad, T., Ahmad, K., y Alam, M. (2016). Caracterización de los lodos de la planta de tratamiento de agua y sus opciones de eliminación segura. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 950-955.

Akar, T., Tosun, İ., Kaynak, Z., Kavas, E., Incirkus, G., & Akar, S. T. (2009). Assessment of the biosorption characteristics of a macro-fungus for the decolorization of Acid Red 44 (AR44) dye. *Journal of hazardous materials*, 171(1-3), 865-871. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409010139>

Ayres, R. M., Stott, R., Lee, D. L., Mara, D. D., & Silva, S. A. (1991). Comparison of techniques for the enumeration of human parasitic helminth eggs in treated wastewater. *Environmental technology*, 12(7), 617-623. [https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593339109385048?casa\\_token=rpAiaHEpEjsAAAAA%3ABv5RFLKXOML7d7EKJIDrIvsU51xXQ\\_AkSfOEMtHgHZNTzSQc\\_UMF6gmlw8gaCpQBq9hRrPR4qQsYIaY&](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593339109385048?casa_token=rpAiaHEpEjsAAAAA%3ABv5RFLKXOML7d7EKJIDrIvsU51xXQ_AkSfOEMtHgHZNTzSQc_UMF6gmlw8gaCpQBq9hRrPR4qQsYIaY&)

Bazrafshan, E., Mohammadi, L., Ansari-Moghaddam, A., & Mahvi, A. H. (2015). Heavy metals removal from aqueous environments by electrocoagulation process—a systematic review. *Journal of environmental health science and engineering*, 13(1), 74. <https://link.springer.com/article/10.1186/s40201-015-0233-8>

Bukhari, A. A. (2008). Investigation of the electro-coagulation treatment process for the

removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater. *Bioresource technology*, 99(5), 914-921. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17499502>

Domingo, J. L. (2001). Evaluación de los potenciales riesgos para la salud en el entorno de plantas cementeras: metales pesados, dioxinas y furanos. *Sta.* <http://wp.fundacion-cema.org/wp-content/uploads/2017/07/CimentdrdomingoBcn08.pdf>

Duque Sarango, P. J., & Chinchay Rojas, L. V. (2008). Diagnóstico ambiental en tres mataderos de ganado en la provincia de Loja y diseño del plan de manejo ambiental (Bachelor's thesis). <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/5665>

Duque-Sarango, P. J., Cajamarca-Rivadeneira, R., Wemple, B. C., & Delgado-Fernández, M. E. (2019) Estimación del balance hídrico de la Microcuenca Chaquilcay en el área de interceptación con el Bosque y Vegetación Protector Aguaronco, Gualaceo-Ecuador.

Eiband, M. M., Kamélia, C. D. A., Gama, K., de Melo, J. V., Martínez-Huitle, C. A., & Ferro, S. (2014). Elimination of Pb<sup>2+</sup> through electrocoagulation: Applicability of adsorptive stripping voltammetry for monitoring the lead concentration during its elimination. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 717, 213-218. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572665714000538>

Ganzhi Fabian, Muñoz Cristian, Rodríguez Daniel (2013) Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bits-tream/123456789/30004/1/178-655-1-PB.pdf?fbclid=IwAR2eGje8ZTVuI2B-M6kaoJuymgwVzKVw14LF6MsYpFb61UGWc5XkGEsFu5M>

- García Villegas, V. R., Yipmantin Ojeda, A. G., Guzmán Lezama, E. G., Pumachagua Huertas, R., & Maldonado García, H. J. (2011). Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(3), 173-181. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2011000300002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2011000300002&script=sci_arttext)
- Guapisaca, Maricela (2016) Tratamiento de fangos residuales procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de huevos helmintos. <https://dspace.ups.edu.ec/browse?type=author&value=Livichuzca+Guapisaca%2C+Maricela+Natali>
- Khaled, B., Wided, B., Béchir, H., Elimame, E., Mouna, L., & Zied, T. (2015). Investigation of electrocoagulation reactor design parameters effect on the removal of cadmium from synthetic and phosphate industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535214003621>
- Linares-Hernández, I., Martínez-Miranda, V., Díaz, C. B., Pavón-Romero, S., Bernal-Martínez, L., & Lugo, V. L. (2011). Oxidación de materia orgánica persistente en aguas residuales industriales mediante tratamientos electroquímicos. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2(1), 21-36. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3624174>
- Martínez, L., & Lugo, V. L. (2011). Oxidación de materia orgánica persistente en aguas residuales industriales mediante tratamientos electroquímicos. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2(1), 21-36. <https://www.re-dalyc.org/articulo.oa?id=323627681003>
- Mao, J., Won, S. W., Vijayaraghavan, K., & Yun, Y. S. (2009). Surface modification of *Corynebacterium glutamicum* for enhanced Reactive Red 4 biosorption. *Bioresource technology*, 100(3), 1463-1466. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085240800669X>
- Metcalf and Eddy. (1979). *Wastewater Engineering: Treatmentm Disposal, Reuse*. McGraw-Hill. [https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa\\_de\\_aguas\\_residuales\\_Volumen\\_1\\_3ra\\_Edici%C3%B3n\\_-\\_METCALF\\_and\\_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf?auto=download](https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_-_METCALF_and_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf?auto=download)
- Meunier, N., Drogui, P., Gourvenec, C., Mercier, G., Hausler, R., & Blais, J. F. (2004). Removal of metals in leachate from sewage sludge using electrochemical technology. *Environmental technology*, 25(2), 235-245. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330409355457>
- Organización Mundial de la Salud (1989) *Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura*. Serie de informes técnicos 778, OMS. Ginebra. 90 págs. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/39333>
- Pérez Zúñiga, María (2016) Tratamiento de fangos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (PB). <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12045>
- Sarango, P. J. D., Heras-Naranjo, C., Lojano-Criollo, D., & Vilorio, T. (2018). Modelamiento del tratamiento biológico de aguas residuales; estudio en planta piloto de contactores biológicos rotatorios.//Modeling of biological wastewater treatment; study in pilot plant of rotating biological contactors. *Ciencia Unemi*, 11(28), 88-96.
- Valor Rizo, A. (2017). Diseño de una planta de concentración de fangos activos procedentes de un tratamiento biológico, mediante ósmosis directa, con el objeto de mejorar su rentabilidad económica <https://riunet.upv.es/handle/10251/85384>