



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Efecto de la densidad de corriente y tiempo de electrocoagulación de la DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación, Ascope”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORA

CAMACHO GÁMEZ YESENIA YANETH

ASESOR

MS. VALDERRAMA RAMOS ISIDORO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

CALIDAD Y GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES

TRUJILLO – PERÚ

2017

JURADO EVALUADOR

Dr. Medardo Alberto
Quezada

PRESIDENTE

Dr. José Félix Rivero
Meléndez

SECRETARIO

MSc. Isidoro Valderrama
Ramos

VOCAL

DEDICATORIA

La presente Tesis la dedico primeramente a Dios, por permitirme llegar a este momento tan importante de mi vida y cumplir mis metas propuestas, A mi amada madre Florencia Gámez Mendieta quien estuvo ahí para brindarme sus consejos y su apoyo incondicional para poder ser perseverante para cumplir mis objetivos propuestos. A mi novio Jean Carlos León Carranza por sus palabras, por su confianza, por su amor, por su sacrificio y esfuerzo para brindarme un mejor futuro y creer en mis capacidades para realizarme profesionalmente. A mis hijos Maite y Damián por ser mi motivo e inspiración para poder seguir por el buen camino y así poder luchar por todos mis objetivos y darle una mejor vida. A mi tía Cristina Carranza Capcha, quien actuó como una madre, ya que compartió momentos significativos en mi vida.

Gracias a todas las personas que creyeron en mí.

AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a Dios por protegerme y permitirme llegar a cumplir una meta más en mi vida.

Agradecer por su apoyo y colaboración brindada para la realización de la presente tesis al Dr. José Félix Rivero Méndez.

Agradecer a mi profesor de Tesis, Dr. Alberto Quezada por su visión crítica, por sus lecciones, que me ayudaron a constituirme profesionalmente.

Agradecer a mi madre por el apoyo y la confianza que depositó en mi para lograr cumplir mis objetivos.

Agradecer a mi novio por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera universitaria.

Agradecer a mi tía Cristina quien supo escucharme cuando más lo necesitaba.

Agradecer a Juan Carlos Aguilar quien me demostró su colaboración y apoyo durante la elaboración de mi Tesis.

Agradecer a todas aquellas personas quienes me ayudaron directamente e indirectamente para la culminación de este presente Trabajo.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yesenia Yaneth Camacho Gámez, con el DNI N°46567312, en calidad de estudiante de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la Universidad César Vallejo sede/filial TRUJILLO. Que declaro:

Que el trabajo titulado como:

“EFECTO DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE Y TIEMPO DE LA ELECTROCOAGULACIÓN EN LA DQO Y TURBIEDAD DEL EFLUENTE DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE ASCOPE”

Para la obtención del título profesional de INGENIERO AMBIENTAL es de mi autoría.

Por lo tanto, declaro lo siguiente:

- Que todos los datos e información contenida en este estudio son veraces y auténticos.
- Las fuentes bibliográficas empleadas en este trabajo están respectivamente citadas conforme la norma establecida para la elaboración de trabajos académicos.
- De encontrarse referencias bibliográficas ajenas sin el reconocimiento de fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el procedimiento sancionador.
- De encontrarse ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información me someto a las sanciones correspondientes por Universidad César Vallejo.

Trujillo, 21 de noviembre del 2017

Firma

DNI: 46567312

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado

En cumplimiento del reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo, presento ante ustedes la tesis titulada **“Efecto de la densidad de corriente y tiempo de la electrocoagulación en la DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación de Ascope”**. Con el objetivo de ver cuál es el efecto que tiene los factores influyentes como la densidad de Corriente y Tiempo sobre la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Turbiedad, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo para obtener el Título Profesional de Ingeniería Ambiental.

El presente documento contiene 8 capítulos: el capítulo 1, hace referencia sobre la introducción donde expresamos toda la parte teórica, la formulación del problema, hipótesis y los objetivos. En el capítulo 2, hace referencia sobre el marco metodológico donde expresamos nuestro tipo de diseño, población, muestra, y desarrollo metodológico. En el capítulo 3, hace referencia acerca de nuestros resultados donde expresa resultados obtenidos en los tratamientos y las pruebas estadísticas. En el capítulo 4, hace referencia de las discusiones donde expresa los resultados obtenidos con los antecedentes. En el capítulo 5, hace referencia sobre las conclusiones que se han obtenido en la investigación. En el capítulo 6, hace referencia sobre las recomendaciones que se debe tener en cuenta en el proceso de la electrocoagulación. En el capítulo 7, hace referencia a todas las fuentes bibliográficas que sea utilizado en esta investigación. En el capítulo 8, hace referencia sobre los anexos, aquí se muestran las imágenes, tablas obtenidas de resultados, entre otros aspectos, que se han utilizado para el desarrollo de esta investigación.

