

Tratamiento piloto de electrocoagulación aplicado en aguas residuales derivadas de procesos con lácteos

Electrocoagulation pilot treatment applied to waste waters derived from dairy processes

Pinilla Galvis, Candy Natalie¹, Vesga Rueda, Mayra Alejandra¹ y Estupiñán Pinto, Rafael Antonio²
Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
San Gil, Colombia

dulce_9101@hotmail.com
aleves1213@gmail.com
restupinan@unisangil.edu.co

Fecha de recepción: 01 de septiembre de 2015

Fecha de aceptación: 10 de abril de 2018

Resumen- El tratamiento piloto de electrocoagulación establece parámetros óptimos de corriente, volumen, áreas de electrodos y tiempos de reacción, que al ser aplicado en condiciones establecidas permite la descarga de vertidos que cumplen con los valores establecidos legalmente y además se logran eficiencias de remoción de contaminantes de la industria láctea que pueden tener algún impacto sobre las fuentes receptoras. Los diseños de electrocoagulación pueden realizarse con celdas electroquímicas Bach y de flujo continuo. Este artículo presenta los resultados de un proyecto de investigación donde se desarrolló una celda electroquímica tipo Batch, induciendo corriente eléctrica al medio acuoso (lacto suero) por medio de electrodos de aluminio (ánodos y cátodos) durante intervalos de tiempo menores a quince (15) minutos, para determinar mediante la caracterización fisicoquímica –D.Q.O y sólidos totales- la cantidad de carga que ha sido removida bajo condiciones específicas (determinadas en el laboratorio), y poder así proponer un tratamiento piloto de electrocoagulación para tratar aguas residuales derivadas de procesos con lácteos.

Palabras claves- Electrocoagulación, corriente, electrodos, tiempo, normatividad

Abstract- The electrocoagulation pilot treatment establishes optimal parameters of electricity, volume, areas of electrodes, reaction times, that when applied under established conditions, it allows the discharge of spills that comply with the legally established values and in addition, has efficiencies of removal of pollutants from the dairy industry that may have some impact on the receiving sources. Electrocoagulation designs can be performed with continuous flow Bach electrochemical cells. This article presents the results of a research project where a Batch-type electrochemical cell was developed, inducing electric current to the

aqueous medium (lacto serum) through aluminum electrodes (anodes and cathodes) during time intervals of less than fifteen (15) minutes, to determine by physical-chemical characterization -COD and total solids- the amount of load that has been removed under specific conditions (determined in the laboratory), and thus be able to propose a pilot electrocoagulation treatment to treat wastewater derived from dairy processes.

Key words - Electrocoagulation, type Batch, whey, dairy wastewater, electrochemical cells.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los retos a los que se enfrentan los ingenieros ambientales y que requiere grandes esfuerzos es el diseño o mejoramiento de procesos que disminuyan el impacto ambiental antropogénico en el recurso hídrico; en este sentido, la optimización de procesos de tratamiento alternativo para aguas residuales industriales, es una opción de mitigación ambiental frente a los efectos adversos generados por los vertidos industriales sin tratamiento previo. Las industrias alimenticias, en especial las procesadoras de lácteos, son generadoras a gran escala de aguas residuales con altos contenidos de grasas, aceites, fósforo, nitrógeno, cargas orgánicas y lactosa, responsables de cambios en las condiciones de los medios receptores – cambio en el pH, disminución de oxígeno disuelto, aumento de carga orgánica, entre otros-, los cuales pueden perturbar los ciclos biológicos [1] de los ecosistemas acuáticos; es por esto que se estudia la electrocoagulación como tratamiento

¹ Ingeniero Ambiental, UNISANGIL

² Ingeniero Químico, Coordinador Laboratorio de Aguas UNISANGIL.

alternativo, la cual emplea corriente eléctrica como método para remover carga contaminante; al inducir esta corriente en el medio acuoso genera la desestabilización de las cargas y precipitación de sólidos disueltos y suspendidos, este método se realiza sin llevar a cabo la adición de sustancias químicas como ocurre en el proceso convencional de coagulación [2].

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la remoción de carga contaminante mediante un tratamiento piloto de electrocoagulación realizado en el Laboratorio de Aguas en la Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL.

II. DISEÑO DE LA CELDA Y OPERACIÓN

Para el diseño de la celda se llevó a cabo una revisión bibliográfica [2][3][4], que permitió definir las variables de diseño, y a la vez, los parámetros que se usaron como variables de respuesta -el porcentaje de remoción de DQO, DBO₅, Sólidos Totales-. Ver tabla 1.

