



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar  
DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

**Title:** Evaluación del funcionamiento de un prototipo de electrofloculación para el tratamiento de agua residual proveniente de procesos de biodigestión y biocompostaje.

**Authors:** ALFONSO-ALVAREZ, Juan Antonio, MONTAÑO-SOTO, Myriam Tatiana, EATON-GONZÁLEZ, Bernardino Ricardo y VÉLIZ-ZAMORANO, Ana Karina.

Editorial label ECORFAN: 607-8695  
BCIERMMI Control Number: 2019-287  
BCIERMMI Classification (2019): 241019-287

Pages: 14  
RNA: 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**  
143 – 50 Itzopan Street  
La Florida, Ecatepec Municipality  
Mexico State, 55120 Zipcode  
Phone: +52 1 55 6159 2296  
Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
E-mail: contacto@ecorfan.org  
Facebook: ECORFAN-México S. C.  
Twitter: @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

| Holdings |             |            |
|----------|-------------|------------|
| Mexico   | Colombia    | Guatemala  |
| Bolivia  | Cameroon    | Democratic |
| Spain    | El Salvador | Republic   |
| Ecuador  | Taiwan      | of Congo   |
| Peru     | Paraguay    | Nicaragua  |

# Evaluación del funcionamiento de un prototipo de electrofloculación para el tratamiento de agua residual proveniente de procesos de biodigestión y biocompostaje.

## AUTORES:

**ALFONSO ALVAREZ, Juan Antonio**  
**MONTAÑO SOTO Myriam Tatiana**  
**EATON GONZÁLEZ Bernardino Ricardo**  
**VÉLIZ ZAMORANO Ana Karina**

## CORREO ELECTRÓNICO:

[juan.alfonso@uttijuana.edu.mx](mailto:juan.alfonso@uttijuana.edu.mx)

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE TIJUANA**

En los últimos años el Gobierno del Estado de Baja California ha promovido la recolección de grasas y aceites residuales provenientes de la industria restaurantera, para evitar el problema ocasionado por descargas no controladas de agua con un alto contenido de grasas y aceites, que trae como consecuencia el taponamiento del sistema de drenaje y una baja eficiencia en el sistema de tratamiento de agua residuales de la ciudad de Tijuana, Baja California, en donde se cuenta con infraestructura para tratar el 100% del agua residual.

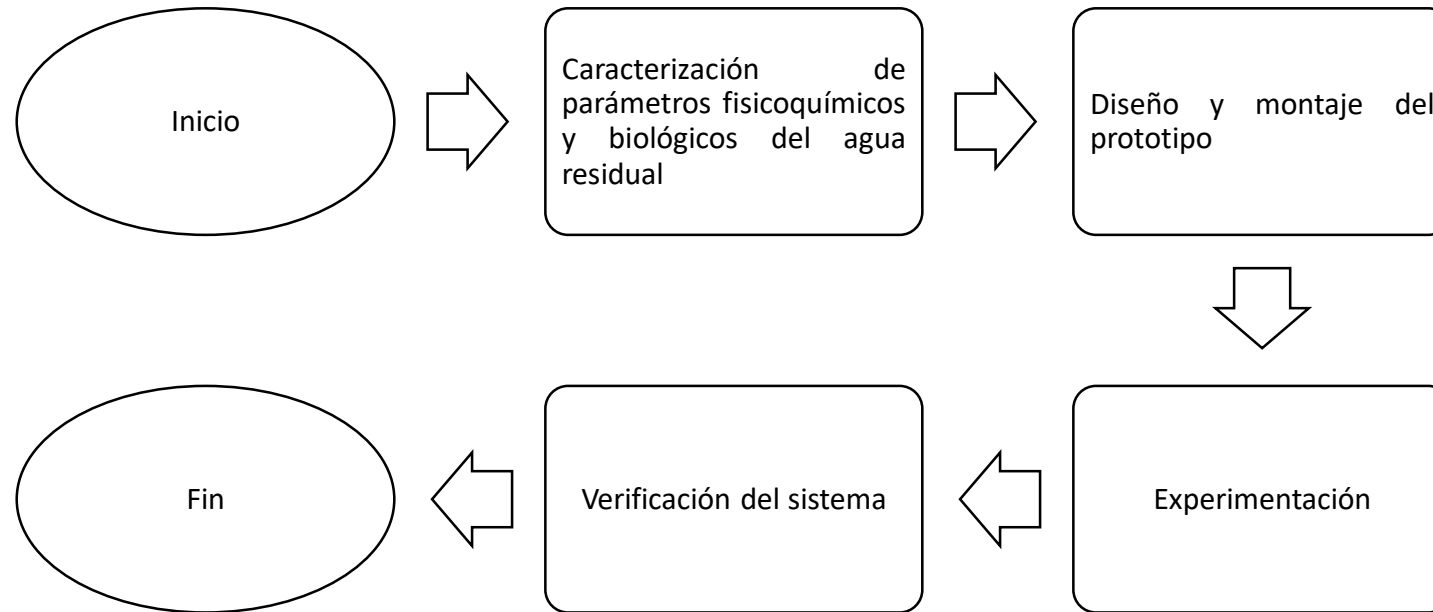
Derivado de dichas medidas los restaurantes y negocios dedicados a la producción de alimentos deben contar con trampas de grasas y aceites, con la finalidad de recolectar la mayor cantidad posible de este residuo

