

BOLETÍN DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

| | |
|---|-----|
| REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA PORCINA MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN Daisy Isea, Luís Vargas, José Durán, José Delgado, Daningd Troconis, Jesny Vera y Elaída Villalobos..... | 80 |
| CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN BIVALVOS <i>Anadara tuberculosa</i> Y <i>A. similis</i> DEL ESTERO HUAYLÁ, PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR JohnnyTobar, Mery Ramírez-Muñoz, Ivís Fermín y William Senior..... | 97 |
| EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN EFLUENTES DE TENERÍAS USANDO UN REACTOR POR CARGA SECUENCIAL CON BIOMASA GRANULAR Estefanía Freytez-Boggio, María G. Pire-Sierra, Yelitz Mujica, María C. Pire-Sierra | 117 |
| INVENTARIO DE LA AVIFAUNA DE LA MICROCUENCA AGUADIAS, CUENCA ALTA DEL RÍO LA GRITA, TÁCHIRA, VENEZUELA Luis G. Estela, Daria Pirela, Rosanna Calchi, Steffani C. Olivares y Anderson Saras | 132 |
| INSTRUCCIONES A LOS AUTORES..... | 144 |

Vol.51, Nº2, Agosto 2017

UNA REVISTA INTERNACIONAL DE BIOLOGÍA
PUBLICADA POR LA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA, MARACAIBO, VENEZUELA



Remoción de materia orgánica en aguas residuales de industria porcina mediante electrocoagulación

Daisy Isea, Luís Vargas, José Durán, José Delgado, Daningd Troconis, Jesny Vera y Elaida Villalobos

Centro de Investigación del Agua. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.
Ciudad Universitaria, Lagunas de Oxidación, Maracaibo, Edo. Zulia-Venezuela
Email: daisyisea@yahoo.com; daisyisea2037@gmail.com

Resumen

Las actividades desarrolladas por la industria agropecuaria y en particular la industria porcina, originan efluentes con altas concentraciones de materia orgánica que representan un problema al ser tratados mediante métodos convencionales. Una alternativa es aplicar la electrocoagulación, la cual permite separar simultáneamente metales pesados, sólidos en suspensión y compuestos orgánicos emulsionados del agua utilizando energía eléctrica en lugar de reactivos químicos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la electrocoagulación en la remoción de parámetros fisicoquímicos del efluente de una industria porcina variando la corriente eléctrica a aplicar (150, 225, 300 y 375 mA), los arreglos de los electrodos de hierro y aluminio (desde 1 par hasta 4 pares) y el caudal (3,00; 4,50 y 6,00 L/h). Se estimaron las condiciones óptimas del proceso basadas en la remoción de DQO, sólidos totales y volátiles, color y turbidez. Se obtuvo remociones de materia orgánica expresadas como DQO de 81% con densidad de corriente de 2,94 mA/cm² con tiempo de retención de 60 min. La remoción de color y sólidos totales también alcanzaron porcentajes superiores al 82% y 91% respectivamente. Se evidenció el efecto de la densidad de corriente aplicada y la disposición de electrodos sobre el tratamiento del efluente porcino.

Palabras Clave: Industria porcina; electrocoagulación; materia orgánica; corriente eléctrica; electrodo.

Removal of organic matter in wastewater by electrocoagulation swine industry

Abstract

The activities of the agricultural industry, particularly the swine industry, effluents originate with high concentrations of organic matter that is a problem to be treated by conventional methods. An alternative is to apply the electrocoagulation, which allows you to simultaneously separate heavy metals, solids in suspension and compounds organic emulsified in water using electricity instead of chemical reagents. The aim of this study was to evaluate the effect of electrocoagulation in the removal of physicochemical parameters of effluent from a swine industry by varying the electric current applied (150, 225, 300 and 375 mA), arrangements of iron and aluminum electrodes (from 1 pair up to 4 pairs) and flow rates (3.00, 4.50 and 6.00 L / h). The optimum conditions of the process were estimated based on the removal of COD, total and volatile solids, color and turbidity. Removal of organic matter expressed as COD of 81% with current density of 2.94 mA/cm² with retention time of 60 min was obtained. The removal of color and total solids also reached percentages higher than 82% and 91% respectively. The effect of the applied current density and the electrode arrangement on the treatment of the swine effluent was evidenced.

Key Words: Swine industry; electrocoagulation; organic matter; electrical currents and electrode.

Introducción

En la actualidad, existe un gran impacto negativo en el medio ambiente producido por la actividad industrial, razón por la cual ha sido necesario implementar normativas ambientales cada día más estrictas para las descargas de los efluentes residuales de las industrias, tal como es el caso de las granja de cría de porcinos, cuyos efluentes presentan elevadas concentraciones de materia orgánica y sólidos totales, que pueden causar la contaminación de las aguas naturales, ya que los purines generados industrialmente sin ningún tipo de tratamiento, al ser vertidos a los cauces naturales, pueden incidir en la calidad de las aguas subterráneas, por incremento de la concentración de nitratos, y en las superficiales, por arrastre de la materia orgánica con los nutrientes, principalmente fosfatos, además de amonio y sulfatos, entre otros. Por otro lado, el exceso de nutrientes favorece el crecimiento de las algas desencadenando con ello el agotamiento del oxígeno disuelto y favoreciendo la proliferación de larvas de insectos nocivos y en casos severos se provoca la eutrofización de los cuerpos de agua (Méndez Novelo et al. 2009).

El problema se encuentra en el manejo incorrecto de los desechos, el agua utilizada en el aseo de las instalaciones y la mezcla de excrementos, orina, residuos químicos y biológicos, que son vertidos en las lagunas de oxidación. Para tener una

idea más clara del impacto ambiental basta con tener presente que, un cerdo produce 10 veces más excrementos y 4,5 veces más nitrógeno que el producido por un ser humano (Peralta 2005). Es por ello la necesidad de aplicar una nueva técnica, que representa una alternativa para el tratamiento previo de estos efluentes residuales industriales de origen porcino y de esta manera reducir las altas cargas orgánicas, para posteriormente tratarlos con métodos biológicos tales como los sistemas de lagunas de estabilización.

La electrocoagulación ha sido aplicada para eliminar contaminantes del agua: metales, contaminantes orgánicos, colorantes y pigmentos, sólidos coloidales y partículas, contaminantes inorgánicos solubles, entre otros (Barrera *et al.* 2011 y Bayar *et al.* 2011). Esta técnica ha ofrecido múltiples ventajas sobre las tecnologías tradicionales tales como: la baja generación de lodos, bajo costo de instalación y montaje, no se requieren productos químicos, posibilidad de ampliación, no requiere obra civil, bajo mantenimiento, entre otros (Khemis 2006).