TABLA 1. VARIABLES DE DISEÑO

Variables	Niveles		
Tiempo de reacción (min)	5	10	15
Material de los ánodos	Aluminio		Hierro
Material del cátodo		Aluminio	
Separación de electrodos (cm)	1	3	5

A. Celda de electrocoagulación

El sistema opera como reactor Batch, con capacidad para tratar 700 mililitros de aguas por corrida o montaje residuales. Consta de una celda electrolítica en la cual están sumergidos los tres pares de electrodos, los cuales son placas rectangulares metálicas (de hierro y aluminio) dispuestas en paralelo y conectadas a una fuente de voltaje de corriente directa que proporciona la corriente eléctrica requerida para la electrocoagulación (Tabla 2). La celda reposa sobre una placa de agitación magnética con la finalidad de proporcionar agitación al agua residual láctea -el agitador se ajustó a 200 rpm, asegurando que los electrodos no se colmaten y a su vez no se produzca un rompimiento de los flocs.-. Ver Figura. 1.

Una vez definido el diseño de la celda, se estableció realizar 9 experimentos para cada material, a cada uno de los experimentos se le realizó una réplica; las variables de operación de la celda se determinaron como se muestra en la tabla 2.

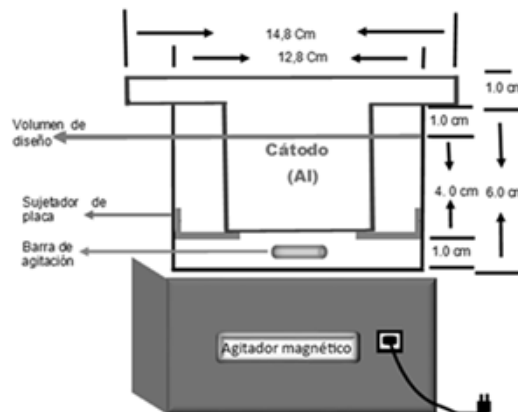


Fig. 1 Diseño de la celda electrolítica.

TABLA 2. VARIABLES DE OPERACIÓN

Variable	Valor
Corriente (Amp)	1,69
Voltaje (V)	2,35
Densidad de corriente (A/cm ²)	0,100
Agitación (rpm)	200

III. CARACTERIZACIÓN DEL LACTO SUERO

El agua residual usada para los experimentos se obtuvo de una microempresa láctea de la región. Se tomaron cuatro muestras para la caracterización inicial y la aplicación del proceso de electrocoagulación. Para el muestreo y caracterización, se siguió el procedimiento establecido por el Laboratorio de Aguas de UNISANGIL. En la tabla 3 se mencionan los parámetros caracterizados a estas aguas y su valor promedio inicial.

TABLA 3. CARACTERIZACIÓN PROMEDIO DEL LACTO SUERO

Variable	Valor
pH	6,7
DQO (mg/l)	75700
DBO ₅ (mg/l)	43700
Turbiedad UNT)	450
Temperatura	26
Grasas y aceites (mg/l)	318
Conductividad (Ms/cm)	16,97
Alcalinidad (mgCaCO ₃ /l)	595
Sólidos Totales (mg/l)	6200

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la caracterización promedio del lacto suero se llevó a cabo la evaluación de remoción alcanzada al implementar las variables establecidas.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Coagulación química

Los experimentos se llevaron a cabo con tres coagulantes químicos: cloruro de hierro, policloruro de aluminio (PAC) y sulfato de aluminio (alumbre), por medio de la prueba de jarras; se realizaron pruebas preliminares donde se determinó que cantidades inferiores a 1500 mg de los coagulantes químicos no generan ningún cambio en la muestra, por lo que se definieron rangos mayores a los establecidos en aguas residuales convencionales. La tabla 4 presenta los resultados obtenidos.

TABLA 4. COAGULACIÓN QUÍMICA

Coagulante	Rango (mg/l)	Observación
Policloruro de aluminio	Hasta 2700	Floculación débil
Cloruro de hierro	Hasta 3100	Floculación normal
Sulfato de aluminio	Hasta 2500	Floculación débil

Los resultados obtenidos en la prueba de jarras permitieron confirmar que el hierro es un material apto para implementarse como electrodo de sacrificio en la celda electrolítica; el aluminio puede implementarse, no obstante la prueba de jarras permite inferir que el porcentaje de remoción es menor que al implementar el hierro como material.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la caracterización promedio del lacto suero, se llevó a cabo la evaluación de remoción alcanzada al implementar las variables establecidas.

