

REACTOR DE FLUJO CONTINUO PARA LA REMOCIÓN DEL PLOMO POR ELECTROCOAGULACIÓN EN LAS AGUAS DEL RÍO COATA, PUNO-PERÚ

CONTINUOUS FLOW REACTOR FOR THE REMOVAL OF LEAD BY ELECTROCOAGULATION IN THE WATERS OF THE COATA RIVER, PUNO-PERU

Lozada Vilca Russel Allidren ¹, George Argota Pérez ², Edson Ramos Ninaja ¹,
Rony Milton Choqueneira Ccama ¹

RESUMEN

El objetivo fue diseñar un reactor de flujo continuo para la remoción experimental del plomo por electrocoagulación en las aguas del río Coata de Puno, Perú. El diseño del reactor consistió en dos celdas de flujo continuo que se conectaron por un canal de tuberías. Las dimensiones de las celdas fueron las siguientes: 17 x 20 x 30 cm. Los electrodos con medición de 23 x 11 cm. y con un adicional de 1 cm². Asimismo, la fuente de voltaje fue de 50 Vdc con una densidad de corriente de 0.8 A. El ángulo de salida para el fluido fue de 45° donde existió un caudal de 0.008 L/s con 18.36 minutos de tiempo de retención en la primera celda y 34.68 min en la segunda, respectivamente. La concentración inicial del plomo en la muestra de aguas sin tratamiento fue de 0.081 mg/L⁻¹. Para la primera celda, la concentración que se halló fue de 0.038 mg/L⁻¹, mientras que, 0,011 mg/L⁻¹ correspondió a la segunda celda. Los resultados indican un porcentaje de remoción del 53% y 86% para cada celda. Se concluye que, el diseño del reactor de flujo continuo removió de forma satisfactoria y en condiciones experimentales las concentraciones de plomo en las aguas del río Coata de Puno, Perú.

Palabras clave: agua, contaminación, electrocoagulación, plomo, río Coata

ABSTRACT

The aim was to design a continuous flow reactor for the experimental removal of lead by electrocoagulation in the waters of the Coata River in Puno, Peru. The reactor design consisted of two flow-through cells that were connected by a pipe channel. The dimensions of the cells were as follows: 17 x 20 x 30 cm. The electrodes measured 23 x 11 cm. and with an additional 1 cm². Likewise, the voltage source was 50 Vdc with a current density of 0.8 A. The exit angle for the fluid was 45° where there was a flow of 0.008 L/s with 18.36 minutes of retention time in the first cell. and 34.68 min in the second, respectively. The initial concentration of lead in the untreated water sample was 0.081 mg/L⁻¹. For the first cell, the concentration found was 0.038 mg/L⁻¹, while 0.011 mg/L⁻¹ corresponded to the second cell. The results indicate a removal percentage of 53% and 86% for each cell. It is concluded that the design of the continuous flow reactor satisfactorily removed lead concentrations in the waters of the Coata River in Puno, Peru under experimental conditions.

Key words: Coata River, electrocoagulation, lead, pollution, water

INTRODUCCIÓN

La exposición no regulada de elementos químicos en los cuerpos de agua genera problemas ambientales a todos los organismos, así como al propio ecosistema (Deng *et al.*, 2017; Chai *et al.*, 2017), por cuanto se necesita monitorear la calidad del agua para evaluar si es adecuada según el valor de uso que se desee incluyendo su servicio potable (Allaire *et al.*, 2018; Paul *et al.*, 2019).