Esperando cumplir con los requisitos de aprobación

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | 12 |
| ABSTRACT | 13 |
| I. INTRODUCCIÓN | 14 |
| 1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA..... | 14 |
| 1.2. TRABAJOS PREVIOS..... | 15 |
| 1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA | 19 |
| 1.3.1. MARCO TEÓRICO..... | 19 |
| 1.3.2. MARCO CONCEPTUAL..... | 29 |
| 1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 30 |
| 1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO | 30 |
| 1.6. HIPÓTESIS | 31 |
| 1.7. OBJETIVOS | 31 |
| 1.7.1. OBJETIVO GENERAL..... | 31 |
| 1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 31 |
| II. MÉTODO | 32 |
| 2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN | 32 |
| 2.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN | 33 |
| 2.2.1. VARIABLE | 33 |
| 2.2.2. OPERACIONALIZACIÓN..... | 33 |
| 2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA | 34 |
| 2.3.1. POBLACIÓN | 34 |
| 2.3.2. MUESTRA | 34 |
| 2.3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS..... | 35 |
| 2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 35 |
| 2.4.1. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 35 |
| 2.4.2. INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES..... | 35 |
| 2.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS..... | 37 |
| 2.5.1. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE ESTUDIO | 37 |
| 2.5.3. DESCRIPCIÓN PARA EL ANÁLISIS DE DATOS..... | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 2.6. ASPECTOS ÉTICOS..... | 40 |
| III. RESULTADOS | 41 |
| 3.1. CONDICIONES INICIALES DEL AGUA RESIDUAL..... | 41 |
| 3.2. ENSAYO DE REMOCIÓN DE LA DQO EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE Y TIEMPO | 41 |
| 3.3. ENSAYO DE REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN FUNCIÓN A LA DENSIDAD DE CORRIENTE Y TIEMPO. | 43 |
| 3.4. PRUEBAS ESTADÍSTICAS..... | 44 |
| 3.4.1. ANÁLISIS DE MULTI-VARIANZA..... | 44 |
| 3.4.2. PRUEBA DE PRUEBAS POST HOC..... | 45 |
| IV. DISCUSIÓN..... | 48 |
| V. CONCLUSIONES | 52 |
| VI. RECOMENDACIONES | 53 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 54 |
| ANEXOS..... | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Clasificación de características físicas y químicas | 20 |
| Tabla 2. Límites máximos permisibles – MINAM..... | 21 |
| Tabla 3. Diseño Experimental de la investigación | 33 |
| Tabla 4. Operacionalización de las variables | 33 |
| Tabla 5. Métodos normalizados para el análisis de agua..... | 35 |
| Tabla 6. Instrumentos y Equipos, materiales y reactivos | 35 |
| Tabla 7. Normas Metrológicas Peruanas | 36 |
| Tabla 8. Condiciones iniciales | 41 |
| Tabla 9. Prueba de Testigo | 63 |
| Tabla 10. Consumo de los electrodos de Aluminio | 64 |
| Tabla 11. Ubicación de la laguna de Oxidación | 65 |
| Tabla 12. Concentraciones Iniciales..... | 67 |
| Tabla 13. Concentración y porcentaje de la primera corrida - DQO..... | 68 |
| Tabla 14. Concentración y Porcentaje de remoción de 2da replica - DQO | 69 |
| Tabla 15. Concentración y porcentaje de remoción de 3ra Replica - DQO..... | 70 |
| Tabla 16. Concentración y Porcentaje de remoción 1ra Replica – Turbiedad.. | 71 |
| Tabla 17. Concentración de 2da Replica - Turbiedad | 72 |
| Tabla 18. Concentración y Porcentaje de 2da Replica – Turbiedad..... | 73 |
| Tabla 19. Porcentaje de Remoción de DQO | 74 |
| Tabla 20. Porcentaje de Remoción de Turbiedad | 75 |
| Tabla 21. Prueba de normalidad de densidad de Corriente | 76 |
| Tabla 22. Prueba de Normalidad del tiempo | 76 |
| Tabla 23. Prueba de Homogeneidad..... | 77 |
| Tabla 24. Prueba de MANOVA | 79 |
| Tabla 25. Prueba de post hoc de la densidad de Corriente | 79 |
| Tabla 26. Prueba post hoc de Tiempo | 80 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación de la laguna de oxidación de Ascope | 20 |
| Figura 2. Funcionamiento de la electrocoagulación | 25 |
| Figura 3. Celda de electrocoagulación tipo Batch | 27 |
| Figura 4. Diagrama de bloques del Procedimiento Experimental..... | 38 |
| Figura 5. Láminas de Aluminio | 59 |
| Figura 6. Fuente de poder | 59 |
| Figura 7. Armado de la fuente de poder..... | 59 |
| Figura 8. Diagrama del Montaje del Equipo de electrocoagulación..... | 60 |
| Figura 9. Montaje del Equipo de Electrocoagulación | 61 |
| Figura 10. Prueba de electrodos | 61 |
| Figura 11. Supervisión del proceso | 62 |
| Figura 12. Prueba Preliminar..... | 62 |
| Figura 13. Aclaramiento del Agua | 62 |
| Figura 14. Formación de espuma..... | 62 |
| Figura 15. Durante formación de iones | 62 |
| Figura 16. Prueba de Testigo | 63 |
| Figura 17. Calibración del pH – metro..... | 64 |
| Figura 18. Pesado de los electrodos de Aluminio | 64 |
| Figura 20. Desemboque del agua residual..... | 65 |
| Figura 19. Efluente de la laguna..... | 65 |
| Figura 21. Toma de muestra del Efluente | 66 |
| Figura 22. Envases de recolección de Muestra..... | 66 |
| Figura 23. Botellas de Recolección de la muestra | 66 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1. Porcentaje de remoción de DQO en función a la Densidad de Corriente | 42 |
| Gráfico 2. Porcentaje de Remoción DQO en función al tiempo | 42 |
| Gráfico 3. Porcentaje de remoción de turbiedad en función de Densidad de corriente | 43 |
| Gráfico 4. Porcentaje de remoción de Turbiedad en función al tiempo | 43 |
| Gráfico 5. Estimación de las medias marginales del % Remoción de DQO... | 46 |
| Gráfico 6. Estimación de medias marginales del % Remoción de Turbiedad | 46 |
| Gráfico 7. Porcentaje de remoción de 1ra replica - DQO | 69 |
| Gráfico 8. Porcentaje de remoción 2da Replica - DQO | 70 |
| Gráfico 9. Porcentaje de remoción 3ra Replica – DQO | 71 |
| Gráfico 10. Porcentaje de Remoción 1ra Replica – Turbiedad | 72 |
| Gráfico 11. Porcentaje de 2da Replica - Turbiedad | 73 |
| Gráfico 12. Porcentaje de Remoción de 3ra Replica – Turbiedad | 74 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1. Diseño y montaje de la Celda de electrocoagulación..... | 58 |
| Anexo 2. Ensayos para el proceso de electrocoagulación | 61 |
| Anexo 3. Recolección de la muestra | 64 |
| Anexo 4. Parámetros de acuerdo a la normativa | 67 |
| Anexo 5. Análisis de los tratamientos en la DQO..... | 68 |
| Anexo 6. Análisis de los tratamientos en la Turbiedad..... | 71 |
| Anexo 7. Análisis de Promedio y Remoción de DQO y Turbiedad..... | 74 |
| Anexo 8. Pruebas estadísticas de normalidad | 76 |
| Anexo 9. Regresión lineal múltiple para los promedios de DQO y Turbiedad | 81 |
| Anexo 10. Resultados según el laboratorio | 83 |
| Anexo 11. Calibración de los parámetros utilizados..... | 88 |

RESUMEN

La presente investigación tiene la finalidad de utilizar métodos electroquímicos para la remoción de la carga de contaminantes de un agua residual doméstica, una de ellas es la electrocoagulación, en la investigación se planteó la construcción de un reactor tipo batch - monoparalelo para evaluar la remoción DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación de Ascope; por medio de sus factores influyentes como es la densidad de corriente y tiempo, donde se establecieron densidades de corriente de 45, 75 y 105 A/m², y tiempos de 15, 25 y 35 minutos. En base a los resultados obtenidos de acuerdo a los objetivos de la investigación se comprobó que el agua residual de efluente de la laguna de oxidación no cumple con los Límites máximos permisibles establecidos por el D.S. 003 -2010 MINAM, en la aplicación de tratamiento de la electrocoagulación se obtuvieron resultados de una mayor remoción de DQO de 89.95% con una densidad de corriente de 105 A/m² y con un tiempo de 35 minutos, donde su concentración inicial es de 1264 mg/L reduciendo hasta alcanzar una concentración de quedando en 127 mg/L, mientras que la mayor remoción de turbiedad fue de un 95.27% con una turbiedad concentración de 687.3 NTU disminuyó hasta alcanzar un valor de quedando 48.7 NTU.

Palabras claves: *Electrocoagulación, Densidad de corriente, Tiempo, DQO y Turbiedad*

ABSTRACT

The present investigation has the purpose of using electrochemical methods for the removal of the load of pollutants of a domestic residual water, one of them is the electrocoagulation, in the investigation the construction of a batch - monoparalle reactor was proposed to evaluate the COD removal. and turbidity of the effluent from the oxidation lagoon of Ascope; by means of its influential factors such as the density of current and time, where current densities of 45, 75 and 105 A / m² were established, and times of 15, 25 and 35 minutes. Based on the results obtained according to the objectives of the investigation, it was proved that the effluent wastewater from the oxidation pond does not comply with the maximum permissible limits established by the D.S. 003 -2010 MINAM, in the application of electrocoagulation treatment results were obtained of a greater COD removal of 89.95% with a current density of 105 A / m² and with a time of 35 minutes, where its initial concentration is 1264 mg / L reducing until reaching a concentration of remaining at 127 mg / L, while the highest removal of turbidity was of 95.27% with a turbidity concentration of 687.3 NTU decreased until reaching a value of remaining 48.7 NTU.

Keywords: *Electrocoagulation, Current density, Time, COD and Turbidity*

I. INTRODUCCIÓN

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la actualidad uno de los mayores desafíos que enfrenta la población mundial es encontrar un tipo de tratamiento para el agua residual que sea viable y efectivo, las alternativas son muy limitadas para la remoción de la carga de contaminantes. Se sabe que el agua es uno de los recursos más importantes para todo ser vivo y si se ve contaminado sería perjudicial para todo ser vivo. Es por ello que nace la necesidad de crear alternativas que puedan ser sostenibles e eficaces que vayan de la mano con la económica para tener un adecuado tratamiento de agua residual.