B. Resultados en la celda electrolítica

Los resultados obtenidos de los experimentos definidos en la fase de diseño se describen a continuación.

1) *Remoción en la demanda química de oxígeno (DQO)*: los resultados obtenidos en el proceso de electrocoagulación permiten observar que las mayores remociones para DQO se alcanzan cuando se implementa ánodo de aluminio, separación de 2 cm y tiempo de 10 minutos, alcanzando un porcentaje de 92,5, tal como lo expresa la tabla 5.

TABLA 5. RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN EN DQO ALUMINIO VS HIERRO

Tiempo (min)	Aluminio			Hierro		
	1 cm	2 cm	3 cm	1 cm	2 cm	3 cm
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5,0	40,1	46,5	43,3	48,3	77,5	57,2
10,0	47,8	57,7	53,5	64,5	92,5	66,9
15,0	47,8	55,8	53,9	69,0	91,4	70,9

La siguiente figura representa los resultados expresados en tabla 5.

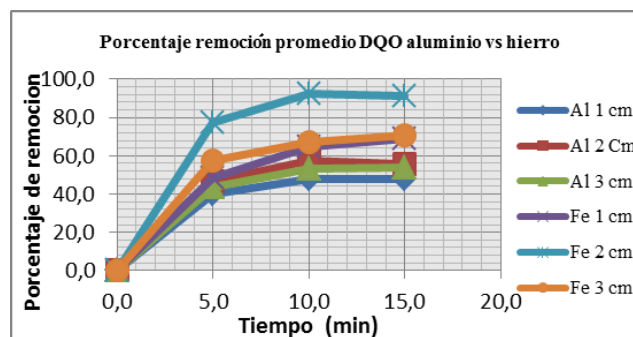


Fig. 2. Porcentaje remoción promedio DQO aluminio vs hierro.

2) *Remoción en la demanda biológica de oxígeno (DBO₅)*: los resultados obtenidos en la celda electrolítica permiten observar que el hierro presenta la mayor remoción para DQO como para DBO₅ bajo iguales condiciones, tal como se expresa en la tabla 6.

TABLA 6. RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN EN DBO₅ ALUMINIO VS HIERRO

Tiempo (min)	Aluminio			Hierro		
	1 cm	2 cm	3 cm	1 cm	2 cm	3 cm
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5,0	40,1	46,5	43,3	48,3	77,5	57,2
10,0	47,8	57,7	53,5	64,5	92,5	66,9
15,0	47,8	55,8	53,9	69,0	91,4	70,9

La figura 3 representa los resultados expresados en la tabla 6.

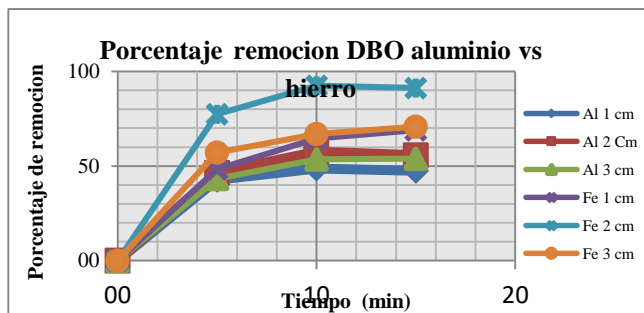


Fig. 3 Porcentaje de remoción DBO aluminio vs hierro.

3) *Remoción en sólidos totales (st)*: para sólidos totales se evidencia que las variables con mayor remoción se repiten para este parámetro al igual que con los dos anteriores (DBO₅, DQO). La tabla 7 presenta los resultados.

TABLA 7. RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN EN ST

Tiempo (min)	Aluminio			Hierro		
	1 cm	2 cm	3 cm	1 cm	2 cm	3 cm
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5,0	39,5	47,9	43,5	47,1	77,5	63,0
10,0	46,1	57,5	53,5	64,5	91,0	67,5
15,0	47,6	45,1	54,5	69,5	91,1	69,5

La figura 4 representa los resultados expresados en la tabla 7.

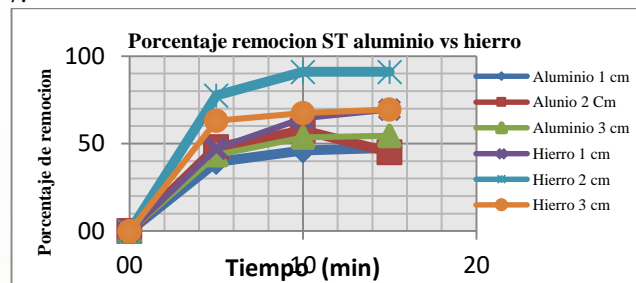


Fig. 4 Diseño de la celda electrolítica.

