



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE LA TECNOLOGÍA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA DISMINUCIÓN DE TURBIDEZ Y DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LACTEA.”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autor:

Edwin Alberto Luicho Muñoz

Asesor:

Ing. Magda Rosa Velásquez Marín

Cajamarca - Perú

2020



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi padre celestial por hacer de mí el hombre que ahora soy, por darme siempre las fuerzas para salir adelante a pesar de las adversidades; por ser mi guía y mi fortaleza en el camino de la vida y por darme la sabiduría necesaria para actuar de una manera adecuada. A mis padres, esposa y mis dos pequeñas hijas Abril y Brenda que son el motivo para seguir esforzándome cada día por ser el mejor.



AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios primeramente por darme la oportunidad de llegar hasta esta etapa de mi carrera, a mi familia por el apoyo incondicional y sobre todo por su comprensión cuando en algunos momentos no he podido estar con ellos cuando me necesitaban. ¡Menos mal ya falta poco!

Un refrán que aprendí hace mucho dice: "Si uno hace lo que siempre ha hecho, nunca llegará más allá de donde siempre ha llegado". Así que bajo este contexto trato de superarme cada día, tomando como referente que uno nunca deja de aprender en la vida. Finalmente, gracias a todas las personas que de una u otra manera me han apoyado y que creen en mí, ¡No los defraudaré...!



Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	12
CAPÍTULO III. RESULTADOS	16
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES	18
REFERENCIAS.....	20

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Artículos científicos incluidos en el trabajo de investigación	14
Tabla 2. Cuadro de investigaciones por base de datos consultadas	15

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Gráfico de investigaciones por base de datos consultadas	15



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo estudiar la eficiencia de la aplicación de la tecnología de electrocoagulación en la disminución de la turbidez y la DQO en aguas residuales de la industria láctea.

Actualmente ante la creciente demanda de tecnologías para tratar aguas residuales de origen lácteo, que no solo mitiguen el impacto que estas generen sino también que sean de tipo ecológica y sostenible, surge la idea del trabajo de investigación “Estudios realizados sobre la tecnología de electrocoagulación para la disminución de turbidez y demanda química de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.” Así espero contribuir a la mejora en el tratamiento de dichos efluentes.

Los artículos estudiados fueron escogidos debido a que contribuyen a poder comprender su importancia y la metodología que son las bases teóricas para sustentar mi trabajo de investigación.

Se comprobó la eficiencia de esta tecnología y como un par de electrodos de aluminio y fierro son capaces de efectuar una reducción significativa de las variables estudiadas. Por lo tanto, el trabajo de investigación que llevo a cabo es de suma importancia como uso de nuevas tecnologías limpias para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria láctea.



Estudios realizados sobre la tecnología de electrocoagulación para la disminución de turbidez y demanda química de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

PALABRAS CLAVES: Electrocoagulación, Demanda química de oxígeno, agua residual y Turbidez.



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación “Estudios realizados sobre la tecnología de electrocoagulación para la disminución de turbidez y demanda química de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.” tiene su apoyo en la investigación sistemática de bibliografía de trabajos de estudios que sustenten la viabilidad de poder responder nuestros objetivos de investigación, que es determinar la efectividad de la tecnología de electrocoagulación para el procesamiento de las aguas residuales, teniendo como parámetros a estudiar la turbidez y la demanda química de oxígeno.

Así para poder determinar los parámetros de DQO de los desechos de la industria láctea, Parra, R. (2010) en su trabajo titulado “Digestión anaerobia de lactosuero: efecto de altas cargas puntuales” describe la cantidad a la que pueden llegar una medida de DQO que fue de 10,500 mg O₂/L día por influencia del lactosuero vertido en el agua, estos valores son convenientes para nuestro estudio debido a que por los valores altos reportados en su trabajo de investigación podremos poner a prueba el método mencionado.

Para el segundo objetivo que tiene que ver con la turbidez, me fueron útiles los trabajos primero de López y Harnist (2016) titulado “Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea” en el cual se llega a tener una remisión de la DQO de un 82.42% y para la turbidez de 76.81% lo cual es de suma importancia para respaldar mi hipótesis de investigación.

Otro trabajo que considero importante para sustentar el trabajo de investigación es el de Callejas, J. et all (2012) titulada “Depuración por electrocoagulación en un lactosuero:



Estudios realizados sobre la tecnología de electrocoagulación para la disminución de turbidez y demanda química de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

Cinética del proceso” En este trabajo de investigación se presentan valores de remisión de la DQO de un 50 % pero lo interesante de este trabajo es que se probaron electrodos de aluminio y hierro como electrodos de trabajo (ánodos) los electrodos auxiliares fueron de grafito y de óxido de rutenio/titanio (cátodos) y como electrodo de referencia se utilizó un electrodo de Calomel (mercurio-sulfato mercurioso) dando como resultado que el mejor arreglo de electrodos evaluados fue el del par de aluminio-óxido de rutenio, con un potencial redox entre 0,2 V y 4,0 V.