La generación del agua residual se ha ido incrementado al paso de los años, su contenido es muy dañino en altas concentraciones debido a sus características que pueden ser sustancias orgánicas e inorgánicas; donde va a depender del origen de producción pueden ser industrial, curtiembre, doméstica o entre otras. Las afectaciones negativas se ven reflejados en el medio ambiente como a la población, generando enfermedades, presentado daños a la calidad del suelo o la disminución de la autodepuración de una fuente de agua.

Nuestro país no es ajeno a la generación de aguas residuales, presentando una mala disposición y una falta de alternativas de tratamiento sobre este tipo de efluente. Existe una controversia con respecto a las lagunas de oxidación ya que han presentado ineficiencias en los aspectos operativos y de mantenimiento, para que puedan cumplir con la normativa D. S. 003 – 2010 – MINAM y los Estándares de Calidad de Agua (MINAM, 2017). Constituye uno de los tantos problemas ambientales de nuestro país. Una proporción del agua residual es utilizada para el riego en la agricultura o simplemente son vertidos a un cuerpo agua. Según los límites máximos permisibles hace referencia que toda agua residual debería pasar por un tratamiento antes de ser reutilizado o vertido en un cuerpo de receptor, este concepto no siempre las empresas de saneamiento cumplen con lo establecido, ya que

presentan deficiencias en los tratamientos de agua residual, donde no llegan a eliminar toda la carga de contaminantes, esto es una falta de criterio de las empresas para contaminar un medio del cual necesitamos todos.

La Municipalidad Provincial de Ascope tienen dentro de su jurisdicción a la laguna de oxidación de Ascope, esta es de forma convencional que solo tiene tratamientos primarios, donde solo se cuentan con lagunas de aeróbicas donde consisten básicamente degradar la materia orgánica por medio de la actividad bacteriana y las relaciones simbióticas con algas y otros organismos. (WordPress, 2016, pág. 1) Sin embargo, este tipo de laguna no cuentan con otro tipo de tratamiento que permita eliminar o reducir las sustancias orgánicas como inorgánicas tóxicas que contiene en el agua residual, la ineficiencia que presenta esta laguna es como todas las empresas de tratamiento del Perú, hoy en día existe tecnologías limpias que permiten ser más eficiente, innovadoras y eficaces en la remoción de sustancias peligrosas, como es la aplicación de los procedimientos electroquímicos que son muy beneficiosos para la disminución de contaminantes.

Se planteó aplicar el método de electrocoagulación de un proceso electroquímico, para tratamiento de agua residuales del tipo terciario, donde este método es como hablar sobre coagulación – floculación combinada con los principios eléctricos que se aplican a una determinada muestra. Esto se refiere a la producción de iones metálicos que alta valencia, como es el coagulante, en celdas electrolíticas, para facilitar el proceso de sedimentación de aquellas partículas suspendidas, y con solo aplicar los iones metálicos donde va a permitir la remoción de dichas partículas que se encuentren dispersas facilitando la aglomeración y precipitación, estas sustancias o partículas pueden ser metales pesados, sustancias orgánicas, entre otras. (REYES; MERCADO, 2003, pág. 16)

1.2. TRABAJOS PREVIOS

Según la investigación de **VÁSQUEZ, A; RODRIGUÉZ, I and LÁZARO, I. (2011, pág. 1)**, en su trabajo titulado “Primary potential and current density distribution analysis: A first approach for designing electrocoagulation reactors”, presentaron un estudio que trata de ver la importancia que tenía los análisis de la distribución potencial y la densidad de la corriente que predomina como un factor influyente en el diseño de los reactores de electrocoagulación con un fin de uso eficiente de energía; tuvo un enfoque en los tres tipos de distribuciones de la corriente y potencialidades primarios, estos enfoques simplifican el análisis de la geometría de la celda. El estudio permitió incluir la modelación de la distribución de potencial y su impacto se va ver reflejado en la electrocoagulación. Este estudio permitió ver la evaluación de diferentes configuraciones de electrodos donde mostraron que el rendimiento es mayor cuando se consigue la densidad de potencial y corriente uniforme, a la cinética de ánodo se utilizó el aluminio, recomendaron mejorar la disolución sin tener que cambiar la densidad de corriente aplicada.

Según **AGUILAR, Edwar, (Perú, 2015, pág.12)**, en su trabajo de investigación denominado “Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua”, presentó un estudio sobre la eficiente de un reactor de electrocoagulación para el tratamiento de agua residuales, donde se planteó elaborar un reactor donde se evalúa la mejor remoción de DQO y turbiedad, reactor fue de tipo batch con una capacidad de 3.5 litros, con una distancia de sus electrodos 1.5 centímetros, se utilizaron dos tipos de electrodos que son hierro y aluminio. El proceso de la electrocoagulación se sometió a un estudio con distintos pH, densidades de corriente y tiempos. En sus resultados obtenidos después de la aplicación de la electrocoagulación se tuvo una mejor remoción con una remoción de 92.85% de DQO, con una intensidad de corriente de 8 A/m^2 , estos valores se dieron con un pH de 7.8 y un tiempo de 15 minutos, mientras que en la turbiedad se tuvo una remoción de 99.11%

con un tiempo de 15 minutos con una intensidad de 8 A/m^2 , pero según los estadísticos aplicados dice que la mejor remoción de la DQO y turbiedad se obtuvo con una Intensidad de corriente de 5, con un tiempo de 15 minutos obteniendo remociones de DQO con 89% y turbiedad con 97%.

Según **CARHUANCHO, Hans; SALAZAR, Jorge. (Perú, 2015, pág. 12)**, en su denominado “Estudio del efecto de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales Covicorti en la Ciudad de Trujillo”. realizaron un estudio electroquímico utilizando el método novedoso como es la electrocoagulación a nivel de laboratorio del efluente de la planta de tratamiento de Covicorti. En la investigación se trabajaron con tres tipos de electrodos de sacrificio que fueron aluminio, hierro y zinc; su reactor fue de tipo batch, con una capacidad de 3 litros, y una distancia de 3 centímetros. se propusieron tiempos de operación de 15, 30, 45 y 60 minutos, con densidades de corriente 125, 150, 175 y 195 de A/m^2 , para obtener una intensidad de 7.95, 12.71, 19.87 y 31.79 A/m^2 ; donde presentaron resultados de porcentaje remoción de los parámetros en estudio que son de color 97.32%, 96.48% de SST, 93.56% de turbidez, 90.95% de DQO; y 58.24% de DBO_5 . El electrodo de sacrificio que más eficiencia presento en el estudio fue de aluminio; durante el proceso de la electrocoagulación también se generó una gran cantidad de lodo con una alta concentración de materia orgánica.

Según **HERNANDEZ, Daniela. (México, 2016, pág. 5)**, en su investigación titulada “Tratamiento acoplado fisicoquímico-electrocoagulación para incrementar la remoción de la materia orgánica de un agua residual de rastro municipal”, Realizo un estudio donde propuso una alternativa de tratamiento de aguas residuales municipales que sea eficiente, económico y con facilidad en el manejo, donde propuso dos tipos de tratamiento, las cuales fueron la precipitación química y la electrocoagulación para que se pueda remover la materia orgánica, realizaron estudios de caracterización para ver la composición



del agua para encontrar una mejor condición y así poder acoplar al sistema, se utilizó reactivo 110 para ayudar a precipitar la turbidez y color, donde tuvieron resultados de sulfatos a un 97%, de color un 96%, y una turbidez de 93%, así en el DQO con un 61% en un tiempo de 60 min y coliformes fecales a 100%, las condiciones que utilizaron para la operación del electroquímico fue con un tiempo de 20, 40 y 60 min con una densidad de corriente de 20, 40 y 80 A/m^2 , sistema acoplado no tuvo un efecto en la remoción de la materia orgánica, es decir que su eficiencia solo pudo realizarse para de disminución y eliminación del color, turbiedad, demanda química de oxígeno, entre otros.

