

# La electrocoagulación, una alternativa para el tratamiento de aguas residuales en el departamento de Nariño

**Renato Arturo Pantoja Guerrero**

Docente Programa Ingeniería Ambiental  
Universidad Mariana

**Darío Julián Armero Santacruz**

Estudiante del Programa Ingeniería Ambiental  
Universidad Mariana

## Introducción

**E**n la actualidad, el consumo del recurso hídrico proveniente de fuentes superficiales va en incremento con relación al factor demográfico, creando la necesidad de dar tratamiento a las aguas provenientes de los diferentes usos (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2010). Debido a esto, se asumen nuevos retos a nuevas investigaciones que propendan ideas innovadoras y sostenibles, llevando a la adaptación tecnologías eficientes que permitan la protección, conservación y recuperación del recurso hídrico.

El continuo crecimiento poblacional junto con las actividades antrópicas de desarrollo masivo ha impactado de forma negativa uno de los recursos más abundantes e indispensables para la vida como es el agua. Se considera aguas residuales aquellas que han sido usadas por el hombre y luego vertidas como desecho por llevar consigo una carga contaminante, como materiales sólidos, residuos, sustancias tóxicas, microorganismos, entre otros agentes que deterioran la calidad del agua, cambiando sus características fisicoquímicas y biológicas iniciales (Restrepo, Arango y Garcés, 2006).

Cabe resaltar que, Colombia es uno de los pioneros en los temas de tratamien-

to de aguas residuales, no obstante, tan solo logra tratar el 10 % de aguas contaminadas. Con un total de 1.122 municipios aproximadamente en el país, el 48,2 %, que equivale a 541 municipios, posee un sistema de tratamiento capaz de tratar el agua de forma eficiente (Venegas, 2018).

Para dar una solución a esta problemática, se concluye el hacer uso de tecnologías para la depuración y control de contaminantes presentes en el agua. Sin embargo, es de suma importancia determinar el tratamiento para cada tipo de agua. Se debe tener en cuenta que el procedimiento también tiene que cumplir con el propósito, alcanzar efectividad y bajos costos, sin dejar de lado que posea ventajas ambientales. Por consiguiente, los estudios en la actualidad se encuentran enfocados a la innovación. En el presente documento se destaca la técnica de la electrocoagulación como una posible alternativa para el tratamiento de aguas residuales en el departamento de Nariño, el cual no cuenta con procesos de gran envergadura, ni gran disposición para insumos químicos, pero sí con una gran potencia energética para solventar una tecnología, como la electrocoagulación, esta característica la posiciona como un contrafuerte para los sistemas tradicionales, y soluciona de forma efectiva y sostenible la problemá-

tica en la actualidad (Chávez, Cristancho y Ospina, 2009).

## Electrocoagulación

Básicamente, la técnica de electrocoagulación cumple con el proceso de tratar y flocular el agua residual mediante la aplicación de una corriente eléctrica sin tener que agregar un coagulante (Butler, Hung, Yeh & Al Ahmad, 2011). Este tipo de tecnología rescata los principios de coagulación y floculación, los cuales son desestabilizar partículas coloidales formadas por la eliminación de la doble capa eléctrica que las cubre, lo cual provoca la aglomeración de las mismas, además, por su tamaño éstas se sedimentan y se logran eliminar de forma más sencilla (Ojeda, 2012). Tanto el método de electrocoagulación como el de coagulación tradicional dependen de la disolución anódica e hidrólisis de ánodos y cátodos metálicos como aluminio, hierro, y la formación de hidróxidos metálicos tales como  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  y  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (Eskibalci & Mehmet, 2018). El proceso de depuración de las aguas residuales se lleva a cabo en un reactor electroquímico considerado como una celda electrolítica, en la cual se hace uso de conductores de sacrificio como ánodos, cátodos y electrodos. Estos permanecen inmersos en el fluido durante el tratamiento (ver Figura 1).