Entre los elementos químicos se encuentra el plomo y se conoce los múltiples daños que ocasiona a la salud humana, pero lo significativo es el deterioro al sistema nervioso central y que repercute sobre las funciones cognitivas e intelectuales, fundamentalmente, en fetos y niños (as) (Jusko *et al.*, 2008). Las tuberías de plomo que se conectan al sistema o red de plomería doméstica para el servicio público son una de las principales fuentes de exposición (Sandvig *et al.*, 2008; Del Toral *et al.*, 2013). Por ejemplo, en los EE.UU. se estima que existen 6.1 millones de tuberías de plomo (Cornwell *et al.*, 2016) y entre 6.5 a 10 millones de hogares prescindan de líneas de servicios que estarían fabricadas de plomo (EPA, 2016). Si las fuentes de suministro del agua y las operaciones para su tratamiento no se planifican de manera eficiente, siempre ocurrirá la liberación excesiva de plomo (Pieper *et al.*, 2018; Roy & Edwards, 2019).

En los últimos años, existe gran interés por parte de la comunidad científica en la búsqueda de métodos eficientes para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales y otras fuentes de uso de la población humana. Una de las técnicas es la electrocoagulación donde se utiliza un reactor autocatalítico para mejorar la cinética de adsorción y con ello, eliminarse el metal de interés (AlJaberi, 2020). La eliminación de los metales se produce por la presencia de ánodos convencionales tales como el aluminio, hierro y el cobre. Sin embargo, estos sistemas tienen la desventaja de ser costosos debido a su requerimiento de energía eléctrica y los propios materiales de electrodos los cuales influyen de modo directo en eficiencia de la electrocoagulación (Hussin *et al.*, 2017). El objetivo fue diseñar un reactor de flujo continuo para la remoción experimental del plomo por electrocoagulación en las aguas del río Coata de Puno, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el río Coata de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno, Perú. Se seleccionó una zona de exposición (E: 385447, N: 8285387 19 L UTM) para el muestreo probabilístico aleatorio de las aguas (ISO, 1980, 1991, 1994).

Se determinó en el Laboratorio Acreditado "RHLAB S.A.C." la concentración total (mg/L^{-1}) de plomo en la que su comparación normativa fue según el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, Categoría 1. Para el tratamiento de las muestras de aguas se diseñó un reactor de flujo continuo (Figura 1) con las características siguientes:

- a. Dos celdas de flujo continuo que se conectaron por un canal de tuberías.
- b. Las dimensiones de las celdas fueron: 17 x 20 x 30 cm.
- c. Electrodo con medición de 23 x 11 cm. y con un adicional de 1 cm^2 .
- d. Fuente de voltaje fue de 50 Vdc con una densidad de corriente de 0.8 A.
- e. Ángulo de salida para el fluido fue de 45°
- f. Caudal de 0.008 L/s con 18.36 minutos de tiempo de retención en la primera celda y 34.68 min en la segunda.



Figura 1. Reactor de tipo continuo / tratamiento de plomo / matriz agua

Se analizó el porcentaje (%) de remoción del plomo por electrocoagulación entre las celdas 1 y 2 para estimar la eficiencia del reactor de flujo continuo según la concentración que establece la norma ambiental que se utilizó.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra la concentración total promedio (mg/L^{-1}) de las muestras de aguas procedente del río Coata y el valor que establece Decreto Supremo (DS) N°004-2017-MINAM.

Tabla 1
Concentración total de plomo (mg/L^{-1}) / río Coata

Elemento	Réplicas	Concentración	DS N°004-2017-MINAM
Pb	1	0.079	0.5
	2	0.081	
	3	0.082	

La Tabla 2 muestra el porcentaje de remoción por electrocoagulación para cada celda de flujo continuo donde sus valores se encontraron por debajo del límite máximo permisible según la norma ambiental que se utilizó.

Tabla 2
Porcentaje de remoción (%) / reactor de flujo continuo

Elemento	Celda de flujo continuo	Concentración total	Porcentaje	DS N°004-2017-MINAM
Pb	1	0.038 \pm 0,003	53.09	0.5
	2	0.011 \pm 0,002	86.42	

Los metales pesados generan efectos perjudiciales y en las últimas décadas se tiene mayor conciencia para la preservación de los ecosistemas acuáticos (Aji et

al., 2012). Ante la contaminación del agua, la comunidad científica enfrenta como nuevos desafíos la búsqueda de métodos confiables y rentables para su tratamiento (Hakizimana *et al.*, 2017). Uno de estos métodos es la electrocoagulación ya que al no requerirse de elementos químicos, tampoco se producen efectos secundarios (Moussa *et al.*, 2017), pero debe mencionar que la electrocoagulación asistida por otros procesos de tratamientos avanzados contribuye a mejorar la calidad de los efluentes (Al-Qodah *et al.*, 2018; Al-Qodah, Al-Qudah & Omar, 2019).