Se considera que en el proceso de electrocoagulación intervienen tres etapas: inicialmente se forma el coagulante por oxidación electrolítica del metal del ánodo, luego se da la desestabilización de los contaminantes y emulsiones y, finalmente, se produce la formación de flóculos por agregación de partículas del contaminante o adsorción de éstas en el coagulante (Mollah *et al.* 2004).

Este tratamiento es similar al tratamiento físico-químico típico, pero utilizando energía eléctrica. Se puede definir la electrocoagulación como un proceso electroquímico en el que a partir de compuestos procedentes de la disolución de un ánodo (ánodo de sacrificio), que puede ser aluminio o hierro, se agrupa la materia coloidal existente en el agua residual, posibilitando su separación, mediante técnicas convencionales (Piña-Soberanis 2011).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales de origen porcino con alto contenido de materia orgánica, con el fin de llevar su contenido a niveles que faciliten la aplicación de procesos de tratamiento biológico y de esta manera alcanzar una mayor eficiencia en la depuración de estas aguas.

Materiales y métodos

Origen del agua residual industrial

La investigación se llevó a cabo en un reactor de flujo continuo ubicado en el Centro de Investigación del agua (CIA) de la Universidad del Zulia. El agua para la alimentación del reactor fue recolectada una vez por semana en una granja del Municipio Lagunillas del Estado Zulia, la cual procede del lavado de los surcos.

Caracterización del agua residual de origen porcino

La metodología de los análisis realizados para la caracterización del agua están definidos en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA et al. 2005): Demanda Química de Oxígeno (DQO) 5220-D, sólidos suspendidos totales (SST) 2540-D, sólidos volátiles 2540 G, potencial de hidrogeno (pH) 4500-H+, turbidez 2130-B, conductividad 2510-B, temperatura 2550-B, hierro total 3500-Fe y color 2120-C.

Construcción del sistema de electrocoagulación

Se construyó un sistema de electrocoagulación a escala de laboratorio para la remoción de materia orgánica, conformado por un reactor de flujo continuo de capacidad de 3,0 L elaborado en paredes de acrílico con dimensiones de 18,3 x 18,3 x 15,5 cm provisto de electrodos de placas de hierro y aluminio con dimensiones de 2,5 x 10,2 x 0,25 cm. El reactor contó con una fuente de poder, una bomba peristáltica, un regulador y un filtro de arena.

Inicialmente, se evaluó el comportamiento del sistema variando la corriente eléctrica (150; 225; 300 y 375 mA; correspondientes a densidades de corriente de 2,94; 4,41; 5,88 y 7,35 mA/cm²), tiempos de reacción desde 0 hasta 300 min, caudal de entrada al reactor fijo de 6,0 L/h y un par de electrodos. Durante las 5 horas del tratamiento, se tomaron muestras cada 30 minutos, para posterior análisis.

A partir de los resultados obtenidos con las condiciones anteriores, se procedió a variar el arreglo de electrodos desde uno (1) hasta cuatro (4) pares, con el fin de seleccionar la intensidad de corriente y cantidad de electrodos, que permitió obtener la mejor reducción de los parámetros físico-químicos. Posteriormente se evaluó el tiempo de retención utilizando caudales de 3,0; 4,5 y 6,0 L/h.

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica del efluente industrial de una industria porcina.

En la Tabla 1, se muestran los valores de los parámetros físico-químicos medidos en las aguas industriales de origen porcino antes de realizar el tratamiento mediante la técnica de electrocoagulación, con electrodos de hierro (Fe) y aluminio (Al).

Tabla 1. Caracterización físico-química del agua residual antes del proceso

| Parámetros | Datos de entrada |
|-----------------------|------------------|
| Conductividad (mS/cm) | 2,21 |
| pH | 6,2 |
| T (°C) | 24°C |
| Turbidez (mg/L) | 2073 |
| Color (UC Pt/Co) | 17000 |
| DQO (mg/L) | 4768 |
| Fe (mg/L) | 5,06 |
| SST (mg/L) | 2550 |
| SV (mg/L) | 2230 |
| N amoniacal (mg/L) | 148,4 |
| N total (mg/L) | 159,6 |
| Nitritos (mg/L) | 0,05 |
| Nitratos (mg/L) | 0,02 |
| Fósforo total (mg/L) | 98,5 |

A través del estudio realizado al efluente industrial, se observó una composición fisicoquímica poco variable. La Tabla 1, muestra los valores medios de los parámetros estudiados, observándose un alto contenido de materia orgánica cuyo origen se debe a la cantidad de excretas y orinas que son desechadas al realizar el lavado de los gaponos.

Tabla 2. Monitoreo de parámetros físico-químicos durante el proceso de electrocoagulación con 1 par de electrodos y una densidad de corriente de 2,94 mA/cm²

| Tiempo (min) | Conductividad (mS/cm) | Turbidez (mg/L) | Color (UCPt/Co) | pH | ST (mg/L) | SV (mg/L) | Temperatura (°C) | DQO (mg/L) |
|--------------|-----------------------|-----------------|-----------------|------|-----------|-----------|------------------|------------|
| 0 | 2,39 | 1849 | 13200 | 6,20 | 7750,0 | 6900 | 22,5 | 3979 |
| 30 | 2,24 | 1268 | 8250 | 6,46 | 926,7 | 746,7 | 22,3 | 2958 |
| 60 | 2,26 | 1303 | 8850 | 6,52 | 540,0 | 426,7 | 22,3 | 2992 |
| 90 | 2,26 | 1316 | 8800 | 6,58 | 580,0 | 473,3 | 22,3 | 3048 |
| 120 | 2,26 | 1300 | 9050 | 6,59 | 580,0 | 433,3 | 22,3 | 3046 |
| 150 | 2,26 | 1357 | 9050 | 6,59 | 626,7 | 533,3 | 22,3 | 3083 |
| 180 | 2,28 | 1270 | 8200 | 6,59 | 613,3 | 433,3 | 22,3 | 2977 |
| 210 | 2,30 | 1268 | 8450 | 6,58 | 613,3 | 440,0 | 22,5 | 2934 |
| 240 | 2,32 | 1404 | 9550 | 6,55 | 726,7 | 560,0 | 22,7 | 3015 |
| 270 | 2,32 | 1282 | 8600 | 6,58 | 620,0 | 446,7 | 23,0 | 3017 |
| 300 | 2,36 | 1461 | 9450 | 6,55 | 693,3 | 533,3 | 23,3 | 3045 |

En la Tabla 2, se observa que al aplicarle una densidad de corriente de 2,94 mA/cm² con un par de electrodos la DQO disminuye en 22% aproximadamente, esto se debe a que la corriente interactúa, con los electrodos, dando lugar en sus interfaces, a especies químicas tales como aniones y cationes (Fe⁺², Fe⁺³, Al⁺³, entre otros).

