

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional en Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Eficiencia de la electrocoagulación en la reducción de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas bajo condiciones alto andinas (Juliaca – Puno)

Por:

Erick Alex Cancapa Turpo

Asesor:

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, diciembre del 2019

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

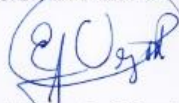
Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: "Eficiencia de la electrocoagulación en la reducción de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas bajo condiciones alto andinas (Juliaca – Puno)" constituye la memoria que presenta el estudiante Erick Alex Cancapa Turpo para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 2 días del mes de diciembre del año 2019.



Juan Eduardo Vigo Rivera

Asesor

Eficiencia de la electrocoagulación en la reducción de materia orgánica
presente en las aguas residuales domésticas bajo condiciones alto
andinas (Juliaca – Puno)

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Presentada para optar el grado de bachiller de Ingeniería Ambiental

JURADO CALIFICADOR



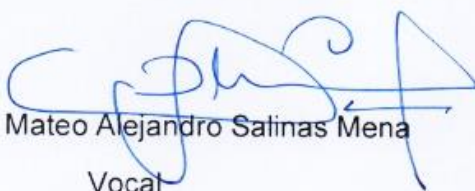
MSc. Rose Adeline Callata Chura

Presidente



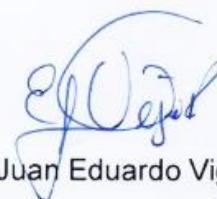
Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani

Secretario



MSc. Mateo Alejandro Salinas Mena

Vocal



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Asesor

Juliaca, 02 de diciembre del 2019

Eficiencia de la electrocoagulación en la reducción de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas bajo condiciones alto andinas (Juliaca – Puno)

Cancapa Turpo Erick A.¹ Vigo Rivera Juan E. ²

^aFacultad de Ingeniería y Arquitectura EP de Ingeniería Ambiental Universidad Peruana Unión

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de la electrocoagulación en la reducción de materia orgánica (DBO₅ y DQO). Para el cual se construyó un reactor de electrocoagulación tipo Bach a escala de laboratorio, con capacidad de tratar 12 litros de agua, con dimensiones internas de 50, 15, 20 cm de largo, ancho y alto, para la eliminación de los contaminantes se usaron placas de acero inoxidable unidas a una fuente de corriente eléctrica con regulador de voltaje. El tratamiento fue sometido en un tiempo de 30 minutos en 5 diferentes voltajes 6,7,8,9 y 10, con la finalidad de determinar cuál de estos tuvo mayor remoción en cuanto a turbiedad y así poder realizar una única prueba para la determinación de materia orgánica. Para evaluar las diferencias entre las medias de los voltajes utilizados en el tratamiento, se utilizó el método de análisis de regresión lineal cuyos datos se procesaron con el software minitab, obteniendo como resultado que existe diferencias de remoción en cuanto al rango de voltaje utilizado, así mismo los resultados experimentales iniciales en cuanto a (DBO₅ y DQO) fueron 74.6 ± 185.5 mg/l, valores que superan la normatividad para agua (ECA). Este estudio permitió remover el 52% de materia orgánica, en términos generales la electrocoagulación es un proceso efectivo para la remoción de contaminantes.

Palabras clave: Electrocoagulación; materia orgánica; aguas residuales domésticas.

Abstract

The purpose of this research is to evaluate the efficiency of electrocoagulation in the reduction of organic matter (BOD₅ and COD). For which a Bach-type electrocoagulation reactor was built on a laboratory scale, with the capacity to treat 12 liters of water, with internal dimensions of 50, 15, 20 cm long, wide and high, for the elimination of contaminants were used Stainless steel plates attached to an electric current source with voltage regulator. The treatment was submitted in a time of 30 minutes under 5 different voltages 6,7,8,9 and 10, in order to determine which of these had greater removal in terms of turbidity and thus be able to perform a single test for the determination of organic material. To evaluate the differences between the means of the voltages used in the treatment, the linear regression analysis method was used whose data was processed with the minitab software, obtaining as a result that there are differences in removal in terms of the voltage range used, so The same initial experimental results in terms of (BOD₅ and COD) were 74.6 ± 185.5 mg / l values that exceed the normativity for water (RCT). This study allowed the removal of 52% of organic matter, in general terms electrocoagulation is an effective process for the removal of contaminants.