Según **SUÁREZ, Sebastián. (Ecuador, 2014, pág. 20)**, en su investigación titulada “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de las descargas de un centro comercial de la Ciudad de Quito mediante procesos de electrocoagulación y adsorción en carbón activado”. Presento un estudio que tuvo el objetivo de realizar un diseño para una planta de tratamiento de aguas residuales donde aplicaron tratamientos para la remoción de la carga de contaminantes generados donde se planteó realizar tratamientos primarios y un tratamiento de adsorción en carbón activado. Se realizó un muestro de efluente para luego caracterizar la muestra donde se obtuvieron resultados de DQO con una concentración de 1147 mg/L, DBO 847 mg/L, Sólidos en suspensión de 376 mg/L y en aceites y grasas de 21 mg/L. En la aplicación del tratamiento de la electrocoagulación a nivel de laboratorio, el reactor fue de tipo batch, con un espaciado de 1.5 cm, donde se evaluaron los factores influyentes de la electrocoagulación que son la densidad de corriente y tiempo, donde presentaron mejores remociones a una densidad de corriente de 12,5 A/m^2 con un tiempo de 30 minutos. Los resultados de remoción en DQO es de 114.7 mg/L, DBO₅ con de <2 mg/L y solidos suspendidos de 123.3 mg/L. en la aplicación del carbón activado hubo una remoción de sólidos suspendidos de 13.8 mg/L.

Según **BARBOZA, Gloria. (Perú, 2011, pág. 4)**, en su estudio denominado “Remoción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la planta de Tratamiento de Totora empleando la Técnica de Electrocoagulación”. Realizo un estudio para poder reducir la carga de contaminantes como Coliformes totales, turbiedad, DBO y DQO de la planta de tratamiento de Totora donde aplicaron el método de la electrocoagulación ya que considera como una buena alternativa tecnológica para reducir componentes de las aguas residuales, el sistema de la electrocoagulación, se elaboró en dos etapas donde primero realizaron la determinación de las características tanto fisicoquímicas como biológicas, y como segundo lugar está la aplicación del método de la electrocoagulación donde se obtuvieron resultados de remoción en turbidez en 94.65%, 65.1% en coliformes fecales y en DQO en un 89.8%, el procedimiento de la electrocoagulación tuvo un tiempo de 5, 10, 15 y 25 minutos con una intensidad de corriente 7.3, 9.13 y 12.5 A/m², con un 21 – 23 V; donde se recomendó que se debe mejorar diseño de los electrodos para eficiencia del procedimiento.

1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA

1.3.1. MARCO TEÓRICO

1.3.1.1. Laguna de Oxidación de Ascope

La laguna de oxidación de la Municipalidad Provincial de Ascope, se encuentra ubicado en el Distrito de Ascope, Provincia de Ascope, de la región de La Libertad. (INEI, 2017, pág. 12)



Figura 1. Ubicación de la laguna de oxidación de Ascope

Fuente: Google Earth

1.3.1.2. Agua residual
A. Características del agua residual

Las características presentes en el agua residual van a depender del tipo de actividad donde se produce, pueden ser doméstica, industrial, curtiembre entre otros. Este tipo de agua es altamente toxica si no hay un adecuado tratamiento, si es que utilizaríamos este tipo de agua, tendrían que tener las condiciones mínimas para su reutilización. Donde una de ellas es aplicación de un tratamiento que se dan antes de ser emitido a un cuerpo de agua o ser utilizado, este tratamiento puede ser de depuración, potabilización o cualquier otro uso que haya, se tiene que conocer las condiciones iniciales del agua, para poder determinar las características existe métodos normalizados a identificar cada componente con su respectivo método. (AWWA, APHA, WEF, 1998).

Tabla 1. Clasificación de características físicas y químicas

| CLASIFICACIÓN | CARACTERÍSTICAS |
|------------------------|--|
| Químicos | pH, materia orgánica, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, fosforo total, nitrógeno total y oxígeno disuelto. |
| Físicos | Color, olor, turbidez, temperatura, solidos totales, solidos totales en suspensión, solidos totales disueltos, hierro y conductividad. |
| Microbiológicos | Coliformes totales, coliformes termotolerantes |

Fuente: Propia

B. Parámetros de acuerdo a la Norma

Según el MINAM establece los límites máximos permisibles (LMP) que todas las empresas prestadoras de servicios ya sean privadas o públicas cumplan con la normativa vigente para la disminución de la concentración de los contaminantes que tiene las aguas residuales, para evitar efectos negativos en la población y el ambiente. Es por ello que nos hacen referencia del decreto supremo 003 – 2010 – MINAM, que “La medida la concentración del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión o vertimiento, que al ser extendida causa o puede causar daño a la salud, bienestar humano y ambiente.” (MINAM, 2010, pág.1). Esta normativa permite conocer los rangos que deben contener el agua residual antes de ser vertidos a un cuerpo receptor para no presentar afectaciones al ambiente.

Tabla 2. Límites máximos permisibles – MINAM

| PARÁMETRO | UNIDAD | LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPO DE AGUA |
|-------------------------------|------------|---|
| Aceites y grasas | mg/L | 20 |
| Coliformes termotolerantes | NMP/100 mL | 10 000 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 100 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 200 |
| pH | Unidad | 6.5 – 8.5 |
| Sólidos totales en suspensión | mL/L | 150 |
| Temperatura | °C | <35 |

FUENTE: D.S. No 003 – 2010 – MINAM.

Elaborado por: Ministerio del Ambiente

- Demanda química de oxígeno

Es quien determina la cantidad de oxígeno que necesita para que pueda oxidar la materia orgánica en un cuerpo de agua. La materia orgánica tiene componentes que son susceptibles a oxidar por medios químicos; ya que tiende a trabajar bajo condiciones específicas como agente oxidante, se va a ver influenciado por los factores de temperatura y el tiempo. El objetivo principal que tiene DQO es medir el grado de contaminación que genera la materia orgánica y esta expresada en mg O₂/L. (BARBOZA, 2011, pág.29).

- **Demanda bioquímica de oxígeno**

Este parámetro permite determinar la cantidad de oxígeno que necesita los microorganismos aerobios para que puedan oxidar metabólicamente la materia orgánica (RODRIGUEZ, 2007, pág. 2) que se encuentran en presente en un cuerpo de agua. También el DBO evalúa por medio de la diferencia de oxígeno disuelto y el medio en función del tiempo de incubación este tiene que estar a 20°C en ausencia de luz. (MELÉNDEZ Y VILLALOBOS, 2011, pág. 30)

- **Turbiedad**

Viene hacer un componente que mide el grado de transparencia y tiene una de las propiedades visuales del agua, (BARBOZA, 2011, pág.32). este parámetro dificulta el paso de luz a un cuerpo de agua, ya que cuando está en altas concentraciones de partículas en suspensión mayor va ser la dificultad del paso de luz, estas partículas suelen ser muy finas por eso es que se encuentran dispersas. (MELÉNDEZ Y VILLALOBOS, 2011, pág. 24).

- **Color**

Es una característica que influye en la contaminación del agua, causado por las moléculas que colorean el agua. La determinación que tiene es un poco difícil de evaluar, ya que



el color tiene una gran variedad de materiales orgánicos como inorgánicos que pueden ser solubles en el agua, y estos se van suministrar color al agua y desde ahí sería la contaminación. (RESTREPO, 2006)

- **Sólidos totales en suspensión**

Los compuestos de sólidos totales en suspensión que hay en un medio líquido, refiere a que es un material seco que es retenido por un filtro. Tiene que estar expresado por mg/L (MELÉNDEZ Y VILLALOBOS, 2011, pág. 27).