También se observa la disminución de otros parámetros físico-químicos como el color y la turbidez, que están relacionados, dado que la turbidez en este efluente proviene de sólidos en suspensión y materia orgánica, que al formarse los flóculos algunos decantan y el restante flota para ser separados; de esta manera disminuye el color, al igual que los sólidos totales y sólidos volátiles.

Tabla 3. Parámetros físico-químicos durante el proceso de electrocoagulación con 1 par de electrodos y una densidad de corriente de 4,41 mA/cm²

| Tiempo (min) | Conductividad (mS/cm) | Turbidez (mg/L) | Color (UC Pt/Co) | pH | ST (mg/L) | SV (mg/L) | Temperatura (°C) | DQO (mg/L) |
|--------------|-----------------------|-----------------|------------------|------|-----------|-----------|------------------|------------|
| 0 | 2,29 | 1445 | 1800 | 6,21 | 1359,0 | 790,0 | 22,5 | 3233 |
| 30 | 2,18 | 971 | 5800 | 6,74 | 440,0 | 308,0 | 22,8 | 2454 |
| 60 | 2,20 | 893 | 5450 | 6,72 | 420,0 | 293,0 | 22,8 | 2374 |
| 90 | 2,21 | 789 | 4950 | 6,67 | 427,0 | 327,0 | 22,8 | 2336 |
| 120 | 2,20 | 734 | 4400 | 6,67 | 340,0 | 247,0 | 23,0 | 2285 |
| 150 | 2,22 | 760 | 4500 | 6,68 | 353,0 | 247,0 | 23,0 | 2192 |
| 180 | 2,26 | 815 | 4900 | 6,72 | 373,0 | 313,0 | 23,0 | 2271 |
| 210 | 2,27 | 813 | 5200 | 6,68 | 393,0 | 267,0 | 23,0 | 2427 |
| 240 | 2,28 | 781 | 4950 | 6,72 | 367,0 | 253,0 | 23,5 | 2255 |
| 270 | 2,32 | 801 | 5500 | 6,71 | 380,0 | 280,0 | 24,0 | 2311 |
| 300 | 2,31 | 782 | 4950 | 6,73 | 353,0 | 247,0 | 24,0 | 2385 |

En la Tabla 3, se muestra como los parámetros disminuyeron al aplicarle una densidad de corriente de 4,41 mA/cm², se aprecia que al aumentar la densidad de corriente, hay mayor porcentaje de remoción, alcanzando la DQO una remoción hasta de 32% a los 150 min, no obstante se observa que la conductividad del agua aumenta durante el proceso, es decir, a mayor densidad de corriente aplicada mayor conductividad, lo que influye notablemente en el rango de operación de la fuente de poder, ya que para mantener la densidad de corriente constante, se produce disminución del voltaje aplicado, lo que concuerda con lo establecido por Restrepo et al. (2006).

Tabla 4. Parámetros físico-químicos durante el proceso de electrocoagulación con 1 par de electrodos y una densidad de corriente de 5,88 mA/cm²

| Tiempo (min) | Conductividad (mS/cm) | Turbidez (mg/L) | Color (UC Pt/Co) | pH | ST (mg/L) | SV (mg/L) | Temperatura (°C) | DQO (mg/L) |
|--------------|-----------------------|-----------------|------------------|------|-----------|-----------|------------------|------------|
| 0 | 3.00 | 2335 | 17650 | 6,15 | 910,0 | 790 | 23,8 | 5460 |
| 30 | 2.96 | 785 | 4850 | 6,66 | 435,0 | 330 | 24,0 | 2701 |
| 60 | 2.99 | 703 | 3950 | 6,65 | 415,0 | 360 | 24,2 | 2877 |
| 90 | 2.59 | 712 | 4400 | 6,69 | 400,0 | 345 | 24,5 | 2775 |
| 120 | 3.03 | 725 | 4300 | 6,67 | 440,0 | 330 | 24,5 | 2763 |
| 150 | 3.02 | 725 | 4500 | 6,67 | 480,0 | 360 | 24,5 | 2885 |
| 180 | 3.01 | 755 | 4650 | 6,68 | 410,0 | 385 | 24,8 | 2997 |
| 210 | 3.05 | 727 | 4350 | 6,69 | 470,0 | 340 | 25,0 | 2998 |
| 240 | 3.06 | 732 | 4300 | 6,73 | 430,0 | 345 | 25,0 | 3199 |
| 270 | 3.09 | 712 | 4450 | 6,72 | 440,0 | 385 | 25,4 | 3186 |
| 300 | 3.10 | 712 | 4350 | 6,67 | 480,0 | 365 | 25,5 | 2911 |

En la Tabla 4, se aprecia como todos los parámetros disminuyen considerablemente. Se lograron valores de remoción de la DQO alrededor de un 50%, color 75%, turbidez 69% y sólidos totales y volátiles con porcentajes similares, dando mayor remoción que con densidades de corriente de 2,94 y 4,41 mA/cm².

Tabla 5. Parámetros físico-químicos durante el proceso de electrocoagulación con 1 par de electrodos y una densidad de corriente de 7,35 mA/cm²

| Tiempo (min) | Conductividad (mS/cm) | Turbidez (mg/L) | Color (UC Pt/Co) | pH | ST (mg/L) | SV (mg/L) | Temperatura (°C) | DQO (mg/L) |
|--------------|-----------------------|-----------------|------------------|------|-----------|-----------|------------------|------------|
| 0 | 3,12 | 2645 | 20700 | 6,10 | 2190,0 | 1930 | 24,3 | 6662 |
| 30 | 2,99 | 735 | 4700 | 6,79 | 520,0 | 375 | 25 | 2351 |
| 60 | 3,03 | 730 | 4850 | 6,73 | 395,0 | 280 | 25,2 | 2083 |
| 90 | 3,02 | 740 | 4540 | 6,85 | 380,0 | 275 | 25,5 | 2033 |
| 120 | 3,03 | 784 | 4500 | 6,83 | 395,0 | 285 | 26,0 | 2153 |
| 150 | 3,09 | 724 | 4440 | 6,80 | 375,0 | 260 | 26,0 | 2118 |
| 180 | 3,11 | 713 | 4500 | 6,77 | 365,0 | 270 | 26,0 | 2095 |
| 210 | 3,11 | 702 | 4480 | 6,76 | 365,0 | 270 | 26,0 | 2222 |
| 240 | 3,12 | 702 | 4480 | 6,79 | 370,0 | 265 | 26,0 | 2227 |
| 270 | 3,13 | 701 | 4460 | 6,80 | 365,0 | 260 | 26,3 | 2105 |
| 300 | 3,16 | 701 | 4460 | 6,74 | 360,0 | 265 | 26,5 | 2013 |

Para un par de electrodos y densidad de corriente de $7,35 \text{ mA/cm}^2$ (Tabla 5), la concentración de los parámetros anteriormente mencionados, disminuyen durante el proceso, tal como ocurrió con densidades de corriente de $2,94$; $4,41$ y $5,88 \text{ mA/cm}^2$ (Tablas 2, 3 y 4); sin embargo, para esta densidad de corriente el grado de remoción fue mayor.