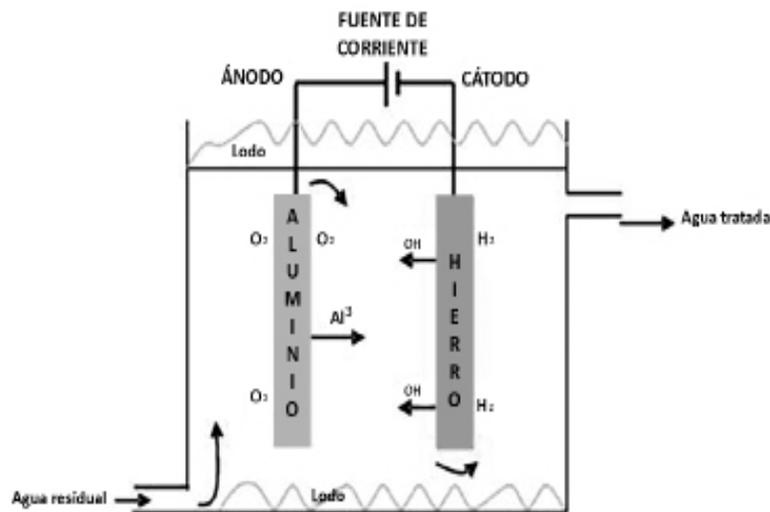


Figura 1. Esquema reactor de electrocoagulación.  
Fuentes: Restrepo et al. (2006).

El paso de la corriente eléctrica da inicio a una reacción de óxido reducción que forman iones metálicos ( $Al^{+3}$  o  $Fe^{+2}$ ), por lo general, la oxidación afecta al ánodo y el cátodo presenta una reducción, los iones se unen a iones hidroxilos resultantes de la electrólisis del fluido y dan paso a la formación de hidróxidos metálicos (Morales y Acosta, 2010; Manangón, 2010); en comparación con otras técnicas, ésta produce menor cantidad de lodo, por lo tanto, es importante el diseño, donde el equipo adquiere sus características, como tener un electrodo plano de metal hierro, aluminio, acero inoxidable, o de textura porosa, puede ser hecho del mismo metal, pero con ambos electrodos o una combinación de diferentes electrodos de metal (AlJaberi, 2018).

Cabe mencionar que, el hidróxido de aluminio  $Al(OH)_3$  es una estructura amorfa, que posee características como ser insoluble en el agua debido a su densidad, lo cual le da una cualidad gelatinosa y provoca una mayor área para la adsorción de contaminantes (Manangón, 2010). Dentro del proceso de la electrocoagulación se llevan a cabo muchos cambios y existen variables que afectan la eficiencia de la técnica como tal. A continuación, se recopila las variables más influyentes en el desempeño de esta.

#### Factores que afectan la electrocoagulación

**Tiempo de reacción.** Esa variable se caracteriza por ser proporcional a la cantidad de iones de hierro o aluminio que se disuelven en el fluido (Ferniza, 2017), lo anterior se evidencia en un estudio en el cual se procede a remover boro (B) en una baja concentración de una solución acuosa. El experimento va de 10 a 120 min y se determina que la eficiencia del proceso de electrocoagulación va en aumento con relación al tiempo de reacción (Dolati, Aghapour, Khorsandi & Karimzadeh, 2017). También logró determinar que antes de los 40 minutos de iniciado el experimento, la tendencia de eliminación presenta una leve pendiente de reacción para la baja remoción del boro (B), pero en tipos superiores a este presenta una pendiente más lineal, esto debido a que entre mayor sea el tiempo del procedimiento mayor será la formación de hidróxidos de hierro o aluminio en el reactor.