- La recolección de residuos provenientes de trampas de grasas y aceites es que debido a su naturaleza química, el residuo se considera peligroso y no puede ser dispuesto directamente en el suelo.
- Los residuos deben ser confinamiento, generando altos costos a las empresas dedicadas a su recolección. Lo anterior motivó a una empresa ubicada en la región, dedicada a la recolección de lodos, a instalar un sistema de centrifugado horizontal para la extracción de aceite, generando un lodo con 5% de grasa y aceite, el cual posteriormente se envía a un proceso de biodigestión y lombricompostaje para la obtención de humus sólido y líquido, este sistema genera aguas residuales con alta carga orgánica que requieren de un tratamiento antes de su descarga a la red municipal de alcantarillado de la Ciudad.

# OBJETIVO

Elaborar un prototipo experimental de electrofloculación para verificar su efectividad en el tratamiento de agua residual (TAR) con alto contenido de materia orgánica (MO) y bacterias patógenas.

**Diagrama 1. Metodología implementada**



*Fuente: Del Autor*

## Caracterización de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual.

**Tabla 1.** Parámetros analizados al agua residual

| Parámetro   | MÉTODO                    | Norma de referencia    |
|---|---------------------------|------------------------|
| pH  | Potenciometría            | NMX-AA-008-SCFI-2016   |
| Conductividad Eléctrica                           | Potenciometría            | NMX-AA-093-SCFI-2018   |
| Grasas y Aceites                                  | Extracción Soxhlet        | NMX-AA-005-SCFI-2013   |
| Sólidos Sedimentables                             | Cono Imhoff               | NMX-AA-004-SCFI-2013   |
| Nitrógeno Total                                   | Kjeldahl                  | NMX-AA-026-SCFI-2010   |
| Escherichia coli                                  | Número Más Probable (NMP) | NMX-AA-042-SCFI-2015   |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | Electrométrico            | NMX-AA-028-SCFI-2001   |
| Demanda Química de oxígeno (DQO)                  | Volumétrico               | NMX-AA-030/1-SCFI-2012 |
| Salmonella sp.                                    | Preenriquecimiento        | NOM-114 -SSA1-1994     |

*Fuente: Del Autor*

## Montaje del prototipo de electrofloculación.

### Consideraciones para el prototipo

- Volumen 1000 mL,
- Electrodo de aluminio (Vasudevan, 2012) de 40 cm<sup>3</sup> cada uno en forma de placa.
- Distancia de 4 cm entre los electrodos (Ozyonar & Karagozoglu, 2011)
- Sistema integrado por una fuente de poder de la marca B&K PRECISION modelo 1672, con un rango de voltaje de 0 a 99V y rango de amperaje de 0 a 9.99 Ampere.



## Experimentación

- 20 corridas experimentales.
- Ajustar el pH del agua a 4 con una solución ácido clorhídrico 1 M,
- Aplicar una intensidad de corriente de 8 Amperes y un voltaje de 34V durante 5 minutos.
- Tratamiento físico, que consistió en la filtración con carbón activado para la eliminación de color y malos olores.