Efecto del arreglo de electrodos sobre la remoción de materia orgánica cuantificada a través de parámetros fisicoquímicos

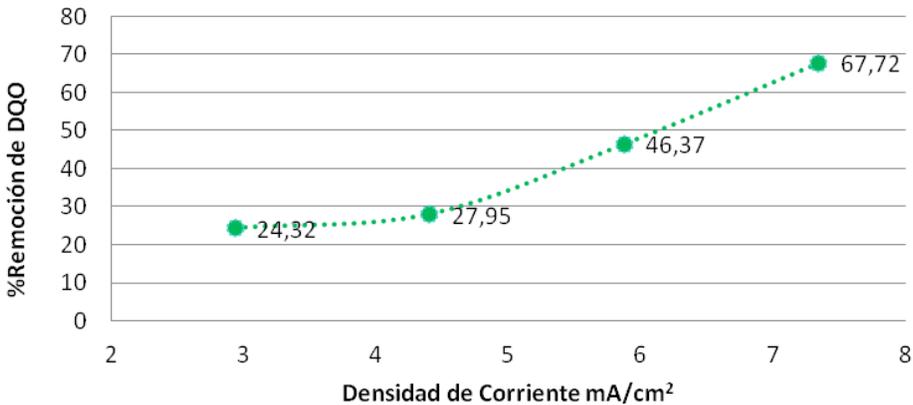


Figura 1. Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con un par de electrodos

Para un par de electrodos, a medida que aumenta la densidad de corriente, incrementa la remoción de materia orgánica expresada como DQO, alcanzándose un máximo de remoción de $67,72\%$ para densidad de corriente de $7,35 \text{ mA/cm}^2$ (Fig. 1). Es importante destacar que para densidades de corriente de $2,94$ y $4,41 \text{ mA/cm}^2$, los porcentajes de remoción son cercanos $24,32\%$ y $27,95\%$ respectivamente.

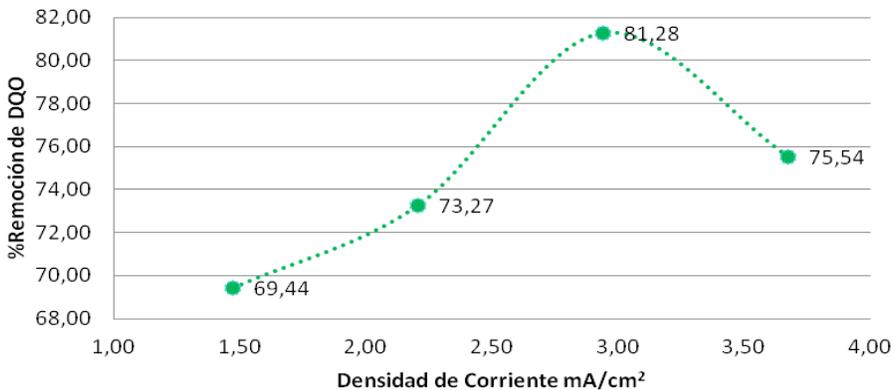


Figura 2. Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), para dos pares de electrodos

La Figura 2, muestra cómo se afecta la remoción de la DQO al aumentar la densidad de corriente, utilizando dos pares de electrodos. Se evidencia que al aumentar la intensidad de corriente, proporcionalmente aumenta la remoción de la DQO hasta un valor de 81,28%. Para el valor extremo ensayado (4,41 mA/cm²), la remoción presenta un decaimiento a 75,54 %. Resultados similares obtuvo Restrepo *et al* (2006), quienes concluyeron que un incremento de la densidad de corriente genera un aumento en la remoción de contaminante, pero una densidad de corriente demasiado grande produciría una disminución en la eficacia.

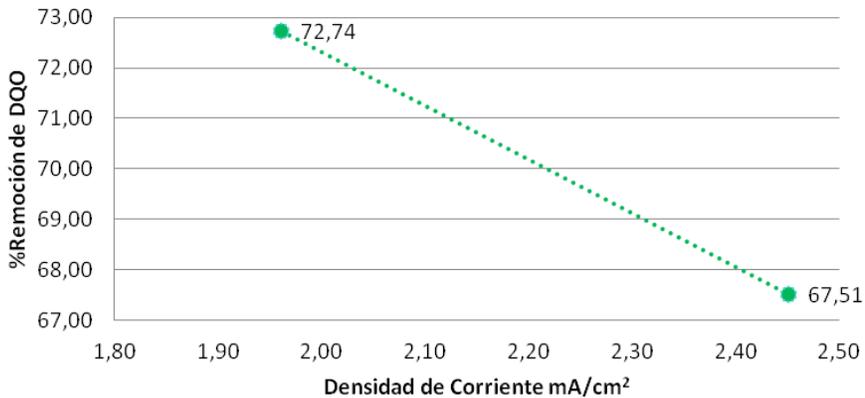


Figura 3. Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) para tres pares de electrodos

De acuerdo a la Figura 3, el mayor porcentaje de remoción de 72,74% fue para la menor densidad de corriente (1,96 mA/cm²). Este resultado confirma lo discutido anteriormente, es decir, que al aumentar el amperaje disminuye la capacidad de remoción.