Keywords: Electrocoagulation; organic material; domestic wastewater.

1. Introducción

En las últimas décadas se han emprendido acciones encaminadas a identificar la problemática mundial en torno al agua (French, 2016), ya que los contaminantes generados por la actividad domésticas provenientes de los sistemas de alcantarillados municipales son acumulados, deteriorando la calidad del recurso hídrico, como ríos, lagos y otros cuerpos de agua, que son importantes para cualquier tipo de ecosistema. Cuenca (2015), menciona que el vertimiento de estos presenta colorantes, hidrocarburos, compuestos fenólicos y que agrupados en común forman lo que se llaman demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno los cuales resultan difíciles de eliminar de los efluentes domésticos. Amada (2018), menciona que las aguas residuales traen como consecuencia la propagación de enfermedades, desaparición de especies y la pérdida de estética, así mismo sus condiciones naturales son alteradas por el ser humano. Peres (2014), menciona que los tratamientos de aguas buscan la reducción de cargas orgánicas u otros contaminantes. Estas aguas tratadas, posteriormente, son incorporadas a diversos procesos (Sedapal, 2017).

Según SUNASS (2018), las plantas de tratamiento del país están basadas en tecnologías convencionales y sus construcciones se estiman en US\$ 369 millones de dólares, monto que es usado para evitar o aliviar los efectos de los contaminantes de dichas aguas. A pesar de contar con 244 plantas solo se logra cubrir el 30 % de dichas aguas, lo cual origina que los efluentes tratados excedan los límites máximos permisibles (LMP) y los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. Cepis (2002), menciona que se requiere una alta inversión en el mantenimiento y operación. Son muchas las tecnologías investigadas, desarrolladas e implementadas para remover materia orgánica; entre estas tecnologías se encuentran diversos tratamientos que conllevan a invertir altas cantidades de dinero (Troconis, 2016).

Caray (2015), afirma que la electrocoagulación ofrece ser una alternativa eficiente para la remoción de materia orgánica en los efluentes domésticos gracias a su acción de oxidación avanzada el cual se define como un proceso efectivo para desestabilizar las partículas dispersas a través de ánodos y cátodos, permitiendo su aglomeración y precipitación, produciendo la depuración del agua contaminada, además de ser mucho más versátil, Kumar (2018), menciona que para el funcionamiento del proceso se requieren electrodos ya sea fierro o aluminio, estos son sumergidos en el fluido por tratar a una distancia paralela de los mismos. Rivera (2018), indica que para que el reactor funcione, se requiere de una fuente externa de energía eléctrica encargada de que los iones metálicos actúen como electrodos de sacrificio, sufriendo un desgaste a medida que pasa la corriente eléctrica en el medio acuoso, generando que los contaminantes formen componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan (Tetreault, 2014), al mismo tiempo las pequeñas burbujas de hidrógeno generadas en el cátodo hacen flotar a los flóculos formados facilitando la separación de partículas del agua residual (Navarro, 2016).

El propósito de la presente investigación fue evaluar el desempeño de la electrocoagulación en la reducción de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas en zonas alto andinas debido a que las condiciones en cuanto a temperatura y presión del lugar varían en referencia a anteriores investigaciones. El tratamiento se realizará por medio de un reactor de electrocoagulación Tipo Bach construido a escala de laboratorio y la fuente de corriente directa de la marca digital UNI-T UTP-3315TFL. Por ello la electrocoagulación debería ser tomada como una alternativa viable ya que éste genera pocos residuos secundarios, es rentable económicamente y tiene altos porcentajes de remoción cercanos o iguales al 98 % (Gorem, 2014).