## Verificación del sistema.

Para verificar la efectividad del sistema de tratamiento, se procedió a determinar las características físicas, químicas y biológicas del agua tratada mediante el sistema de electrofloculación. Los parámetros considerados fueron los mismos que para el agua residual además se incluyeron la determinación de dureza, sólidos disueltos totales y sulfatos.

Para la determinación de dureza total se hizo referencia al método descrito en la Norma Mexicana (Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001, 2001), que consiste en una valoración con disolución de EDTA 0.01 M, empleando un indicador negro de Eriocromo T, para la cuantificación de  $\text{CaCO}_3$ , y la determinación de sulfatos mediante el método turbidimétrico (Norma Mexicana NMX-AA-074-SCFI-2014, 2015) para el que se utilizó un espectrofotómetro UV-VIS Agilent Technologies modelo Cary 60.

## Caracterización de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual

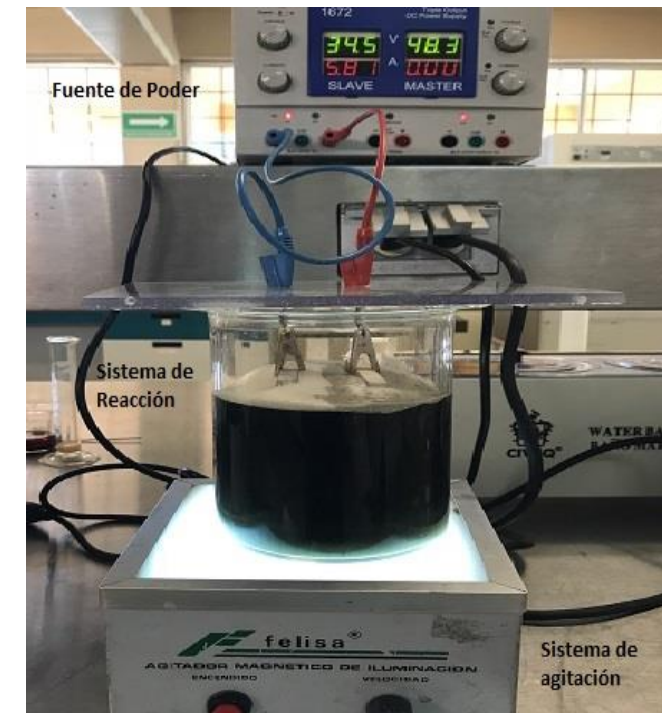
Tabla 2. Resultados de caracterización del agua residual

| Parámetro                             | Valor promedio | Límite máximo permisible NOM-002-SEMARNAT-1996 |
|---------------------------------------|----------------|--|
| pH                                    | 7.3            | 5.5 – 10                                       |
| Conductividad Eléctrica (mS/m)        | 10.3           | Sin Especificación                             |
| Grasas y Aceites (mg/L)               | 13             | 25   |
| Sólidos Sedimentables (mL/L)          | 0.6            | 5  |
| Nitrógeno Total (mg/L)                | 4.92           | 40   |
| Escherichia Coli por cada 100 mL, NMP | 210            | Sin Especificación                             |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)               | 500            | 150  |
| DQO (mg/L)                            | 883.2          | Sin especificación                             |
| Salmonella/100 mL                     | Presencia      | Sin Especificación                             |

Fuente: NOM-002-SEMARNAT

## Montaje del prototipo de electrofloculación

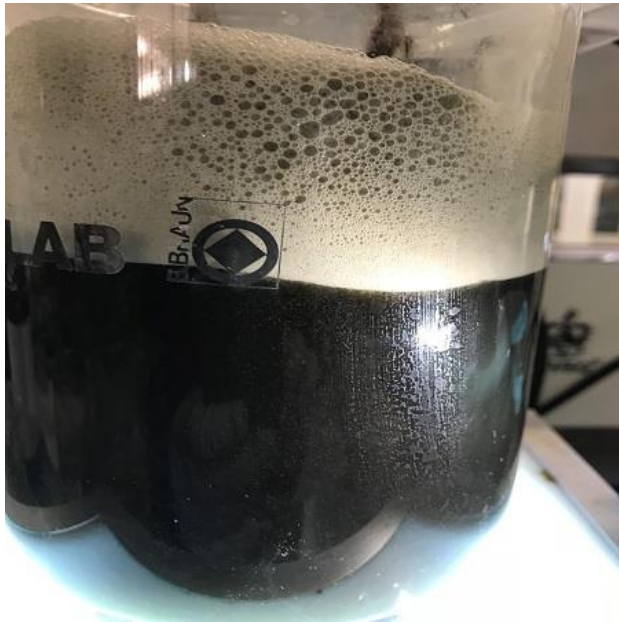
Figura 1. Componentes del sistema de electrofloculación