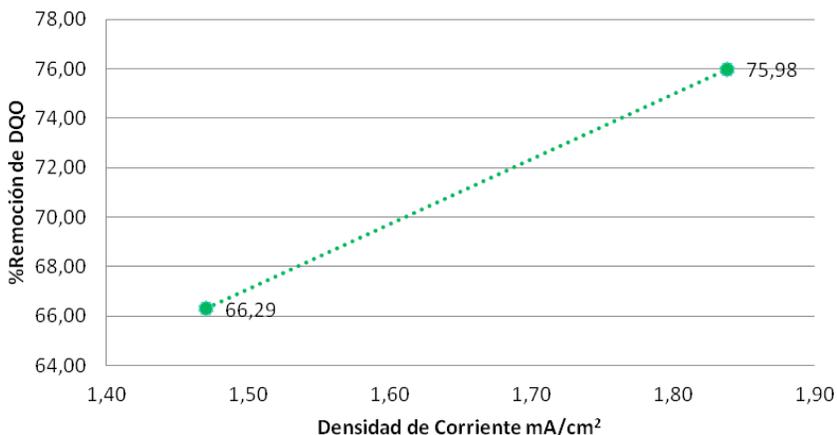


Figura 4. Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) para cuatro pares de electrodos

En la Figura 4, uso de cuatro pares de electrodos, se observa que la mayor remoción de materia orgánica (75,98%) se obtuvo al aplicar una densidad de corriente de 1,84 mA/cm², que se corresponde con una intensidad de corriente de 375 mA. Este resultado difiere con los mostrados en las Figuras 2 y 3, para dos y tres pares de electrodos, las cuales indican las mayores remociones de la DQO para intensidad de corriente de 300 mA y una caída en la remoción al aumentar la intensidad de corriente a 375 mA. Para el caso del mismo número de pares de electrodos, esto se atribuye a factores que afectan la eficiencia del proceso como la conductividad, el pH y la cantidad de materia orgánica que se degrada química y biológicamente (Restrepo et al. 2006). Sin embargo, para este caso, la diferencia se debe al aumento de electrodos, ya que la intensidad de corriente que se requiere para 2 o 3 pares no es la misma que para cuatro pares; pues para mantener el valor de la densidad de corriente, las exigencias de energía eléctrica son mayores a medida que aumenta el número de pares de electrodos, en consecuencia disminuye la remoción de materia orgánica, dado que los requerimientos para la formación de especie aniónicas y catódicas aumentan para que el proceso de coagulación y posterior sedimentación sea efectivo.

De acuerdo a estos resultados, las mejores condiciones para remover materia orgánica de las muestras analizadas, se dan cuando se aplica una intensidad de corriente de 300 mA y un arreglo de dos pares de electrodos.

Efecto del tiempo de retención sobre el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos asociados con la materia orgánica

Establecido el mejor arreglo de electrodos (dos pares) e intensidad de corriente (300 mA), se continuó con el análisis de las pruebas que relacionan la remoción de materia orgánica con el caudal.

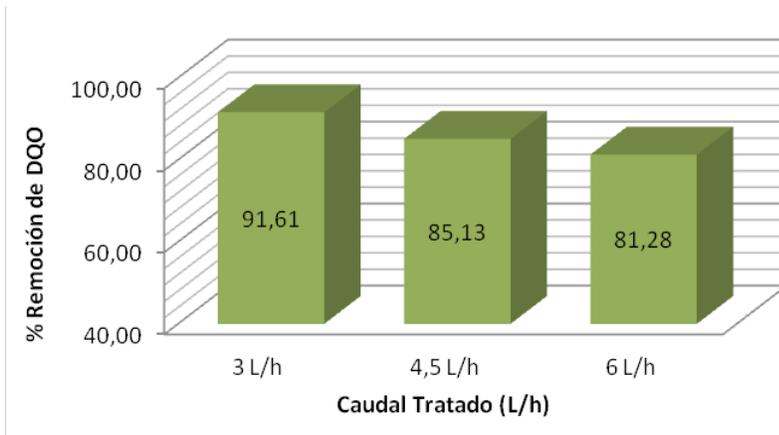


Figura 5. Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) para diferentes tiempos de retención

La Figura 5, muestra la remoción de la DQO después del proceso de electrocoagulación para distintos caudales, se observa una mayor remoción para el caudal de 3 L/h con respecto a los otros caudales tratados de 4,5 y 6 L/h.

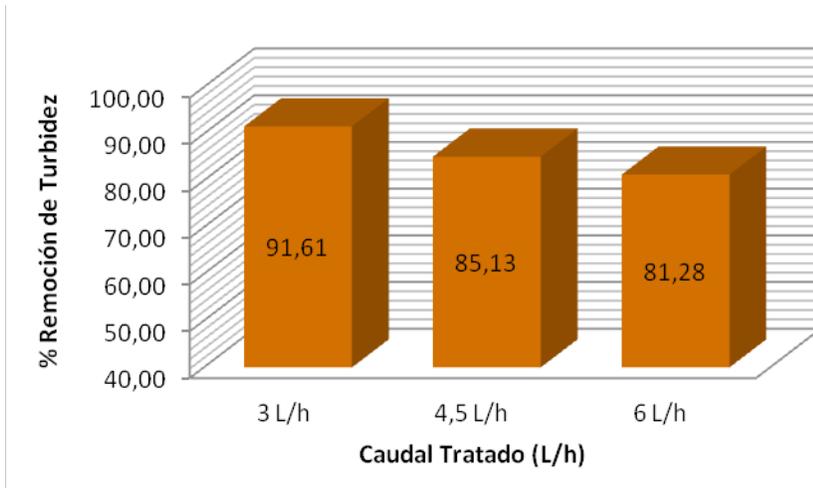


Figura 6. Porcentaje de remoción de la turbidez para diferentes tiempos de retención

La Figura 6, presenta las distintas remociones de turbidez alcanzadas, al variar el volumen de agua tratada en el reactor. Para el caudal menor de 3 L/h, se obtuvo la mayor remoción (91,61%).

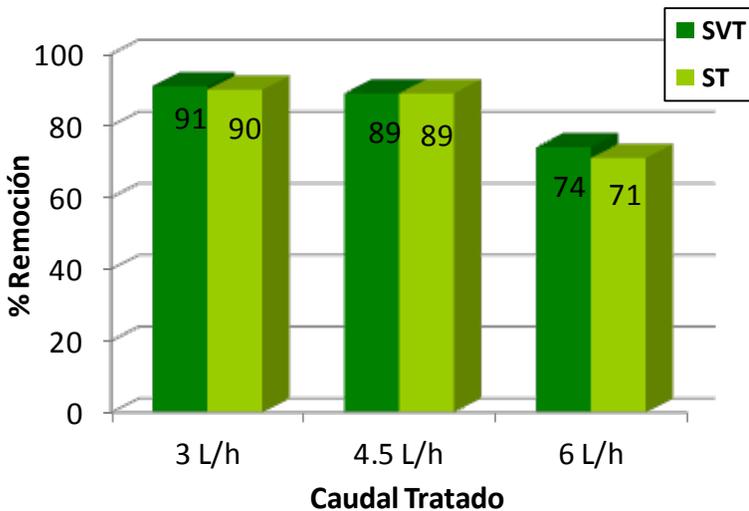


Figura 7. Porcentaje de remoción de sólidos totales y sólidos volátiles para diferentes tiempos de retención

En la Figura 7, nuevamente la mejor eficiencia es para el menor caudal de ensayo (3 L/h) con un 91% y 90% de remoción de sólidos totales y volátiles respectivamente.