2. Materiales y Métodos

El diseño del reactor de electrocoagulación es una réplica del modelo desarrollado por Lindsay Mendoza (2017), modificado para establecer un flujo continuo y con capacidad de tratar 12 litros de agua, con dimensiones internas de 50, 15 y 20 cm de largo, ancho y alto, ver (Fig 1). Así mismo tiene

válvulas de corte de flujo. Además de contar con un juego de 7 cátodos y 7 ánodos, con un valor de separación de 25mm, distancia que permite ajustar la separación entre electrodos y mantener el paralelismo entre las placas, del mismo modo están unidos a dos varillas de 50 cm de largo que se encuentran sujetas el reactor por medio de tuercas y arandelas, las cuales mantendrán los electrodos en su lugar y servirán como conductor eléctrico. Las pruebas se realizaron con placas de acero inoxidable como cátodo y ánodo de sacrificio, debido a que ofrece una mejor apariencia respecto al color del agua tratada, en la mayoría de los casos se desarrolla pasado el tiempo de sedimentación y con un conducto de salida para la toma de muestras.

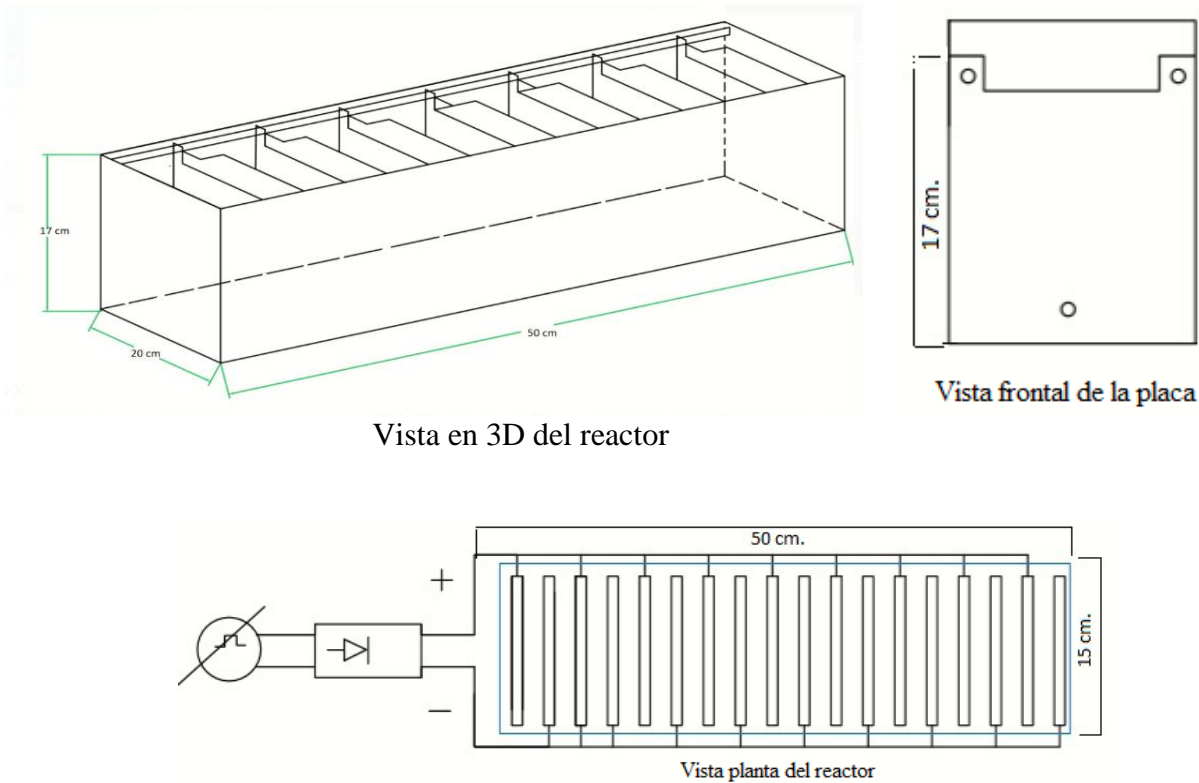


Figura 1. Reactor de electrocoagulación tipo Bach

2.1. Corriente eléctrica

El reactor se conectó a una fuente de alimentación de corriente directa de la marca digital UNI-T UTP-3315TFL, con características que alcanzan los 30 voltesos y un regulador de amperaje, proporcionada por la Universidad Peruana Unión, ver (Fig 2). Así mismo se menciona que carece de la certificación de equipo, puesto que su objetivo es la regulación estándar de la energía. Consecuentemente se alimentó al reactor de electrocoagulación tipo Bach desde los 6 a 10 voltios. Así mismo no se debe exponer al equipo a que sufra daños y perjuicios por la resistencia de las 14 placas de acero inoxidable, debido a que la distribución debe ser uniforme en todo el reactor y las oscilaciones que sobrepasan los 10 voltesos sobrecalientan al equipo, así mismo el equipo no trabaja a partir de los 120 minutos. Por ello se buscó determinar el óptimo voltaje en cuanto a la remoción de materia orgánica. Tomando como referencia los trabajos de kumar (2018), y de la universidad Castilla de la Mancha (2017). que realizaron sus investigaciones a partir de los 7 voltesos.



Figura 2. Fuente de energía UNI-T UTP-3315TFL

2.2. Toma de muestra de agua residual

La toma de muestra fue bajo el método de muestreo simple aleatorio establecido por el protocolo de toma de muestra para aguas residuales EPA (2015), tomado de la laguna de oxidación de la Universidad Peruana Unión el día 11 de octubre del 2019, obteniendo un total de 100 litros de agua en consideración a los 5 ensayos establecidos.