V. CONCLUSIONES

Con la finalidad de disminuir los impactos generados por el vertido de lacto suero se diseñó un tratamiento piloto de electrocoagulación que al operarse permite tratar, bajo condiciones de laboratorio, aguas residuales lácteas con remociones de cargas contaminantes superiores al 90%.

La electrocoagulación es un tratamiento viable respecto a la operación e instalación, de manera tal que la implementación es factible para pequeñas empresas en la industria láctea, convirtiéndose en un tratamiento alternativo de los convencionales –trampas de grasa, lodos activados, reactor UASB- para las aguas residuales generadas por esta industria.

Teniendo en cuenta la normatividad ambiental, el artículo 72 del Decreto 1594 de 1984 establece que todo vertimiento

deberá cumplir con remociones del 80% en DBO₅, sólidos totales, grasas y aceites, entre otros, para su posterior vertido; el tratamiento desarrollado en esta tesis se encuentra dentro de los parámetros establecidos, no obstante, de acuerdo a la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, se debería implementar un tratamiento secundario o terciario para cumplir con los requerimientos de acuerdo a los parámetros analizados.

REFERENCIAS

- [1] J. D. Pabón, y R. Chaparro. *Colombia en el ambiente global*. IDEAM, 2015.
- [2] A. Arango Ruiz. “Influencia de la conductividad eléctrica en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea” [Investigación], Medellín, Corporación Universitaria Lasallista. 2009.
- [3] A. Arango, “La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales”, en *Lasallista de Investigación*, vol. 2, pp. 54-55, enero-junio 2005.
- [4] A. Aristizábal Castrillón, “Estudio de la factibilidad de un sistema de electrocoagulación para tratamiento de aguas procedentes de lavanderías Industriales con fines de reúso”, Ingeniería Química, trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana Medellín. 2007.
- [5] A. Abaigar. *El lacto suero en la alimentación del ganado porcino*. ITG Ganadero. ISSN- 948-5656. pp. 13-17. 2009.
- [6] G. Acosta, “Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas”, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 20-1, pp. 33-44. abril- mayo. 2010.
- [7] A. Arango. “Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea”, *Universidad EAFIT*, vol. 43, núm. 147, pp. 56-67. julio- septiembre. 2007.
- [8] I. Bodnar, A. Alting and M. Verschuere. “Structural effects on the permeability of whey protein films in an aqueous environment”. *Food Hydrocolloids* 21(5-6): 889–895. 2007.
- [9] J. Callejas Hernández. *Depuración por electrocoagulación en un lacto suero: cinética del proceso*, [investigación], México; Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2012.
- [10] F. Cervantes Escoto. *Impacto económico y ambiental de la quesería en el Valle de Tulancingo*, Hidalgo, [Investigación], México, Universidad Autónoma Chapingo, carrera. 2010.
- [11] M. Fernández, R. Fornari, M. Mazutti, D. Oliveira, F. Ferreira, A. Cichoski, R. Cansian, M. Luccio and H. Treichel. Production and characterization of xanthan gum by *Xanthomonas campestris* using cheese whey as sole carbon source. *Journal of Food Engineering* 90(1): 119–123. 2009.
- [12] H. Restrepo Osorno. “Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable”, Carrera Minas Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 2009.
- [13] D. Reyes Ávila. “Estudio de trazabilidad por electrocoagulación de los lixiviados del relleno sanitario la esmeralda, Ingeniería Ambiental”, trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. 2003.
- [14] Sevilla, *Escuela Organización Industrial*. Los vertidos del sector lácteo. 2008.
- [15] A. Restrepo Mejía. “La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas”. Artículo de revisión. *Revista Corporación Universitaria Lasallista*. 2006. [Online]. Available: http://www.lasallista.edu.co/xcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol1n2/p1_v1n2_58-77_electrocoagulation.pdf
- [16] F. Martínez Navarro. “Tratamiento de aguas residuales Industriales mediante Electrocoagulación y coagulación Convencional”, Ingeniería Química, trabajo de grado, Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real (España). 2007.
- [17] E. Valencia. “La industria de la leche y contaminación del agua” *Elementos ciencia y cultura*, número. 73, p. 27, enero- marzo 2009.