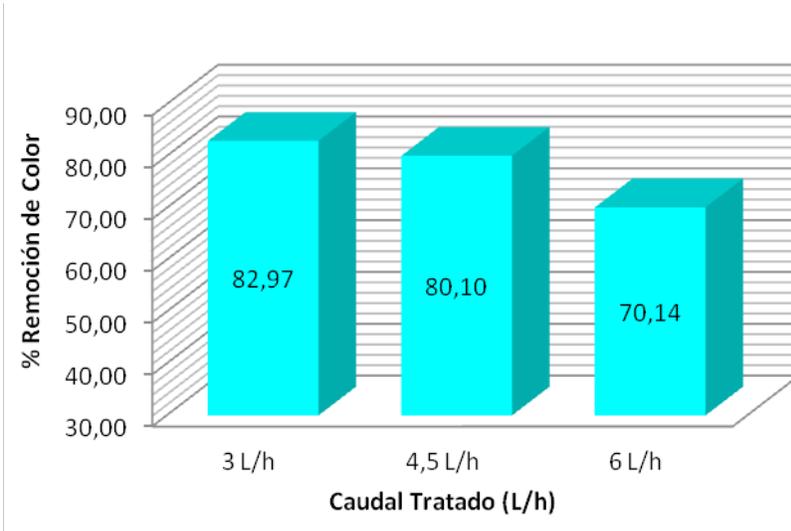


Figura 8. Porcentaje de remoción de color para diferentes tiempos de retención

La Figura 8, muestra que la remoción de color disminuye al aumentar el caudal, tal como ocurrió con la turbidez y los sólidos (Figs. 6 y 7); resultado congruente con los anteriores, dado que el color es un parámetro que se relaciona con la turbidez y los sólidos presentes.

Tabla 6. Parámetros físico-químicos durante el proceso de electrocoagulación con 2 pares de electrodos y una densidad de corriente de 2,94 mA/cm² a los distintos caudales

| Parámetros | Afluyente al sistema | | | Efluyente del sistema | | |
|-----------------------|----------------------|------|------|-----------------------|------|------|
| | 3,0 | 4,5 | 6,0 | 3,0 | 4,5 | 6,0 |
| Caudal (L/h) | 3,0 | 4,5 | 6,0 | 3,0 | 4,5 | 6,0 |
| Conductividad (mS/cm) | 2,22 | 2,13 | 3,09 | 2,10 | 2,10 | 3,30 |
| pH | 6,33 | 6,24 | 6,21 | 7,00 | 7,00 | 7,00 |
| Temperatura (°C) | 24,0 | 24,0 | 24,8 | 25,0 | 24,5 | 26,0 |

Durante el proceso de electrocoagulación para distintos caudales, los parámetros: temperatura, pH y conductividad; presentaron pequeñas variaciones, tanto para el afluyente como para el efluyente. Sin embargo, si comparamos el afluyente con el efluyente y un caudal de 6 L/h, se aprecia un leve aumento de todos los parámetros.

Eficiencia del tratamiento de electrocoagulación en un reactor de flujo continuo en función de la remoción de materia orgánica y el tiempo de retención

En función de los resultados mostrados en las Figuras 6, 7, 8 y Tabla 6; se puede inferir que para los caudales evaluados (3,0; 4,5 y 6,0 L/h), mejorar la calidad de estas aguas industriales de origen porcino, requiere un tiempo de retención de 60 minutos, aplicando una intensidad de corriente de 300 mA y arreglo de electrodos de dos pares.

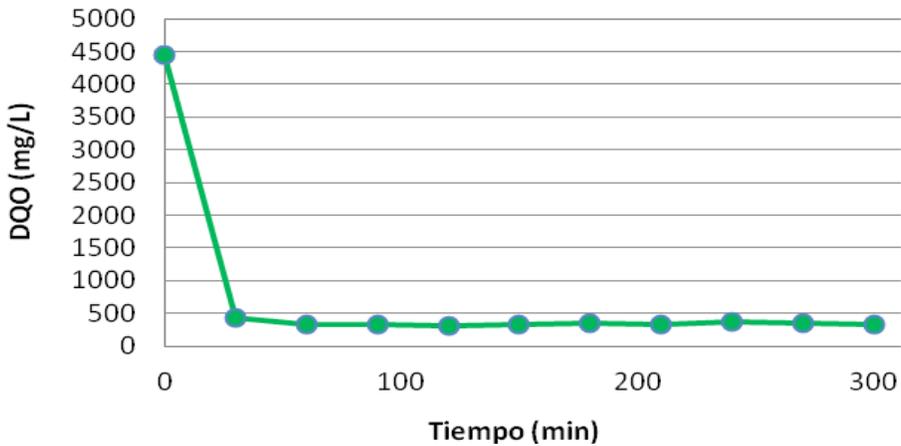


Figura 9. Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) a una densidad de corriente de 2,94 mA/cm² con 2 pares de electrodos y caudal de 3 L/h

En la Figura 9, se observa que para un tiempo de 30 minutos la disminución de la DQO es notoria, alcanzándose la máxima remoción a los 60 minutos y permaneciendo invariable el resto del experimento.

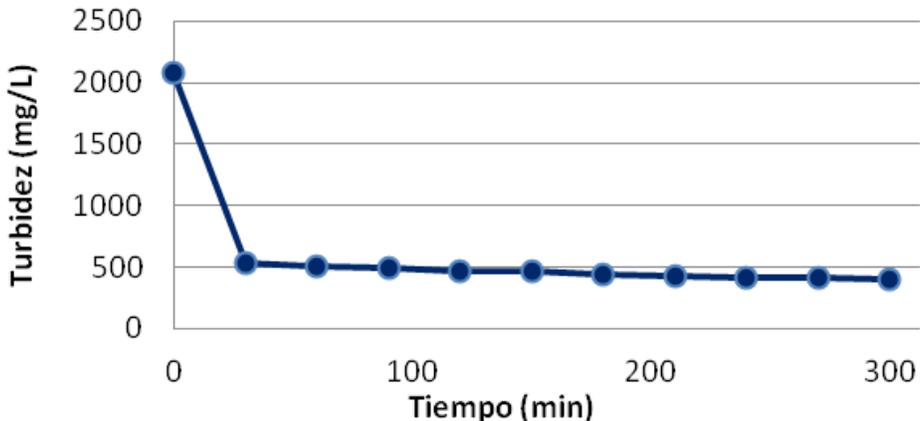


Figura 10. Remoción de la turbidez a una densidad de corriente de 2,94 mA/cm² con 2 pares de electrodos y caudal de 3 L/h