2.3. Proceso de electrocoagulación

Se realizaron 5 pruebas de ensayos con voltaje de 6,7,8,9,10 con la finalidad de determinar en cuál de ellos se tuvo la mayor remoción de turbiedad, debido a que este es un indicador de la presencia DBO₅ y DQO en aguas residuales domésticas, para así realizar una única prueba de remoción de carga orgánica. Las pruebas de ensayo se ejecutaron bajo los principios de la ley de Faraday, el cual indica que el proceso electrolítico es directamente proporcional a la intensidad de corriente suministrada al sistema, mientras mayor sea la intensidad de corriente, mayor fue la rapidez con la que ocurre el proceso electrolítico de inducción Faraday (2014), esta a su vez es inversamente proporcional a la resistencia que opone el sistema, consecuentemente se observó la formación de una capa sobrenadante espumosa desde el inicio del proceso hasta su terminación, también se observó la formación de burbujas que se desplazaron hacia la lámina del agua distribuyéndose a través de todo el reactor ver (Fig 3). Así mismo el reactor no está diseñado para la eliminación de los sólidos suspendidos y sedimentados que se coagulan por el proceso de electrolisis. también se debería contar con una entrada unida a una fuente de alimentación externa.



Figura 3. Reactor de electrocoagulación tipo Bach

2.4. Métodos de análisis

Para una mejor ilustración sobre los materiales y uso propiamente se muestra a continuación.

Tabla 1

Materiales y métodos para el análisis Físico-Químico

Parámetro	Método
DQO	Digestión cerrada por dicromato de potasio
DBO ₅	Método Winkler
Turbiedad	Nefelométrico
pH	Potenciómetro
CE	Electrométrico
T Cº	Medición prueba directa

Nota: * Los equipos están reconocidos y correctamente calibrados

2.5. Análisis de regresión

Se realizó un análisis de regresión lineal, para lo cual se evaluó los parámetros de bondad de ajuste aplicados por Chamby & Rodrigues (2019), para determinar el coeficiente de determinación R², cuadrado medio del error y el valor p para determinar si existe o no significancia y la ecuación matemática.

3. Resultados y Discusión

3.1. Caracterización fisicoquímica.

A continuación, se presenta la caracterización inicial fisicoquímica de la muestra antes de ser tratada por electrocoagulación, la cual fue el punto de partida para establecer las eficiencias de remoción mostradas en la Tabla 2, en ella es posible evidenciar la elevada concentración de cada uno de los parámetros medidos.