**Densidad de corriente.** Las variables electivas son los parámetros que más causan efectos en el proceso de depuración de aguas residuales. La energía proporcionada por las celdas electroquímicas puede ser de corriente alterna o directa y el paso de esta puede causar diferentes respuestas electroquímicas en el medio (Pérez, 2018). Esta variable se ve influenciada por otras como el pH y la temperatura. Por lo general, se debe tra-

bajar con voltajes menores a 60 y con un amperaje variable con relación a las características químicas del agua, presentando diferentes eficiencias de remoción en el tratamiento (Carhuancho y Salazar, 2015). Cuando se aplica un voltaje mayor a este, la eficiencia del sistema tiende a disminuir, debido a un cambio que existe en el tipo de energía, que pasa de eléctrica a calórica, lo cual hace que los electrodos dejen de liberar iones de hierro y aluminio (Morales, 2015; Moussa, El-Naas, Nasser & Al-Marri, 2017). Sin embargo, cabe aclarar que se debe trabajar con una densidad de corriente siempre considerable, debido a que esta afecta a la cinética de eliminación directamente. Aumentado a la extensión de la disolución anódica, formando así una mayor cantidad de burbujas y un aumento considerable en el precipitado para la eliminación de contaminantes (Elazzouzia, Haboubi & Elyoubi, 2017).

**Potencial de Hidrógeno (pH).** El equilibrio es primordial para desentrañar cómo el pH contribuye a dictar el correcto funcionamiento del proceso de electrocoagulación dentro del reactor, se le atribuye gran parte de los procesos de adsorción y coagulación a este parámetro debido a sus cargas específicas y cómo interactúan con los contaminantes (Hakizimana et al., 2017). Tiene gran aporte en la corriente, exactamente el

proceso de solubilidad de los ánodos para la formación de hidróxidos, estudios revelan que las mejores remociones se encuentran en un pH cercano a 7 (Ferniza, 2017).

A grandes rasgos, las anteriores variables son las más estudiadas por los investigadores de la técnica de electrocoagulación, debido a que son las que más influyen en el proceso como tal, y permiten obtener un análisis más exhaustivo de la eficiencia del sistema que se implemente, el cual puede variar según el tratamiento al que se quiere llevar esta técnica. De igual forma, existen otras variables importantes, pero impactan en menor nivel, como: el tipo de material, tamaño y distancia en los electrodos; el tipo de conexiones utilizadas; el amperaje y voltaje aplicado; temperatura y conductividad del agua; el tiempo de residencia y el tipo de flujo utilizado.

### Ventajas y desventajas de la electrocoagulación

Tabla 1. *Ventajas y desventajas*

Ventajas	Desventajas
Los equipos a usar son sencillos y de fácil operación.	Lodos con alta cantidad de hierro o aluminio según sea el electrodo de sacrificio.
Los costos de inversión son bajos.	
Durante su proceso no se hace uso de químicos.	La sobre formación del óxido alrededor del ánodo puede reducir notablemente la eficiencia del tratamiento.
Genera menor cantidad de lodos.	
Su rango de remoción abarca una amplia lista de contaminantes entre otras.	

Las deficiencias o desventajas de la tecnología dependen netamente del tipo de diseño en el cual se trabaje, debido a que cada uno de los factores que influyen o afectan el sistema de electrocoagulación determinan su eficiencia, por ejemplo, cuando se habla de lodos con gran cantidad de hierro o aluminio es por el sobre uso que se les da a los ánodos de sacrificio, desventaja que se puede corregir realizando su mantenimiento rutinario. De igual forma, podemos destacar que la técnica presenta más ventajas que la hacen una opción viable a la hora de tomar de una decisión novedosa para la región de Nariño, que busca la innovación en sus sistemas de tratamiento.

### Conclusiones

La electrocoagulación es una técnica viable para el tratamiento de aguas residuales en el contexto del departamento de Nariño, sin embargo, se deben tener en cuenta aspectos referentes al consumo potencial energético y de mantenimiento, para que su implementación en la región sea efectiva y sostenible.

El departamento de Nariño no cuenta con una cobertura total en cuanto a tratamiento de aguas residuales, en este sentido, la tecnología de electrocoagulación podría constituir una de las opciones necesarias para la disminución de impactos negativos por vertimientos en los principales ríos, entre ellos: río Putumayo, río Napo, río Miramataje, río Patía, río San Juan del Micay, que constituyen la cuenca hidrográfica del territorio Nariñense.