Fuente: Del Autor

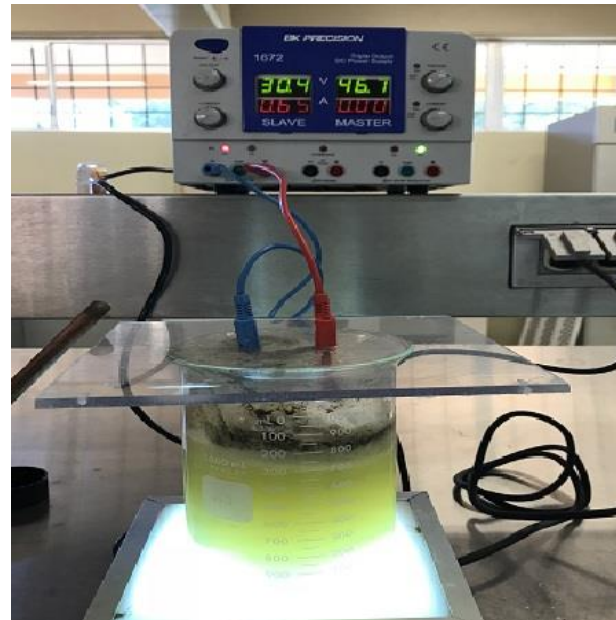
## Experimentación

**Figura 2.** Espuma formada en el proceso



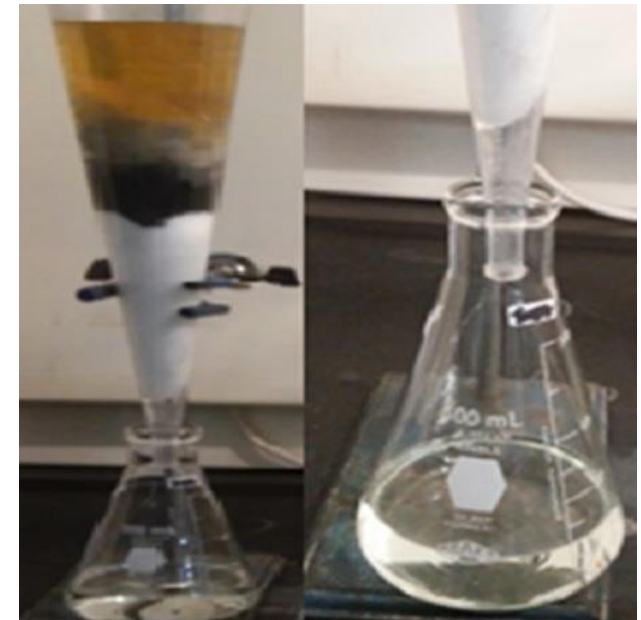
*Fuente: Del Autor*

**Figura 3.** Termina del proceso de electrofloculación.



*Fuente: Del Autor*

**Figura 4.** Apariencia final del agua residual tratada



*Fuente: Del Autor*

## Verificación del funcionamiento del sistema.

**Tabla 3.** Resultados de la determinación de parámetros al agua residual tratada

| Parámetro                               | Valor promedio | Límite máximo permisible<br>NOM-002-SEMARNAT |
|---|----------------|--|
| pH                                      | 8.7            | 5.5 – 10                                     |
| Conductividad Eléctrica (mS/m)          | 12.10          | Sin Especificación                           |
| Grasas y Aceites (mg/L)                 | Ausencia       | 25   |
| Sólidos Sedimentables (mL/L)            | Ausencia       | 5  |
| Nitrógeno Total (mg/L)                  | 28             | 40   |
| Escherichia Coli por cada 100 mL, NMP   | 93             | Sin Especificación                           |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)                 | 150            | 150  |
| DQO (mg/L)                              | 201.6          | Sin Especificación                           |
| Salmonella /100 mL                      | Presencia      | Sin Especificación                           |
| Sólidos suspendidos totales (SST), mg/L | 100            | 200 mg/L                                     |
| Dureza (mg/L)                           | 317            | Sin Especificación                           |
| Sulfatos (mg/L)                         | 946            | Sin Especificación                           |