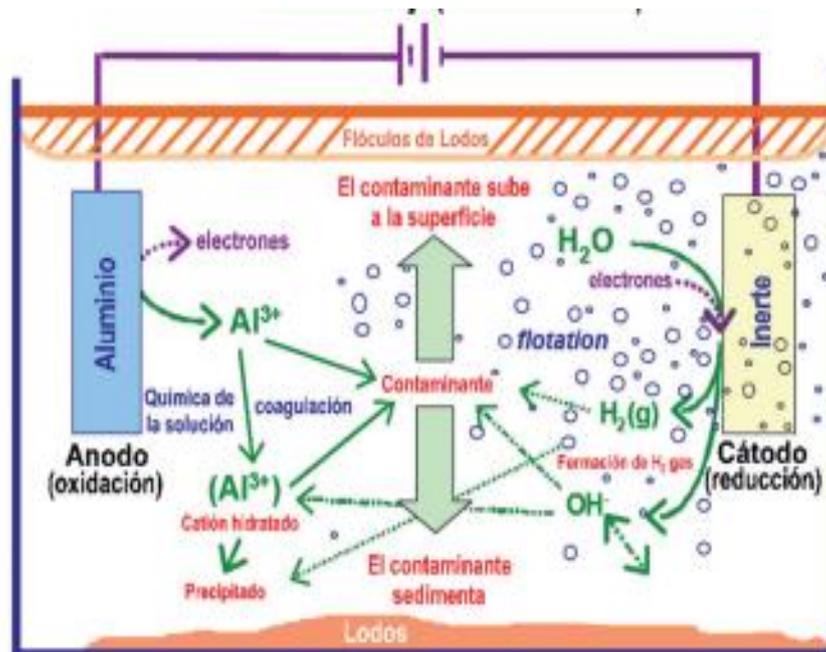
1.3.1.3. Electrocoagulación

La electrocoagulación es parte de la electroquímica, que viene siendo usada desde el siglo XVIII, con el único fin de remover la carga de contaminantes generadas por las actividades antropogénicas. Esta surgió en el año 1906; donde se utilizaron ánodos de hierro soluble, con una corriente de anódica de 0.6 mA/pie². (RESTREPO, 2006). El método utiliza tratamientos terciarios para aguas residuales donde ha logrado remover diferentes tipos de contaminantes como DQO, Coliformes totales entre otros; trabaja con los principios de la coagulación donde es sometida a una corriente eléctrica proporcionando una fuerza electromotriz que provocan una serie de reacciones químicas. (MELÉNDEZ Y VILLALOBOS, 2011, pág. 40).

Las reacciones químicas van a permitir desestabilizar aquellas partículas que están suspendidas, emulsionadas o disueltas en el medio acuoso, formando componentes hidrofóbicos, que van a precipitar o flotar. (RESTREPO, 2006, pág. 61). Las reacciones se dan de forma de oxidación - reducción a través de los electrodos del ánodo y el cátodo. Donde en ánodo es conocido como el electrodo de sacrificio, y es quien se corroe más que el cátodo. (RESPRETO, 2009, pág. 14)

Los electrodos van a proporcionar iones positivos y negativos, donde se va a formar el coagulante de forma in situ, mediante la oxidación electrolítica de los iones metálicos que provee el ánodo. En el cátodo genera burbujas de hidrogeno mientras que en ánodo genera oxígeno, estas vienen a capturar las partículas contaminadas, Cuando estas reacciones ocurren vienen a provocar tres fenómenos:

1. Separación de coloides del electrodo.
2. Arrastre de coloides desestabilizados a la superficie, formando una nata.
3. Debido a la generación de las burbujas, va a presentar movimientos ascendentes y descendentes que facilitan la



ción de coloides.

Figura 2. Funcionamiento de la electrocoagulación

Fuente: Aplicación Electroquímica de aguas residuales

Elaborado por: Barrera Días, Carlos – 2014

El proceso de la electrocoagulación no solo separa partículas coloidales si no también metales pesados, contaminantes orgánicos, aceites y grasas. (CHEN, 2003, pág. 11).

Los electrodos que se utilizan en la electrocoagulación son de material anódico que va acceder eléctricamente a la oxidación, y los que generalmente son utilizados es de aluminio y Hierro.

- **Electrodo de aluminio**

Este es un elemento que se encuentra abundante en la naturaleza, es de forma trivalente libre, solo tiene un estado de oxidación, y su tiempo de vida está en función al pH del medio en donde se encuentre.

- **Electrodo de fierro**

Este elemento se encuentra dentro de la corteza terrestre y es uno también de los más abundantes, es un metal que sirve como un buen agente reductor, esto va a depender de las condiciones que se encuentre; este ion presenta poca tendencia a formar complejos de coordinación con excepción de los reactivos fuertes, tiene una fuerte tendencia de capturar aniones por su alta carga y su pequeño tamaño, este ion tiene la tendencia de capturar aniones. (LENNTECH, 2017)

1.3.1.4. Reactor de la electrocoagulación

Un reactor electroquímico tiene que estar compuesto por un depósito, donde contendrá los electrodos que son el ánodo (electrodo de trabajo) y el cátodo (electrodo inerte), que serán

conectarán a una fuente de energía, que estarán conectadas entre sí, mientras que, en el interior de la celda electroquímica, la carga de coloides tiene que tener un movimiento que es elaborado por un agitador magnético que va en pequeñas revoluciones para obtener una mezcla. Esto va a favorecer el choque de los coloides. (BARRERA, 2014, pág. 30). Existen dos tipos de reactores tipo batch o reactores de sistema continuo. Los del primer tipo vienen a estar definidos por las características que presentan de su concentración inicial, así como de las cantidades de agua residual a tratar. (RESTREPO, 2006, pág. 58). Mientras que el segundo tipo entra en función a la flotación, esto quiere decir cuando el contaminante ha sufrido un proceso de coagulación donde va a tener dos formas de separarlo del medio acuoso, puede ser: flotación y sedimentación. (ARANGO, 2005, Pág. 51)

1.3.1.4.1. Reactores tipo batch

Son reactores que operan con un determinado volumen de agua, una de las desventajas que tienen son las condiciones con respecto al tiempo, después es un reactor simple y de menor costo para el tratamiento del agua residual. La celda contiene un cátodo y ánodo en su interior que están en forma vertical que están conectas con una fuente de energía directa, un regulador de densidad de corriente y multímetro. Aquí existen tres tipos que son monopolar paralelo, en serie y bipolar. (AGUILAR, 2015, Pág. 26),

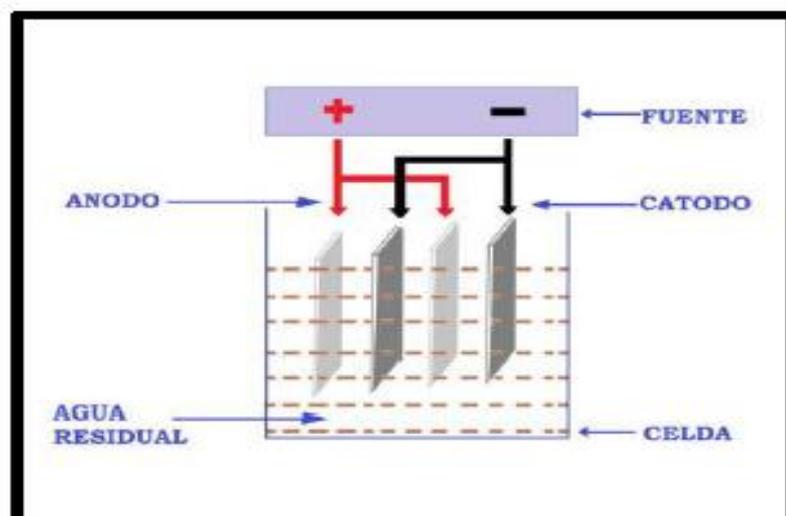


Figura 3. Celda de electrocoagulación tipo Batch

Fuente: Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de agua residuales. 2014

Elaborado por: Barrera Díaz, Carlos Eduardo.