Tabla 2

Caracterización fisicoquímica de la muestra

Parámetro	Media (DE)	Coefficiente variabilidad	LMP*	ECA*
DBO ₅	74.6 ± 0.707	0.949	100	10
DQO	185.5 ± 0.707	0.381	200	30
Turbiedad	379 ± 1.000	0.263	-	100
pH	9 ± 0.147	1.724	6.5-8.5	5,5 - 9,0
Temperatura	12 ± 0.424	3.656	<35	Δ 3
Conductividad Eléctrica	992 ± 0.577	0.057	-	1 600

Nota: DE: desviación Estándar; * Comparación con la normativa (ECA Y LPM)

El análisis inicial muestra que la DBO₅, DQO y la turbiedad superan los estándares de calidad ambiental establecidos por la Decreto supremo N° 004 2017-MINAM, por el contrario, la demanda biológica y química se encuentran dentro del rango establecido para los Límites Máximos Permisibles Decreto

Supremo 003-2010 cumpliendo los requisitos de la norma. Así mismo, pH y temperatura oscilan en un rango mucho mas alto que el del límite permitido.

3.2. Análisis de remoción de parámetros fisicoquímicos

A continuación, se muestran el análisis de remoción de los parámetros (Físico-químicos) obtenidas de las muestras tratadas ver Fig 4.

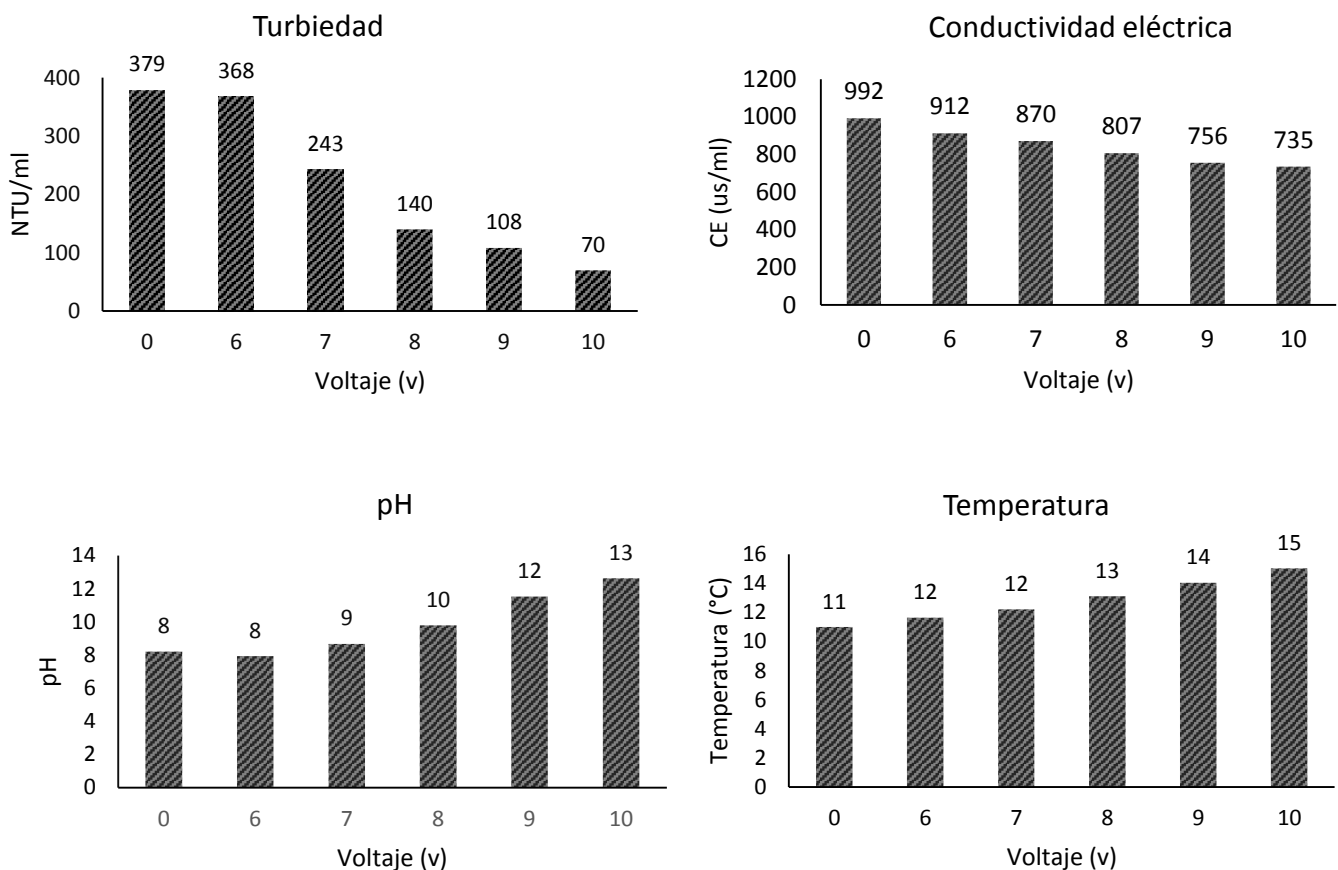


Figura 4. Análisis de remoción de parámetros (Físico-Químicos)