En algunos estudios como el que practicó El-Ashtoukhy *et al.*, (2020) se aplicó gas propio, un ánodo de lámina de Al^+ cilíndrico y un cátodo de pantalla de igual material y colocado a una pequeña distancia del ánodo. Se halló porcentajes de remoción entre el 34,56 y 100% para otros metales como el Cu_2^+ , Ni_2^+ . Asimismo, diversos estudios en la literatura científica pueden contrastarse, pero las condiciones experimentales que se ensayaron en este estudio indicaron que la electrocoagulación que realizó mediante el diseño del reactor de flujo continuo proporcionó un tratamiento adecuado cumpliéndose con el requerimiento del nivel permisible por la norma ambiental que se utilizó.

En el artículo de revisión que realizó Mouzza *et al.*, (2017), y que se refirió a la electrocoagulación para el tratamiento de las aguas residuales: potenciales y desafíos se indicó que, su alta eficiencia contra contaminantes inorgánicos u orgánicos incluidos los persistentes y que se encuentran desde las aguas subterráneas hasta los efluentes de refinерías. Asimismo, se señala que la mayor parte de las evaluaciones se centran en contaminantes específicos sin destacar tipos de diseños, modelación a procesos y aplicaciones industriales.

Existió como principal limitación del estudio, la determinación de otros metales pesados, además, de evaluarse diferentes procesos electroquímicos que refieran al

voltaje, densidad de la corriente, distancia, tipo de conexión, tamaño y área activa de los electrodos para luego indicar algunas características fisicoquímicas del electrolito y que refiera al pH, conductividad eléctrica y la temperatura que son parámetros físico-químicos influyentes en la especiación química de los metales pesados.

Se concluye que, el diseño del reactor de flujo continuo removi6 en condiciones experimentales y mediante el proceso de electrocoagulación el plomo de las aguas del río Coata de Puno, Perú.

REFERENCIAS

- Al Aji, B., Yavuz, Y. & Koparal, A.S. (2012). Electrocoagulation of heavy metals containing model wastewater using monopolar iron electrodes. *Sep. Purif. Technol*; 86, 248-254. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.11.011>
- AlJaberi, F.Y. (2020). Corrigendum to "Studies of autocatalytic electrocoagulation reactor for lead removal from simulated wastewater" *J. Environ. Chem. Eng*; 8(3), 6069–6078. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103511>
- Allaire, M., Wu, H. & Lall, U. (2018). National trends in drinking water quality violations. *Proc. Natl. Acad. Sci*; 115(9), 2078-2083. <https://doi.org/10.1073/pnas.1719805115>
- Al-Qodah, Z., Al-Qudah, Y. & Omar, W. (2019). On the performance of electrocoagulationassisted biological treatment processes: a review on the state of the art. *Environ. Sci. Poll. Res*; 26, 28689-28713. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06053-6>
- Al-Qodah, Z., Al-Shannag, M., Bani-Melhem, K., Assirey, E., Yahya, M.A. & AlShawabkeh, A. (2018). Free radical-assisted electrocoagulation processes for

wastewater treatment. *Environ. Chem. Lett*, 16, 695-714.

<https://doi.org/10.1007/s10311-018-0711-1>

Chai, L., Chen, A., Luo, P., Zhao, H. & Wang, H. (2017). Histopathological changes and lipid metabolism in the liver of *Bufo gargarizans* tadpoles exposed to Triclosan. *Chemosphere*; 182, 255-266.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.040>

Cornwell, D.A., Brown, R.A. & Via, S.H. (2016). National survey of lead service line occurrence. *J. Am. Water Work. Assoc*; 108(4), 182-191.