1.3.1.4.2. Reactores tipo flujo

Existen reactores se clasifican de acuerdo a sus flujos que pueden ser horizontales o verticales, esto reaprovecha el movimiento que tiene el oxígeno y el hidrogeno ya que el ánodo y el cátodo van a realizar un proceso de oxidación y reducción del agua, aquí se trabaja con una celda de circulación por múltiples canales, la ventaja que tiene es que hay una sencillez en su disposición y la desventaja es que el reactor puede tener pequeño el caudal. Existen varios tipos de reactores de flujo como son: de filtro prensa, cilindro rotativo y lecho fluidizado. (AGUILAR, 2015, Pág. 28).

1.3.1.5. Factores intervinientes en la electrocoagulación

En la electrocoagulación existen diversos factores que influyen en el tratamiento que lleva la electrocoagulación estas podrían ser muchas, pero los más resaltantes vienen hacer la densidad de corriente, pH, Conductividad, temperatura y tiempo. Donde se describen a continuación:

1. Densidad de Corriente

También esta expresado como el abastecimiento de energía eléctrica para sistema de electrocoagulación en el cual proporciona la cantidad de aluminio o hierro, (BARBOZA, 2011, pág.58) donde emite una potencia electromotriz que

induce una cadena de resistencias químicas en donde van a desestabilizar las moléculas que están contaminadas. (STEPHENSON, 2003), La capacidad de la remoción y la energía se va a ver incrementado por la densidad de corriente cuando esta vaya en aumento, y la conductividad que contenga también va a aumentar, esto viene a representar un mayor consumo de energía, la densidad de corriente es el suministro de energía del proceso de la electrocoagulación lo que va a definir cuantos los iones de aluminio como los de hierro van a ser liberados en el proceso de la electrocoagulación. (RESTREPO, 2006, pág. 14).

2. Tiempo

El tiempo es una magnitud física con la que se puede medir la cronológicamente un determinado proceso. En el cual se define como una duración de acondicionamientos de las fases que tenga y se va a hacer de forma ordenada para lograr un proceso adecuado y obtener un buen resultado. Así mismo, el tiempo es un factor importante en el procedimiento de alta conversión como es la recuperación de metales. Se tiene que entender que el tiempo de resistencia evita que los efectos negativos que se genere la disminución de la densidad de corriente. (WESTRES, 2013, pág. 75). Además, es un requerimiento para que el proceso de la electrocoagulación pueda lograr la disminución de la carga de contaminantes.

3. Temperatura

La temperatura podría ser un factor influyente en la electrocoagulación, pero este factor no ha sido estudiado con gran detalle solo se ha podido encontrar que la eficiencia de la densidad de corriente puede llegar a tener una temperatura de 60°C, este es su punto máximo hasta que

luego empieza a decrecer. (RESTREPO, 2006, pág. 72). Si la temperatura incrementará atribuiría un incremento de la acción de pérdida de la película de óxido de aluminio de la superficie del electrodo.

4. Conductividad

Se podría decir que la conductividad produce un incremento la densidad de corriente también será incrementada. Cuando el voltaje se mantiene constante la conductividad también se mantendrá constante, si se aplica una adición de electrolitos tales como NaCl o CaCl₂ va generar un aumento en la conductividad y su vez producirá un incremento en la densidad de corriente. (BARBOZA, 2011, pág. 59).

5. pH

El pH es un factor influyente muy importante sobre la corriente eléctrica en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido. En investigaciones el pH puede variar durante el proceso de la electrocoagulación y va depender mucho de la materia de los electrodos ya que puede incrementar el pH en aguas residuales ácidas; (RESTREPO, 2006, pág. 13). va influenciar naturaleza del contaminante en la eficiencia del proceso. Se ha determinado que la mayor eficiencia de la remoción de un contaminante tiene que estar en el rango de un pH a 7, donde va eliminar la turbidez y DBO. (SUÁREZ, URES y JÁCOME, 2015, pág. 9) si se llega a regular el pH tiene un efecto positivo para la remoción de la turbidez. (BARBOZA, 2011, pág. 58).

1.3.2. MARCO CONCEPTUAL

a. Remoción

Es la acción, ejecución y efecto para la disminución de una determinada cantidad o concentración de una sustancia o

elemento en estudio, por la aplicación de tratamientos que llevan a reducir esa concentración.

b. Electroquímico

Estudia los cambios que produce una corriente eléctrica en las reacciones químicas, y esta se divide en dos grandes campos como son la electrolisis y reacciones químicas que generan una corriente eléctrica y todas tienen que corresponder a la ley de Faraday.

c. Efluente

Es un residuo, que puede contener desechos sólidos, líquidos o gaseosos y son producidas en las viviendas o industrias que van a ser emitidas a un cuerpo de agua. Los compuestos de los efluentes son muy distintos va a depender de la naturaleza de la actividad. (SPINELLI, 2010)

d. Laguna de oxidación

Las lagunas de oxidación o también conocidas como lagunas de estabilización, son aquellos lugares construidos para la disposición del agua residual, estas pueden estar construidas de manera de excavación o compactación de la tierra, la principal característica es que trabaja de manera natural el agua residual. (WordPress, 2016, pág. 1)

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es efecto de la densidad de corriente y tiempo del proceso de la electrocoagulación en la remoción de la DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación de Ascope, en el año 2017?

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La degradación ambiental es consecuencia de los distintos problemas ambientales que existen a nivel mundial, uno de los problemas de mayor

énfasis es el inadecuado tratamiento que se da para las aguas residuales conteniendo una alta concentración de contaminantes, que luego pasan hacer vertidos a una fuente agua, afectando la calidad ambiental y salud poblacional; En la laguna de oxidación de Ascope no es ajeno a presentar este tipo de problema, puesto que su tratamiento no es tan eficiente para remover la carga de contaminantes, siendo reutilizado para riegos, donde pueden provocar afectaciones negativas tanto al ambiente como a la salud de las personas que manipulan este tipo de agua. Es por ello que se presenta esta alternativa tecnológica limpia para el tratamiento de aguas residuales con un proceso electroquímico que permita disminuir la carga de contaminantes del efluente de la laguna de oxidación de Ascope, este proceso puede ser uno de los más exitosos en su aplicación solo hay que mejorar los factores que lo conformar, el estudio se trabajó de acuerdo a la ley general del Ambiente No 28611, norma D.S. No 003 – 2010 – MINAM (LMP), de acuerdo al ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento establece en DL. No 1002, donde hace referencia que se debe promover el uso de recursos energéticos renovables para contribuir a mejorar la calidad de vida de la población y el ambiente, en donde se considera sostenible a través del tiempo, debido que se hizo el cumplimiento de la normativa y de generar actividades sostenibles para el beneficio del medio ambiente y la población.

1.6. HIPÓTESIS

La densidad de corriente y el tiempo del proceso de la electrocoagulación afectará en la remoción de la DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación de Ascope en el año 2017.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la densidad de corriente y tiempo de la electrocoagulación en la remoción de la DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación, Ascope - 2017.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las condiciones iniciales del efluente de la laguna de oxidación de Ascope y comparar los resultados obtenidos con la normativa establecida en el D.S. N°003 – 2010 - MINAM.
- Determinar el valor de la densidad de corriente del proceso de la electrocoagulación que permita obtener un mayor porcentaje remoción de la DQO y turbiedad de la laguna de oxidación Ascope.
- Determinar el tiempo del proceso de la electrocoagulación que permita obtener un mayor porcentaje remoción de la DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación Ascope.

II. MÉTODO

2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de un diseño experimental bifactorial, donde se manipularon las variables de densidad de corriente y tiempo del proceso de electrocoagulación sobre la Demanda química de oxígeno (DQO) y Turbiedad del efluente de la laguna de oxidación de Ascope. Fueron evaluadas a través de tres niveles:

- Densidad de corriente: 45,75 y 105 A/m²
- Tiempo: 15, 25 y 35 minutos.