De la figura 4 claramente podemos apreciar una disminución notable de contaminantes en la muestra después de ser expuesta al tratamiento. En el parámetro de turbiedad la disminución oscila, de los 379 a 70 UNT en el voltaje N.º 10 cumpliendo con los requisitos establecidos por la norma <100 UNT. Así mismo se observa un aumento relativo en pH y temperatura.

Por otro lado, Vaca (2007), también observó incrementos de T°C durante el proceso de electrocoagulación utilizando placas de acero inoxidable, esto se debe al desgaste de la película de óxido de hierro. Así mismo (Bartom, 2014) también menciona que el incremento de T°C aumenta la velocidad de reacción debido a que esta se duplica por cada 10°C de aumento de temperatura. Esto hace de suponer que podría ser beneficioso para el proceso, sin embargo, un incremento de T°C en el proceso de electrocoagulación lleva a la separación de los agregados formados durante el proceso.

Corton (2017). Afirma que se tiene mayor capacidad de eficiencia sobre la remoción de turbiedad, debido a que estas poseen compuestos orgánicos. Como se pudo evidenciar, a mayores valores de pH, se logran mejores resultados de remoción en el proceso de electrocoagulación similares con blanqueo para Mayta (2016), que adicionalmente, obtuvo mejores resultados agregando electrolitos de soporte al tratamiento.

Se puede inferir que la conductividad baja de los 992 a los 735 (us/ml) esto ocurre debido a que la densidad de la corriente aumenta en relación al voltaje por otro lado (Mollag & Morkovisky, 2015) mencionan que en algunos casos es necesario agregar cloruro de sodio para mejorar la conductividad del efluente, en el caso de nuestro proyecto no fue necesario por lo indicado anteriormente. Así mismo (Respetro, 2013), menciona que este está relacionado al incremento del pH que se incrementa desde los 8 a los 13, debido a la generación de hidrógeno molecular que se origina en el cátodo, a este debe sumarse la capacidad tampón del sistema, ya que existe un equilibrio entre la generación y el desgaste de Fe (OH), el cual impide los cambios bruscos del pH. Por otra parte, el incremento de temperatura de 11 a 15 °C se debe a que la corriente eléctrica se convierte en energía calórica.

3.3. Modelos de bondad de Ajuste

A continuación, se presenta los datos del modelo de la bondad de ajustes para determinar si existe diferencias sobre los resultados y voltajes establecidos.

Tabla 3.

Criterios de bondad de ajuste

Criterios	Turbiedad	Conductividad Eléctrica	pH	Temperatura
Coefficiente de Correlación múltiple	0.849	0.953111966	0.732581587	0.862
Ecuación de Grafico Y=	-73.067x + 770.4	-46.867x + 1190.9	1.2243x + 0.306	0.8627x + 6.3053
Coefficiente de determinación R²	0.920	0.979	0.982	0.992
Suma de cuadrados	64314.014	48306.152	9.800	8.599
P – valor	0.004	5.872	0.006	0.0002

Nota: P representa el valor de significancia

Según el análisis estadística de criterio de bondad de ajustes indica que, turbiedad, pH y temperatura son menores 0.05 por lo tanto el modelo de la bondad de ajustes nos indica que aproximación a la distribución de cada uno de nuestros parámetros tiene un valor de significancia <0.05 por tanto se descarta la Ho debido a que existe una diferencia significativa entre las frecuencias de la entrada y la salida del agua, así mismo no hay significancia en el parámetro de conductividad eléctrica.