Teniendo presente los anteriores estudios, Arango y Garcés (2007) en su trabajo “Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea” nos proporcionan los datos necesarios para poder diseñar nuestro reactor de electrocoagulación, el cual es de suma importancia para llevar a cabo las pruebas experimentales.

Así mismo, Piña, M. et al (2011) en su trabajo “Revisión de las variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación” muestra una revisión bibliográfica sobre los fundamentos teóricos más importantes de la electrocoagulación, muestra algunos diseños y muestra algunos resultados relevantes para la remoción de diversos contaminantes de tipo orgánico e inorgánico.

Finalmente, lo que le da validez y me anima a seguir con la investigación del presente trabajo es considerar que para otros autores esta tecnología es fiable y da buenos resultados. Para Prieto, F. et al (2012) en su trabajo de investigación “Electrocoagulación:

una alternativa para depuración de lactosuero residual” mencionan que la tecnología electroquímica es considerada como una técnica amigable con el medio ambiente y adecuada

Estudios realizados sobre la tecnología de electrocoagulación para la disminución de turbidez y demanda química de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

para el tratamiento de aguas residuales de diversas procedencias. Similares conclusiones mencionan Cañizares, P. et all (2009) en su trabajo "La electrocoagulación, una alternativa al proceso convencional de coagulación de aguas residuales" La electrocoagulación es una tecnología que ha demostrado resultados prometedores tanto en eficacia como en costes.



CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El tipo de investigación que usaremos será la aplicada, porque nos basaremos fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica. El método que se usó para hallar la bibliografía base se basó en la búsqueda bibliográfica a través de buscadores como: Biblat (Bibliografía latinoamericana en revistas de información científica y social) Scielo, Redalyc.org, Google académico, La referencia (Red de repositorios de acceso abierto a la ciencia) entre otros. He utilizado Mendeley como un referenciador bibliográfico, pero previamente he creado una carpeta sacando información de las revistas tales como: Tecnología química, ciencias ambientales, química viva, revista colombiana de física, mexicana de ingeniería química, journal of engineering and technology, ciencia e ingeniería, Aidis de ingeniería y ciencias ambientales, entre otros. Finalmente se utilizaron criterios de selección como de exclusión de la información que dará sustento al presente trabajo de investigación; tomando como criterios artículos más recientes, información muy antigua, idioma, como las fuentes fiables de donde inicialmente se obtuvieron. Para sustentar esta metodología se tiene el siguiente sustento teórico.

Título	Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea
Autores	Pamela López, Antonio Harnisth
Revista	Enfoque UTE, V.7-N.1, Mar.2016, pp.13 - 21 http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
Resumen	La industria láctea genera gran cantidad de agua residual en sus procesos, estos desechos líquidos son vertidos directamente a fuentes hídricas sin ningún



	<p>tratamiento previo. Para dar una solución a este problema, se estudió una técnica que permite el tratamiento de este tipo de aguas con alta carga orgánica, se la conoce como electrocoagulación. Para llevar a cabo el proceso de electrocoagulación se determinó tres factores que son: tiempo, número de placas del electrocoagulador y voltaje del sistema. Una vez realizadas las corridas experimentales se evidencio la eficiencia del tratamiento de electrocoagulación, obteniendo como porcentajes de remoción de aproximado de DQO fue de 93%, DBO5 de 82 % y de SS de 76 %.</p>
<p>Metodología</p> <p>Muestreo y caracterización de la muestra</p>	<p>Las muestras tomadas para el tratamiento de electrocoagulación fueron realizadas antes de ser descargadas al alcantarillado. Se tomó 3 canecas de plástico de 20 litros aproximadamente, cada vez que era necesario para los tratamientos de la investigación.</p> <p>Debido a que el flujo de agua residual no es continuo, se decidió tomar muestras simples. Una vez tomadas las muestras del punto de muestreo escogido, fueron llevadas a refrigeración inmediatamente para que se preserven hasta el momento de su uso.</p> <p>La muestra de agua residual tomadas para el análisis de los parámetros físico-químicos en un laboratorio certificado, se la realizó en una botella de vidrio de 500 ml. En tanto que la muestra que se analizó en el laboratorio de ingeniería ambiental-UDLA, se tomó en una botella plástica de 3 litros.</p> <p>La caracterización del agua cruda se realizó en base a los parámetros establecidos en la Guía de Parámetros Mínimos por Sector Productivo dado por la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU), establecidos en la Ordenanza 404, Resolución N0 002.</p> <p>Los parámetros como pH y temperatura se realizaron in situ en el momento del muestreo. Los análisis de DBO5, SSed y SS se los realizó en el laboratorio de Ingeniería ambiental. Para analizar los aceites y grasas y el DQO se prescindió de los servicios de un laboratorio certificado por la OAE.</p>
	<p>Se utilizó para esta investigación el diseño factorial 2³, mediante la utilización del software Minitab 17. Se analizó los factores: tiempo, número de placas del electrocoagulador y voltaje del sistema, con el fin de conocer el tiempo óptimo de tratamiento, además de estudiar los efectos entre el número de placas utilizadas y la fuente de energía disponible.</p> <p>El orden de los experimentos llevados a cabo se realizó completamente al azar, con la interacción de los factores estudiados con cada uno de sus niveles de</p>