<https://doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0086>

Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Consultado 2-febrero-2021. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>

Del Toral, M.A., Porter, A. & Schock, M.R. (2013). Detection and evaluation of elevated lead release from service lines: a field study. *Environ. Sci. Technol*; 47(16), 9300-9307. <https://doi.org/10.1021/es4003636>

Deng, H., Chai, L., Luo, P., Zhou, M., Nover, D. & Zhao, X. (2017). Toxic effects of NH₄⁺-N on embryonic development of *Bufo gargarizans* and *Rana chensinensis*. *Chemosphere*; 182, 617-623.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.156>

El-Ashtoukhy, E.-S. Z., Amin, N. K., Fouad, Y. O. & Hamad, H. A. (2020). Intensification of a new electrocoagulation system characterized by minimum energy consumption and maximum removal efficiency of heavy metals from simulated wastewater. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*; 154, 2-12. <https://doi:10.1016/j.cep.2020.108026>

EPA. (2016). Lead and Copper Rule Revisions White Paper. United States Environ. Prot. Agency (October), 1-18.

Hakizimana, J.N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P. & Naja, J. (2017). Electrocoagulation process in water treatment: a review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*; 404, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.011>

Hussin, F., Abnisa, F., Issabayeva, G. & Aroua, M.K. (2017). Removal of lead by solar-photovoltaic electrocoagulation using novel perforated zinc electrode. *Journal of Cleaner Production*; 147, 206-216. <https://doi:10.1016/j.jclepro.2017.01.096>

Jusko, T.A., Charles Jr., R.H., Lanphear, B.P., Cory-Slechta, D.A., Parsons, P.J. & Canfield, R.L. (2008). Blood lead concentrations < 10 micrograms/dL and child intelligence at 6 Years of age. *Environ. Health Perspect*, 116(2), 243-248. <https://dx.doi.org/10.1289%2Fehp.10424>

Moussa, D.T., El-Naas, M.H., Nasser, M. & Al-Marri, M.J. (2017). A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: potentials and challenges, J. *Environ. Manage*; 186, 24-41. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.032>

Normalization Standard International: ISO 5667-1. (1980). Water quality. Sampling. Part 1: Guidance on the design of sampling programmes.

Normalization Standard International: ISO 5667-2. (1991). Water quality. Sampling. Part 2: Guidance on sampling techniques.

Normalization Standard International: ISO 5667-3. (1994). Water quality. Sampling. Part 3: Guidance on the preservation and handling of samples.

- Paul, S., Mandal, A., Bhattacharjee, P., Chakraborty, S., Paul, R. & Kumar Mukhopadhyay, B. (2019). Evaluation of water quality and toxicity after exposure of lead nitrate in fresh water fish, major source of water pollution. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*; 45(4), 345-351.
<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.09.001>
- Pieper, K.J., Martin, R., Tang, M., Walters, L., Parks, J., Roy, S., Devine, C. & Edwards, M.A. (2018). Evaluating water lead levels during the flint water crisis. *Environ. Sci. Technol*; 52(15), 8124-8132.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00791>
- Roy, S. & Edwards, M.A. (2019). Preventing another lead (Pb) in drinking water crisis: lessons from the Washington D.C. and Flint MI contamination events. *Curr. Opin. Environ. Sci. Heal*; (7), 34-44.
<https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.10.002>
- Sandvig, A., Kwan, P., Kirmeyer, G., Maynard, B., Mast, D., Trussell, R.R., Trussell, S., Cantor, A. & Prescott, A. (2008). Contribution of Service Line and Plumbing Fixtures to Lead and Copper Rule Compliance Issues, vol. 523. Awwa Res. Found. - US Environ. Prot. Agency.

1 Universidad Peruana Unión (UPeU). Juliaca, Puno-Perú. lessurlv2@yahoo.es

2 Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI". Perú. george.argota@gmail.com