3.4. Valores mínimos y máximos en relación a materia orgánica

A continuación, se presenta los resultados de remoción de la Demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno en el voltaje numero 10

Tabla 4

Valores de entrada y salida

Variables	DBO ₅		DQO	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Media	74.67	38.5	185	96
Varianza	0.33	0.31	0.5	0
CRP	0.16	-	0.9	-
P(T<=t)	0.00014	-	0.00356	-

De la tabla N° 4 se infiere que el p valor de DBO₅ se tiene 0.00014 es menor al nivel de significancia de 0.05 si es aceptable y para DQO tiene 0.00356 es decir el valor de p sigue siendo <0.05 es aceptable, infiriendo que el método que se ha realizado funciona de manera que los resultados obtenidos son los esperados. Así mismo se puede apreciar que el DBO₅ tuvo un valor de remoción del 51.6 % mientras que DQO en un total de 51.86%.

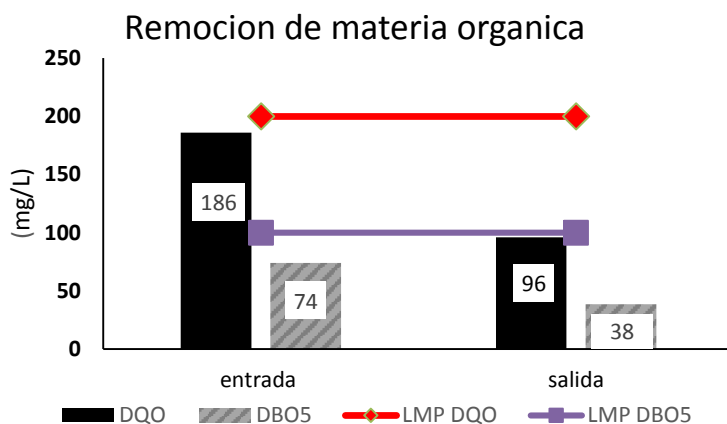


Figura 5. Análisis de remoción en el voltaje 10

Se infiere que los parámetros tratados con el voltaje 10 eliminaron la mayor parte de carga orgánica, mucho menores a las exigencias de la norma LMP para agua 200 (DQO) y 100 (DBO₅), y su eficiencia fue optima debido a que las grasas y los sólidos fueron removidos en el proceso de electrolysis, también se observa que la relación entre DBO₅ y DQO va de 1 a 2, lo cual indica que dichos contaminantes son biodegradables.

4. Conclusión

Este estudio muestra que el sistema de electrocoagulación de las aguas residuales domesticas permitieron remover significativamente una gran cantidad de los contaminantes establecido en el agua principalmente DBO₅ y DQO. Así mismo la utilización de las placas de acero inoxidable demostraron eficacia en la coagulación de solidos suspendidos. El comportamiento esperado y la incidencia de los factores escogidos para el diseño pueden verse en la medida de remoción en relación al tiempo expuesto y nivel de voltaje del sistema eléctrico. Se determinó que el óptimo voltaje para la mayor eliminación de contaminantes domésticos en el agua fue de 10 voltios, valor máximo del estudio.

Recomendaciones

Es recomendable para estudios posteriores acompañar el seguimiento del proceso de electrocoagulación con registros de pH, se debe considerar el uso de soluciones buffer para que permitan mantener estable el pH o caso contrario hacer uso de tampón de pH. así mismo se debe comprobar la eficiencia de la electrocoagulación de aguas residuales con otro tipo de efluentes domésticos y evaluar la posibilidad de trabajar con reactores de tipo continuo y realizar múltiples análisis tomando como variables el tipo de material y el tiempo de su ejecución.