<p>Diseño Experimental</p>	<p>estudio. Para el presente estudio se tomó como base tres factores de operación: tiempo de reacción, número de placas y voltaje; con dos niveles cada uno. La variable de respuesta fue la disminución de la turbidez del agua tratada, tomando como referencia la turbidez del agua residual. Una vez determinados los parámetros óptimos de operación del electrocoagulador a escala laboratorio, se procedió a la construcción del electrocoagulador a escala piloto para el tratamiento de 33 litros de agua, con los factores de mayor significancia del diseño experimental.</p> <p>Los diferentes tratamientos del diseño experimental, se realizaron con un electrocoagulador a escala laboratorio, donde se trataron 9 litros de agua residual</p> <p>El tiempo de reacción y el voltaje interactúan afectando la respuesta de turbidez. El mejor resultado para la disminución de turbidez se encuentra en la parte superior derecha del cubo, es decir, que la relación entre el número de placas, el tiempo de reacción y el voltaje en su nivel alto respectivamente, permiten una disminución de 13.45 NTU frente a la turbidez inicial de 270 NTU. Otro dato significativo es la turbidez de 15.65 NTU, en donde interactúan el tiempo de reacción en su nivel alto (1), el voltaje en su nivel bajo (1) y el número de placas en el nivel alto (1).</p>
<p>Conclusiones</p>	<p>De los factores analizados: tiempo, voltaje y número de placas, en el diseño experimental, se concluye que los tres influyen significativamente en el proceso de electrocoagulación. La turbidez inicial de 770 NTU, disminuyó aproximadamente a 19.9 NTU después del tratamiento e estudio. Al terminar el tratamiento de electrocoagulación, el agua presenta una remoción significativa en la disminución de DQO, DBO₅ y SS.</p>
<p>Análisis del documento</p>	<p>El análisis del documento presentado se llevó a cabo mediante el uso de las palabras claves y específicamente electrocoagulación, el cual conlleva a una serie de datos que pueden ser analizados para la investigación en curso.</p>



Estudios realizados sobre la tecnología de electrocoagulación para la disminución de turbidez y demanda química de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

El artículo “Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea” de López, P y Harnisth, A (2016). me proporciono el tipo de diseño experimental que puedo llevar a cabo en mi investigación teórica. Y este fue un factor para su inclusión dentro del grupo de trabajos de investigación.

También puedo considerar este artículo dentro de los que obligatoriamente debo tomar en cuenta para mi trabajo de investigación el cual se titula “Diseño de una celda de electrocoagulación” Arango, A. et all (2007). en este artículo encontré como diseñar una celda de electrocoagulación y con el artículo “Revisión de las variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación” Piña, M. Et all (2011). complemento la metodología operativa de mi trabajo de investigación.



Estudios realizados sobre la tecnología de electrocoagulación para la disminución de turbidez y demanda química de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

De las 28 bibliográficas consultadas solo 7 alcanzaron la categoría de incluidas como lo muestra la tabla 1, debido a que aportaron significativamente a mi búsqueda, pasando por artículos que me dieron un alcance concreto de los términos, manejo, diseño y conceptos teóricos necesarios para ejecutar mi trabajo de investigación.