*Fuente: Del Autor*

Mediante la implementación del sistema de electrofloculación, se logró el tratamiento del agua residual proveniente del digestor dando cumplimiento a un gran número de parámetros establecidos en la NOM-002-SEMARNAT-1996, el sistema de tratamiento demostró ser efectivo con una reducción mayor al 50% en la DQO y  $DBO_5$ .

Con respecto a los valores de *E. coli* se logró una reducción de más del 50%, con un valor final por debajo de 100 NMP, lo que representa una cuantificación 10 veces menor al límite máximo permisible (1000 NMP) establecido por la NOM-002-SEMARNAT-1996.

Derivado de la eficiencia del tratamiento aplicado los valores obtenidos de E.Coli dan cumplimiento con lo establecido en la NOM-003-SEMARNAT-1997 que indica un valor menor a 100 NMP de coliformes para uso directo. En este sentido el agua residual tratada a través de este método puede ser una alternativa para el reúso del recurso hídrico en zonas áridas del país, como es el caso de la ciudad de Tijuana que se caracteriza por una zona de escasa precipitación, con escasas fuentes de agua superficiales y subterráneas, siendo su única fuente de abastecimiento el agua proveniente del río Colorado (Navarro Chaparro, 2010).

- Aldeguer, A., Prats, D., & Seller, A. (2019). Electrocoagulación en Fangos secundarios en la EDAR de Novelda - Monforte Del Cid. Efectos Sobre la Digestión anaerobia. Orihuela: Universidad de Alicante.
- Arango Ruiz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Revista Universidad EAFIT, 43(147), 56-67.
- Campos Pulido, R., López, A. A., Avalos, D. A., Hoyos, A. A., & Reta Mendiola, J. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponía. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas(5), 939-950.
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology, 38, 11-41.
- Holt, P. K., Barton, G. W., & Mitchell, C. A. (2005). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. Chemosphere, 59, 355-357.
- Mollah, M., Morkovsky, P., Gomes, J., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. Elsevier B.V, 199 -210.
- Navarro Chaparro, S. K. (2010). La problemática del agua urbana en la Ciudad de Tijuana, Baja California y algunas alternativas para la gestión sustentable. Tijuana, Baja California, México.
- Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. (2015). Diario Oficial de la Federación. Análisis de agua medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas método de prueba. México, D.F., México.
- Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001. (17 de Abril de 2001). Diario Oficial de la Federación. Análisis de agua determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas método de prueba. México, D.F., México.
- Norma Mexicana NMX-AA-074-SCFI-2014. (13 de Enero de 2015). Diario Oficial de la Federación. Análisis de agua medición ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas método de prueba. México, D.F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. (21 de Septiembre de 1998). Diario Oficial de la Federación. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Mexico, D.F., México.
- Ozyonar, F., & Karagozoglu, B. (June de 2011). Operating Cost Analysis and Treatment of Domestic Wastewater by Electrocoagulation Using Aluminum Electrodes. Polish Journal of Environmental Studies, 20(1), 173-179.
- Piña, S., Dominguez, M., & Ramirez González. (2011). Revisión de las variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 10(2), 257-271.
- Prieto García, F., Callejas Hernández, J., Reyes Cruz, V., & Marmolejo Santillán, Y. (2012). Electrocoagulación: una alternativa para la depuración de lactosuero residual. REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica., 5(3), 51-77.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. (2002). Informe de la situación del medio ambiente en México. México, México.
- Vasudevan, S. (March de 2012). Electrochemistry for Green and Clean Environment. (Central Electrochemical Research Institute, Ed.) Research Journal of Chemistry and Environment, 16(1), 3-6.



**ECORFAN®**

© Ecorfan-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of Ecorfan-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)