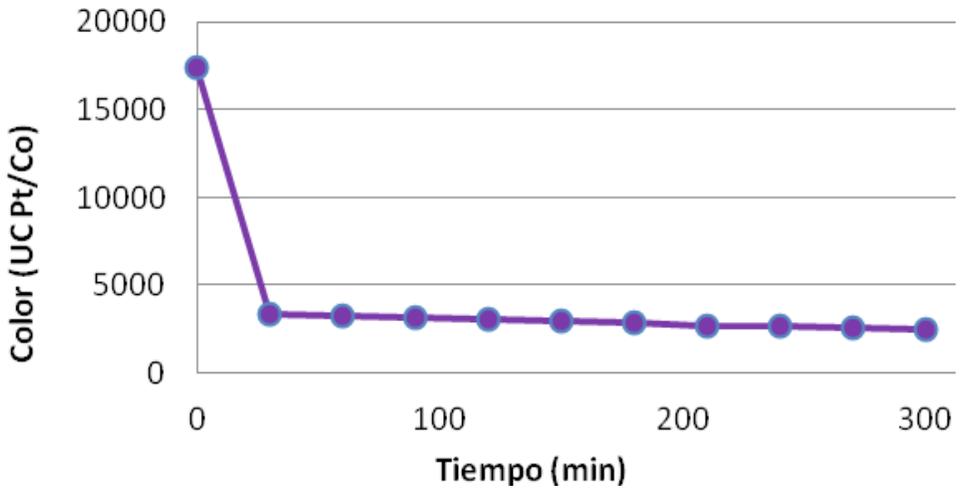


Figura 11. Remoción del color a una densidad de corriente de $2,94 \text{ mA/cm}^2$ con 2 pares de electrodos y caudal de 3 L/h

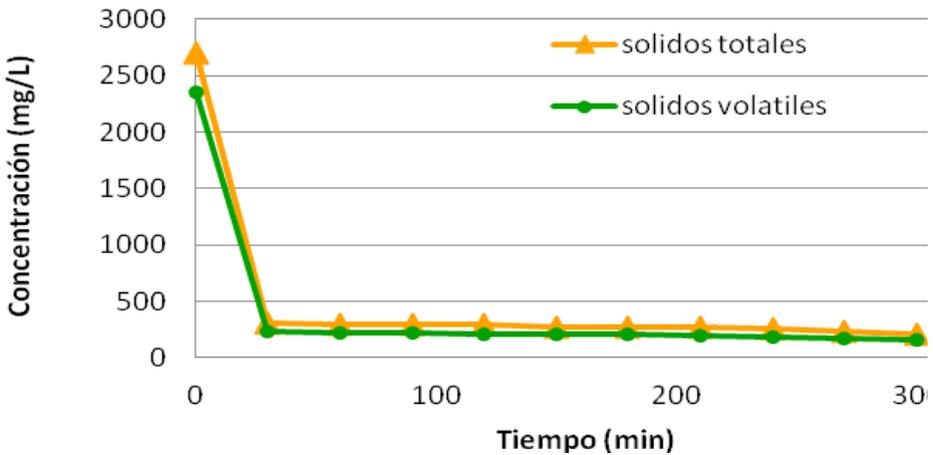


Figura 12. Remoción de sólidos a una densidad de corriente de $2,94 \text{ mA/cm}^2$ con 2 pares de electrodos y caudal de 3 L/h

Al examinar las Figuras 10, 11 y 12; se observa que los parámetros: turbidez, color, sólidos totales y sólidos volátiles presentan el mismo comportamiento que la DQO; esto se debe a su estrecha relación con la materia orgánica, la materia coloidal, los sólidos en suspensión y los sedimentables. Durante el proceso de coagulación-floculación las partículas que se hallan en suspensión en la disolución tienen un carácter eléctrico que las hace recolectoras de iones de carga opuesta generados por la electrocoagulación, formando agregados más grandes llamados floc los cuales por su mayor peso específico sedimentan por efecto de la gravedad.

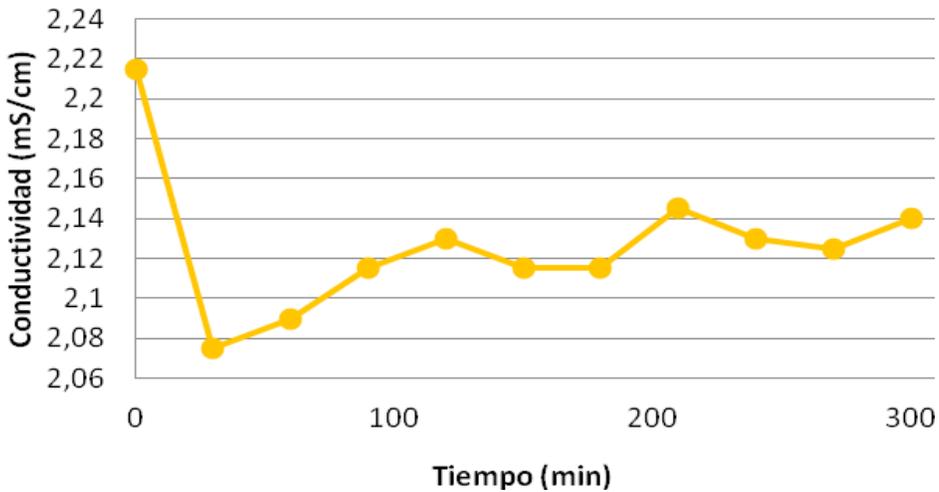


Figura 13. Comportamiento de la conductividad a una densidad de corriente de $2,94 \text{ mA/cm}^2$ con 2 pares de electrodos y caudal de 3 L/h

En la Figura 13, se observa que para un tiempo de 30 min, hay una caída abrupta de la conductividad, esto se debe a la remoción de sales y otros iones presentes en el efluente.