Tabla 1. Artículos científicos incluidos en el trabajo de investigación

Nº	AUTORES	TITULO DEL ARTÍCULO	AÑO	REVISTAS
1	Pamela López, Antonio Hamisth	Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea.	2016	Enfoque UTE.
2	Alvarado Arango Ruiz - Luis Fernando Garcés Giraldo	Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.	2007	Revista universidad EAFIT
3	Judith Callejas Hernández - Francisco Prieto García - Victor E. Reyes Cruz - Yolanda Marmolejo Santillán - Erika Bustos Bustos	Depuración por electrocoagulación en un lactosuero: Cinética del proceso	2012	Revista tecnología química.
4	M. Piña Soberanis - A. Martín Domínguez - C.A. González Ramírez - F. Prieto García - A. Guevara Iara y J.E. García Espinoza	Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación.	2011	Revista Mexicana de ingeniería química
5	Pablo Cañizares - Fabiola Martínez - Cristina Sáez - Manuel Andrés Rodrigo	La electrocoagulación, una alternativa al proceso convencional de coagulación de aguas residuales.	2009	Revista afinidad
6	Francisco Prieto García - Judith Callejas Hernández - Victor E. Reyes Cruz - Yolanda Marmolejo Santillán	Electrocoagulación: Una alternativa para depuración de lactosuero residual.	2012	Revista Aidis de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica.
7	Ricardo Adolfo Parra Huertas	Digestión Anaerobia de Lactosuero: Efecto de Altas Cargas Puntuales	2010	Revista Facultad nacional de agronomía - Medellín.

Estudios realizados sobre la tecnología de electrocoagulación para la disminución de turbidez y demanda química de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

Tabla 2. Cuadro de investigaciones por base de datos consultadas

INVESTIGACIONES POR BASE DE DATOS		
BASE DE DATOS	N°	DESCRIPCIÓN
Google Académico	9	07 son tesis y 02 son revistas.
Redalyc	7	Todas son revistas científicas
Biblat	2	Todas son revistas científicas
Scielo	1	Todas son revistas científicas
La Referencia	1	Todas son revistas científicas
Otros	8	Todas son revistas científicas
TOTAL	28	21 Corresponden a revistas científicas y 07 a Tesis.

Figura 1. Gráfico de investigaciones por base de datos consultadas





CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

Conclusiones

Se obtuvo inicialmente un número de 28 artículos científicos de los cuales 7 son tesis, todos aportaron a enriquecer mis conocimientos en términos generales en cuanto a esta técnica electroquímica, la cual me ha parecido de gran utilidad por su importancia para la conservación del medio ambiente ya que es usada como tecnología limpia con una eficiencia comprobada, así como su bajo coste para la remoción de contaminantes en aguas residuales de diferentes tipos y en especial la de la industria láctea.. De todos los artículos obtenidos, solo 7 se tomaron en cuenta como tal por ser de mucha ayuda en cuanto a sus aportes de utilización, manejo y diseño los cuales son relevantes en cuanto a información proporcionada para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Luego de analizar la bibliografía de referencia, se puede llegar a las siguientes conclusiones.

1.- La electrocoagulación de las aguas residuales con un par de electrodos de aluminio y hierro fueron capaz de efectuar una reducción de NTU del más del 76%. Lo cual apoya nuestra propuesta de investigación (López y Harnisth .2016. p.13)

2.- Se pudo evidenciar la eficiencia de esta tecnología obteniendo una disminución del DQO logrado, que fue de un aceptable 93 % lo que también apoya nuestro trabajo de investigación. (López y Harnisth .2016. p.13)



Estudios realizados sobre la tecnología de electrocoagulación para la disminución de turbidez y demanda química de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

3.- Un valor muy elevado de densidad de corriente puede disminuir significativamente la eficiencia de la corriente, por la producción de oxígeno y la pasivación del electrodo (Piña, M et al 2011, p.267).

4.-Las condiciones de operación de la electrocoagulación dependen de la química del medio acuoso, especialmente de la conductividad y del pH, así como también el tamaño de partícula (Piña, M et al 2011, p.267).



REFERENCIAS

- Arango, A., & Garcés, L. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Universidad EAFIT*, 43(147), 56–67.
- Callejas, J., Prieto, F., Reyes, V., Marmolejo, Y., & Bustos, E. (2012). Depuración por electrocoagulación en un lactosuero : Cinética del proceso. *Tecnología Química*, XXXII(2), 202–213.
- Cañizares, P., Martínez, F., Sáez, C., & Rodrigo, M. (2009). La electrocoagulación, una alternativa al proceso convencional de coagulación de aguas residuales. *Afinidad*, 66(539), 27–37.
- López, P., & Harnisth, A. (2016). Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Enfoque UTE*, 7(1), 13–21. Retrieved from <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/84%0Ahttp://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/download/84/89>
- Parra, R. (2010). Digestión Anaerobia de Lactosuero : Efecto de Altas Cargas Puntuales. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(1), 5385–5394. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n1/a14v63n01.pdf>
- Piña, M., Dominguez, A., Gonzáles, C., Prieto, F., Guevara, A., & García, J. (2011). Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(2), 257–271. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v10n2/v10n2a10.pdf>
- Prieto, F., Callejas, J., Reyes, V., & Marmolejo, Y. (2012). Electrocoagulación: Una alternativa para depuración de lactosuero residual. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, 5(3), 51–77.