Bibliografía

- Amada, M. (2018). Optimization of Electrocoagulation on Removal of Wastewater Pollutants. Obtenido de Optimization of Electrocoagulation on Removal of Wastewater Pollutants: <https://www.longdom.org/open-access/optimization-of-electrocoagulation-on-removal-of-wastewater-pollutants-2252-5211-1000357.pdf>
- Bartom. (2014). The future for electrocoagulation as a localised water treatment. *Chemosphere*.
- Caray, S. G. (2015). Análisis de la electrocoagulación como tecnología eficiente para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil. obtenido de análisis de la electrocoagulación como tecnología eficiente para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/389/168/>
- Cepis. (2002). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Obtenido de Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua: [http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20\(cepis\)\(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20(cepis)(2).pdf)
- Chamby, & Rodrigues. (s.f.). Extracción y caracterización. Obtenido de Extracción y caracterización: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/701/Miraya_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Corton . (16 de 07 de 2017). Estudio del proceso de electrocoagulación de la vinaza empleando electrodos de hierro. Obtenido de Estudio del proceso de electrocoagulación de la vinaza empleando electrodos de hierro: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543769003.pdf>
- Cuenca, D. (15 de 06 de 2012). El tratamiento de agua residual doméstica. Obtenido de El tratamiento de agua residual doméstica: <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- EPA. (08 de Diciembre de 2015). Google Academico . Obtenido de Google Academico : https://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PROTOCOLO_DE_TO MA_DE_MUESTRAS_DE_AGUA_RESIDUAL_ver_2.pdf
- Faraday. (06 de 08 de 2014). Google Academico. Obtenido de Google Academico: https://www.ib.edu.ar/images/beca_ib_alum_niv_medio/trabajos/mat_didact/electromag/LopezL.pdf
- French, J. (16 de 06 de 2016). Wastewater management for coastal cities: the ocean disposal option. Obtenido de Wastewater management for coastal cities: the ocean disposal option: <https://link.springer.com/978-3-642-79729-3>
- Gorem, N. (2014). investigation of electrocoagulation and electrooxidation. obtenido de investigation of electrocoagulation and electrooxidation: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/710908>
- kumar. (2018). A Review of Electrocoagulation Process for Wastewater. Obtenido de A Review of Electrocoagulation Process for Wastewater: https://www.researchgate.net/publication/324154235_A_Review_of_Electrocoagulation_Process_for_Wastewater_Treatment
- Mancha, C. I. (15 de 04 de 2017). Tratamiento de aguas residuales industriales mediante la electrocoagulación y coagulación convencional . Obtenido de Tratamiento de aguas residuales industriales mediante la electrocoagulación y coagulación convencional : <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251%20Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20industriales.pdf?sequence=1>
- Mayta, R. (12 de 08 de 2016). Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. Obtenido de Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lang=es
- MINAM. (08 de 11 de 2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias . Obtenido de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias : <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- Mollag, & Morkovisky. (2015). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation.
- Navarro, M. (28 de 03 de 2016). tratamiento de aguas residuales industriales. Obtenido de tratamiento de aguas residuales industriales: <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251%20Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20industriales.pdf?sequence=1>
- Peres, G. (16 de 04 de 2014). Aguas residuales composición . Obtenido de Aguas residuales composición : [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1__15.247647s.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf)
- Respetro. (2013). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. Limpe.

- Rivera, A. (2018). Electrocoagulación y Electrofiltración. Obtenido de Electrocoagulación y Electrofiltración: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ecuador10/elec.pdf>
- Sedapal. (14 de 06 de 2017). Determinación de materia orgánica en aguas: demanda química de oxígeno. obtenido de determinación de materia orgánica en aguas: demanda química de oxígeno: https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0405/TAQP4_0405.pdf
- SUNASS. (29 de 06 de 2018). Plantas de tratamientos. Obtenido de Plantas de tratamientos: <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- Tetreault, A. (02 de 2014). Electrocoagulation Process for Wastewater Treatment. Obtenido de Electrocoagulation Process for Wastewater Treatment: https://www.ampc.com.au/uploads/cgblog/id172/ENV_2003_Electrocoagulation_process_for_wastewater_treatment.pdf
- Troconis, A. (19 de 09 de 2016). Tratamiento de aguas Reiduales. Obtenido de Tratamiento de aguas Reiduales: https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf
- Vaca, G. (03 de 12 de 2017). Estudio exploratorio del tratamiento de agua de lavado de tintas por método de electrocoagulación/electroflotación. Obtenido de Estudio exploratorio del tratamiento de agua de lavado de tintas por método de electrocoagulación/electroflotación: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2016000100009&lang=es

Anexos

Panel fotográfico



Figura 3: Análisis de turbiedad



Figura 4: Análisis Físico químicos



Figura 5: Proceso de electrocoagulación



Figura 6: Muestra inicial y Final