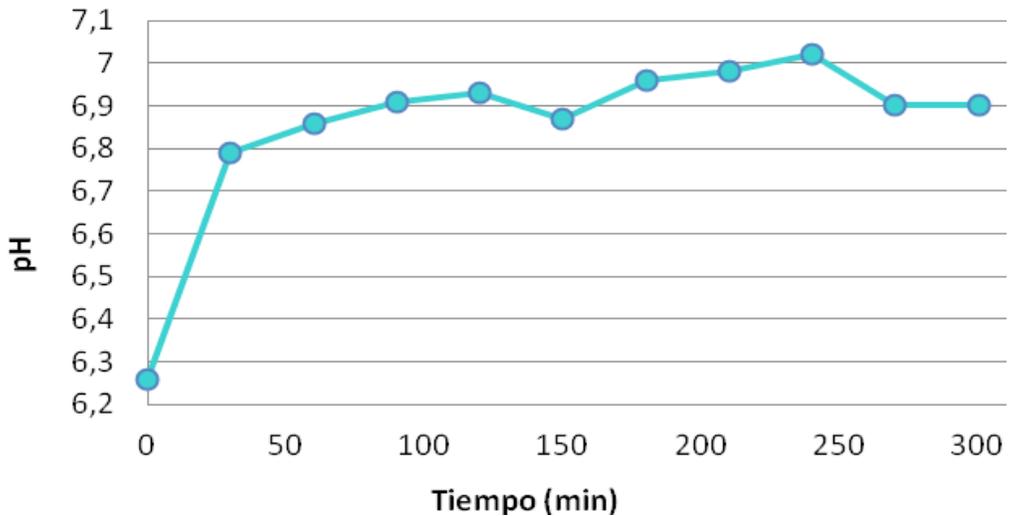


Figura 14. Comportamiento del pH a una densidad de corriente de $2,94 \text{ mA/cm}^2$ con 2 pares de electrodos y caudal de 3 L/h

La Figura 14, muestra como el pH aumenta a lo largo del tiempo, debido a la generación de hidrógeno molecular que se produce en el cátodo, esto concuerda con lo reportado por Restrepo, et al (2006).

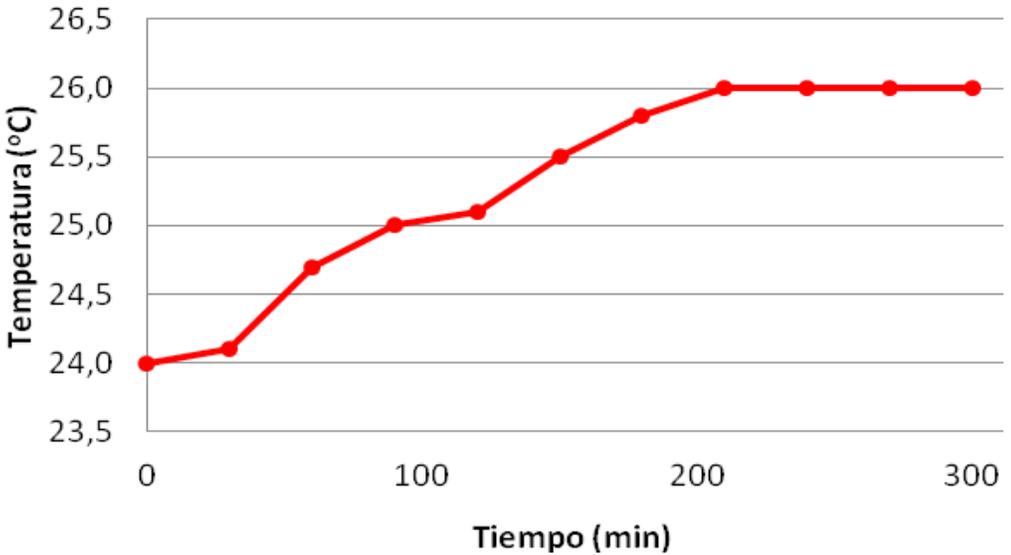


Figura 15. Comportamiento de la temperatura a una densidad de corriente de 2,94 mA/cm² con 2 pares de electrodos y caudal de 3 L/h

En la Figura 15, se observa como la temperatura asciende a lo largo del proceso, debido al efecto joule no deseado que se genera, aportando energía calórica al agua. Comportamiento similar obtuvo Restrepo, et al. (2006), atribuyéndolo al incremento en la actividad de destrucción de la película de óxido de aluminio de la superficie del electrodo.

Conclusiones

- Las aguas residuales industriales de origen porcino, se caracterizaron por presentar una baja variación de los parámetros físico-químicos, apreciándose un alto contenido de materia orgánica y sólidos.
- Se evidenció el efecto de la densidad de corriente aplicada y la disposición de electrodos sobre el tratamiento del efluente porcino, siendo la más efectiva el uso de 2 pares de electrodos a una densidad de corriente de 2,94 mA/cm² y tiempo de reacción de 60 min. Se obtuvo remociones de materia orgánica expresadas como DQO de 81%. La remoción de color y sólidos totales también alcanzaron porcentajes superiores al 82% y 91% respectivamente.

Literatura Citada

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA-AWWA-WEF). IN: CLESCERI, L., A. GREENBERG Y A. EATON. (ed). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. American Public Health Association, Washington D.C. 1-55 pp.
- BARRERA, C., B. BILYEU, G. ROA Y L. BERNAL. 2011. Aspectos fisicoquímicos de la electrocoagulación. *Revista Separation & Purification Reviews*. 40 (1): 1-24.
- BAYAR, S., A. SEVKI, Y. ERDEM Y S. IRDEMEZ. 2011. The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method. *Desalination*. 280: 103-107.
- KHEMIS, J., G. LECLERC, G. TANGUY Y L. VALENTIN. 2006. Treatment of industrial liquid wastes by electrocoagulation experimental investigations and an overall interpretation model. *Chem. Eng. Sci.* 61: 3602-3609.
- PIÑA-SOBERANIS, M., A. MARTÍN-DOMÍNGUEZ, C.A. GONZÁLEZ-RAMÍREZ, F. PRIETO-GARCÍA, A. GUEVARA-LARA Y J. E. GARCÍA-ESPINOZA. 2011. Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10 (2): 257-271.
- MÉNDEZ NOVELO, R., E. CASTILLO BORGES, E. VÁZQUEZ BORGES, O. BRICEÑO PEREZ, V. CORONADO PERAZA, R. PAT CANUL Y P. GARRIDO VIVAS. 2009. Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. *Ingeniería*. 13 (2): 13-21.
- MOLLAH, M., J.A. GOMES, K.K. DAS Y D.L. COCKE. 2004. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. En: *Journal of Hazardous Materials*. 114 (1-3): 199-210.
- PERALTA, J. 2005. Recomendaciones técnicas para la gestión ambiental en el manejo de purines de la explotación porcina. Colección de Libros INIA (Instituto de Investigación Agropecuarias) N° 18, 206-215 pp.
- RESTREPO, A., Á. ARANGO Y L. GARCÉS. (2006). La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Revista Lasallista*. 1 (2): 58 – 77.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

**BOLETÍN DEL CENTRO DE
INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

Vol.51 N° 2_____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada
en agosto de 2017, por el **Fondo Editorial Serbiluz**,
Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*