Tabla 3. Diseño Experimental de la investigación

| No. | Parámetros | | Tratamientos |
|-----|-------------------------------|--------------|--------------|
| | Densidad de corriente | Tiempo (min) | |
| 1 | $D_{C_1} = 45 \text{ A/m}^2$ | $t_1 = 15$ | $D_{C_1}t_1$ |
| 2 | | $t_2 = 25$ | $D_{C_1}t_2$ |
| 3 | | $t_3 = 35$ | $D_{C_1}t_3$ |
| 4 | $D_{C_2} = 75 \text{ A/m}^2$ | $t_1 = 15$ | $D_{C_2}t_1$ |
| 5 | | $t_2 = 25$ | $D_{C_2}t_2$ |
| 6 | | $t_3 = 35$ | $D_{C_2}t_3$ |
| 7 | $D_{C_3} = 105 \text{ A/m}^2$ | $t_1 = 15$ | $D_{C_3}t_1$ |
| 8 | | $t_2 = 25$ | $D_{C_3}t_2$ |
| 9 | | $t_3 = 35$ | $D_{C_3}t_3$ |

Fuente: Propia

El total de número de pruebas que se va a realizar depende del

Nº total de pruebas = (9 tratamientos) * (3 Replicas) + 1 Prueba preliminar

Nº total de pruebas = 28

2.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

2.2.1. VARIABLE

Las variables que presentó este estudio son dos variables independientes, y dos variables dependientes.

- Variables independientes
 - ✓ Densidad de corriente
 - ✓ Tiempo
- Variables dependientes
 - ✓ Demanda química de oxígeno
 - ✓ Turbiedad

2.2.2. OPERACIONALIZACIÓN

Tabla 4. Operacionalización de las variables

| Variable | Definición conceptual | Definición operacional | Indicador | Escala de medición |
|----------|------------------------|------------------------|----------------|--------------------|
| | Es quien suministra la | Se evaluaron bajo | A/m^2 | Razón |



| | | | | | |
|---------------------------------|------------------------------|--|---|------|--------|
| VARIABLES INDEPENDIENTES | Densidad de corriente | carga eléctrica para la liberación de los iones metálicos, para ayudar a la formulación del coagulante, y así generar mayor cantidad de burbujas de H ₂ y O ₂ , para capturar las partículas contaminadas. (Aguilar, 2015) | tres diferentes densidades de corriente estos fueron de: 45, 75 105 A/m ² . | | |
| | Tiempo | Es lapso requerido para que el proceso de la electrocoagulación puede remover las partículas contaminadas. | Se propuso tres diferentes tiempos que fueron en 15, 25 y 35 minutos. | Min. | Escala |
| VARIABLES DEPENDIENTES | Remoción DQO | Es la cantidad del porcentaje removido de DQO, tomando en cuenta la concentración inicial y final de DQO, que se obtiene mediante el proceso de electrocoagulación. | Se determino por medio de medio del espectrofotómetro, aplicando la fórmula: $\frac{DQO_i - DQO_f}{DQO_{inicial}} * 100$ | % | Razón |
| | Remoción Turbiedad | Es la cantidad del porcentaje removido de Turbidez, tomando en cuenta la concentración inicial y final de turbidez, que se obtiene mediante el proceso de electrocoagulación. | Se evaluó por medio de un turbidímetro, aplicando la siguiente formula: $\frac{Turb_i - Turb_f}{Turb_i} * 100$ | % | Razón |

Fuente: Propia

2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

2.3.1. POBLACIÓN

La población de nuestro estudio estuvo dada por el efluente de 10 m² provenientes de laguna de oxidación de Ascope, que está bajo jurisdicción de La Municipalidad Provincial de Ascope, durante el periodo del 2017.

2.3.2. MUESTRA

La muestra se tuvo conformada por 40 litros de agua provenientes del efluente de la laguna de oxidación de Ascope, de donde se recolecto de acuerdo al protocolo de monitoreo para efluentes de agua residual, R. M. N°273 – 2013 – Vivienda.

2.3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis estuvo representada por 3.5 litro de la muestra de agua que se utilizó para la aplicación del tratamiento de la electrocoagulación en la remoción de la demanda química de oxígeno y turbiedad.

2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

2.4.1. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se utilizó instrumentos de medición y fichas de recolección, también se utilizaron los métodos estandarizados para la evaluar el análisis del agua residual, conforme se describen en la tabla 5, que son los métodos utilizados en el análisis.

Tabla 5. Métodos normalizados para el análisis de agua

| | Parámetro | Norma |
|--|-----------------------------|--|
| Fuente: APHA, AWWA, WPCF – 1998 | DQO | SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 5220, A y D. 22nd Ed.2012 |
| | Turbiedad | SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2130, A y B. 22nd Ed. 2012 |
| | pH | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22nd Ed. |
| | Temperatura | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 22nd Ed. |
| | 2.4.2. I N | Conductividad |

STRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES

Los equipos e instrumentos y materiales que se utilizaron en este proyecto vienen a presentarse en la Tabla 6, donde se describen de acuerdo lo que se requirió.

Tabla 6. Instrumentos y Equipos, materiales y reactivos

| Instrumentos y Equipos |
|-------------------------------|
|-------------------------------|



| | | |
|--|-------------------------|----------------------------|
| pH – metro | Conductímetro | Termómetro |
| Cronometro | Fuente de energía | Turbidímetro |
| Celda electroquímica | Cámara fotográfica | Reóstato |
| Materiales de Monitoreo | | |
| Frasco de 1 litro | Etiquetas | Guantes |
| Plumón indeleble | Fichas de observación | Mascarilla |
| Libreta de campo | Soga | Papel secante |
| Fichas de obtención de datos | Guardapolvo | Bolsas |
| Materiales para celda de electrocoagulación | | |
| Varillas de acrílico | Cables | Generador de corriente |
| Cuñas | Conectores | Platinas de aluminio |
| Lija | Resistencia de amperaje | Cinta aislante |
| Lamina de acrílico | Silicona | Tris |
| Reactivos y/o kits | | |
| Ácido sulfúrico | Agua destilada | Sulfato de potasio |
| HCl | Papel filtro | Solución estándar para DQO |
| Buffer 4,7 y 10 | | |

Fuente: propia

2.4.3. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

En esta investigación los instrumentos y equipos que han sido utilizados se administraron bajo la ley N°30224, donde crea el sistema nacional para la calidad y INACAL, donde tiene como objetivo la normalización, acreditación y metrología, con el fin de contribuir al desarrollo del país, esta institución se encarga también de dar las normas técnicas peruanas, en esta investigación se trabajó con algunas normas.

Tabla 7. Normas Metrológicas Peruanas

| Código | Español |
|--------------|---|
| NMP 009:1999 | Sistemas de medición de líquidos distintos al agua. Medidores volumétricos patrones |
| NMP 020:2014 | Termómetros eléctricos clínicos con dispositivo de máxima |

| | |
|----------------------------|--|
| NMP 009.18.1999 | Para los pH-Metro |
| Norma ISO 7027 | Para medición de turbiedad |
| Norma PNTP 360.501:2016 | Calidad de agua. Determinación de la demanda química de oxígeno. |

Fuente: Propia

2.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

2.5.1. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA DE ESTUDIO

La recolección de la muestra se obtuvo del mismo efluente de la laguna de oxidación de Ascope, donde se recolectó en envases de plástico de un litro para que después se han llevados a un laboratorio externo para ser analizadas y aplicarles el tratamiento, en primer lugar las muestras fueron almacenados y conservados de acuerdo a la norma, los recipientes que se utilizaron estuvieron etiquetadas, esterilizadas y enjuagadas como especifica el protocolo nacional de monitoreo de Agua Residual que nos brinda el Ministerio de Vivienda y Construcción.