Respecto a los aspectos técnicos de las referencias bibliográficas consultadas, se evidencia que las limitaciones de la implementación del tratamiento terciario son el alto costo en cuanto al consumo energético y la generación de lodos con altos niveles de hierro o aluminio, esto depende del tipo de ánodo utilizado en la celada electrostática. Dichas limitaciones deberán de considerarse para la optimización de los procesos

del tratamiento en cuanto a esta técnica novedosa.

### Referencias

- Aljabei, F. (2018). Studies of autocatalytic electrocoagulation reactor for lead removal from simulated wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5), 6.069-6.078.
- Butler, E., Hung, Y., Yeh, R. & Al Ahmad, M. (2011). Electrocoagulation in wastewater treatment. *Water*, 3, 495-525. doi:10.3390/w3020495
- Carhuanchó, H. y Salazar, J. (2015). *Estudio del efecto de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales covicorti en la ciudad de Trujillo-La Libertad* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Recuperado de [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3590/CarhuanchóAlcantara\\_H%20-%20SalazarEscobar\\_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3590/CarhuanchóAlcantara_H%20-%20SalazarEscobar_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Chávez, Á., Crisanchó, D. y Ospina, É. (2009). Una alternativa limpia para el tratamiento de las aguas residuales galvánicas: revisión bibliográfica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14), 39-50.
- Dolati, M., Aghapour, A., Khorsandi, H. & Karimzadeh, S. (2017). Boron Removal from Aqueous Solutions by Electrocoagulation at Low Concentrations. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 5.150-5.156. doi: 10.1016/j.jece.2017.09.055
- Elazzouzi, M., Haboubi, K. & Elyoubi, M. (2017). Electrocoagulation flocculation as a low-cost process for pollutants removal from urban wastewater. *Chemical engineering and design*, 117, 614-626. doi: 10.1016/j.cherd.2016.11.011
- Eskibalci, F. & Furkan, M. (2018). Comparison of conventional coagulation and electrocoagulation methods for

- dewatering of coal preparation plant. *Minerals Engineering*, 122, 106-112. doi: 10.1016/j.mineng.2018.03.035
- Ferniza, F. (2017). *Eficiencia de un sistema acoplado electrocoagulación-fitoremediación para la remoción de Pb, Cu, Cb y Zn presentes en efluentes mineros* (tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.
- Hakizimana, J., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, Drogui, P. & Naja, J. (2017). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*, 404, 1-21. doi: 10.1016/j.desal.2016.10.011
- Manangón, E. (2010). Evaluación de la electrocoagulación para tratamiento de efluentes generados por una empresa de mantenimiento de motores. *Revista Politécnica*.
- Morales, N. y Acosta, G. (2010). Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 20(1), 33-44.
- Morales, P. (2015). *Tratamiento de aguas residual de biodiesel por electrocoagulación*. Politécnico Nacional.
- Moussa, D., El-Naas, M., Nasser, M. & Al-Marri, M. (2017). A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. *Environ Manage*, 186(Pt 1). doi: 10.1016/j.jenvman.2016.10.032
- Ojeda, L. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del tro-paeolum tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de puengasí de la emmaps* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3866/1/UPS-QT03424.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2010). El 3er Informe sobre el Desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. París: UNESCO.
- Pérez, L. (2018). *Uso de la electrocoagulación para reducir la carga de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales Ajeper-Huachipa 2017 II* (tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/20565/Perez\\_BLS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/20565/Perez_BLS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Restrepo, A., Arango, Á. y Garcés, L. (2006). La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción + limpia*, 1(2), 58-77.
- Venegas, A. (16 de marzo de 2018). Solamente 48,2 % de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales. *La República*. Recuperado de <https://www.larepublica.co/infraestructura/solamente-482-de-los-municipios-cuentan-con-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-2611155>