2.5.2. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIMENTACIÓN

El proceso de la experimentación se desarrolló, en base a la secuencia mostrada en la figura 4. Esta secuencia viene a contener cuatro etapas para el desarrollo de la investigación. Que se procera a la descripción.

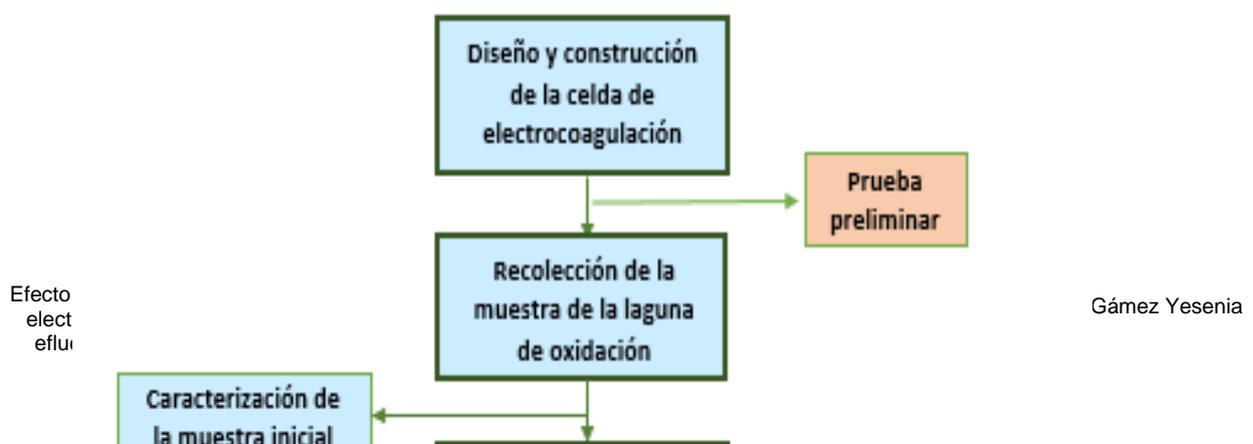


Figura 4. Diagrama de bloques del Procedimiento Experimental

1ra Etapa: el Diseño y la construcción de la celda de electrocoagulación, (**Anexo 1**)

Se procedió a la creación de la celda de electrolítica para el tratamiento de agua residual doméstica, se elaboro un bosquejo del reactor que por teoría es tipo batch, mono paralelo, esta contuvo una fuente de energía, resistencia (reóstato) y una celda acrílica transparente, donde se colocó las platinas de aluminio con un soporte de acrílico con un espaciado de 2 centímetros, los electrodos fueron de 16 cm por 12 cm con un grosor de 0.3 cm, posterior a la construcción se procedió en la realización de la prueba preliminar para determinar la eficiencia del equipo.

2da Etapa: Recolección de muestra

La recolección que se obtuvo del efluente de la laguna de oxidación de Ascope, por medio del protocolo de monitoreo de aguas residuales según el Ministerio de Vivienda, se realizó conforme a lo establecido por R. M. N°273- 2013 – Vivienda, donde los recipientes fueron llenadas a un registro de datos para la recolección de datos, posterior a esto fueron etiquetadas para que luego sean evaluadas.

3ra Etapa: caracterización fisicoquímica del agua residual

El agua residual que fue obtenida de la laguna de oxidación, se le efectuó una caracterización fisicoquímica, este análisis lo realizó un laboratorio externo (**Anexo 4**). El análisis de caracterización inicial nos permitirá ver qué parámetros no cumplen con el D.S. 003 - 2010 - MINAM, Luego se procedió a efectuar un análisis de caracterización final después de aplicar el tratamiento de la electrocoagulación donde se evaluó los dos parámetros de estudio que son DQO y turbiedad.

4ta etapa: Aplicación del tratamiento de electrocoagulación,

Se procedió a la aplicación del tratamiento de la electrocoagulación donde se sometió la muestra de agua residual, para remover la carga de contaminantes, donde se manipulan los factores de densidad de corriente en sus distintos niveles con los tiempos propuesto y así se obtuvo el mayor porcentaje de remoción tanto para la DQO y turbiedad, (**Anexo 6**). luego de la aplicación, se procedió con las pruebas estadísticas donde se evaluó del mejor tratamiento que fueron obtenidos de los 27 tratamientos, donde se utilizaron las pruebas de homogeneidad, normalidad, MANOVA y las pruebas de Tukey. (**Anexo 8**)

2.5.3. DESCRIPCIÓN PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

El diseño estadístico correspondió a un diseño bifactorial completamente aleatorizado con 3 réplicas, haciendo un total de 27 unidades experimentales para cada una de las variables

establecidas en nuestro diseño experimental, donde la evaluación se dio por el efecto de los factores de densidad de corriente y tiempo. Se utilizaron las pruebas como el análisis de varianza y posteriormente la prueba de Tukey y scheffe quien determinó el mejor tratamiento que se da en el proceso de electrocoagulación. Los análisis se realizaron de un nivel de confianza del 95% y se usó el software estadístico IBM SPSS 24; y para la comprobación de estos datos se utilizó la prueba de regresión lineal para el porcentaje de remoción tanto de la DQO y Turbiedad.

2.6. ASPECTOS ÉTICOS

Los resultados que se obtuvieron en el proceso de este estudio de investigación fueron acorde con los métodos estandarizados APHA, AWWA, WEF y de acuerdo a la sugerencia del asesor, también se respetaron la bibliografía de los autores como se establece la norma ISO 690, así mismo se respetaron aspectos que la Universidad Cesar Vallejo estableció, en relación a la recolección de las muestras que se obtuvieron de la Laguna de oxidación, la institución a cargo es la Municipalidad de Provincial de Ascope, es por ello que no se dio al detalle como fotografías del lugar o información relacionada al laguna de oxidación aunque es una identidad pública, hay cierto criterios que se deben guardar confidencialidad. En el momento de la aplicación del proyecto se respetaron las condiciones ambientales del lugar y de la institución Laboratorio de Química de la Nacional donde se realizó la investigación.

III. RESULTADOS

3.1. CONDICIONES INICIALES DEL AGUA RESIDUAL

Se evaluaron las condiciones iniciales del agua residual provenientes del efluente de la laguna de oxidación antes de la aplicación del tratamiento de la electrocoagulación; el cual se describen en la Tabla 8. Estas condiciones se compararon con D.S. 003 – 2010 MINAM. (Anexo 4), así mismo, se tomaron dos parámetros que no se encuentran dentro de LMP, siendo estos factores importantes para llevar acaba la aplicación del tratamiento de la electrocoagulación.

Tabla 8. Condiciones iniciales

| D.S. 003 – 2010 MINAM | | | | | | | | No Están en D.S. | |
|-----------------------|-------|-----|------|------|--------|-------|--------|------------------|------|
| Parámetros | Ace. | pH | T ° | DQO | DBO | Col. | SST | Turb. | C. E |
| Muestra | 171.8 | 8.1 | 20.3 | 1264 | 1261.7 | 12567 | 1436.3 | 687 | 511 |

Fuente: Propia

De los datos obtenidos de la tabla 8, solo el pH y la temperatura tienden a cumplir con el Límites Máximos Permisibles, mientras que los otros parámetros no cumplen con el decreto supremo establecido. De los dos parámetros que no están dentro del decreto, se compararon con los estándares de calidad de agua, para riego y bebida de animales D.S. 004 – 2017 – MINAM, demostrando que están dentro de estándares de calidad de agua.

La determinación de la concentración inicial de la DQO y turbiedad, nos permitió proceder con la aplicación del tratamiento de la electrocoagulación, basándome en mi diseño experimental, donde en cada tratamiento se le efectuó con las tres réplicas, consiguiendo así el porcentaje de remoción de la DQO y Turbiedad, donde los resultados se aprecian el Anexo 5 y 6.

3.2. ENSAYO DE REMOCIÓN DE LA DQO EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE Y TIEMPO

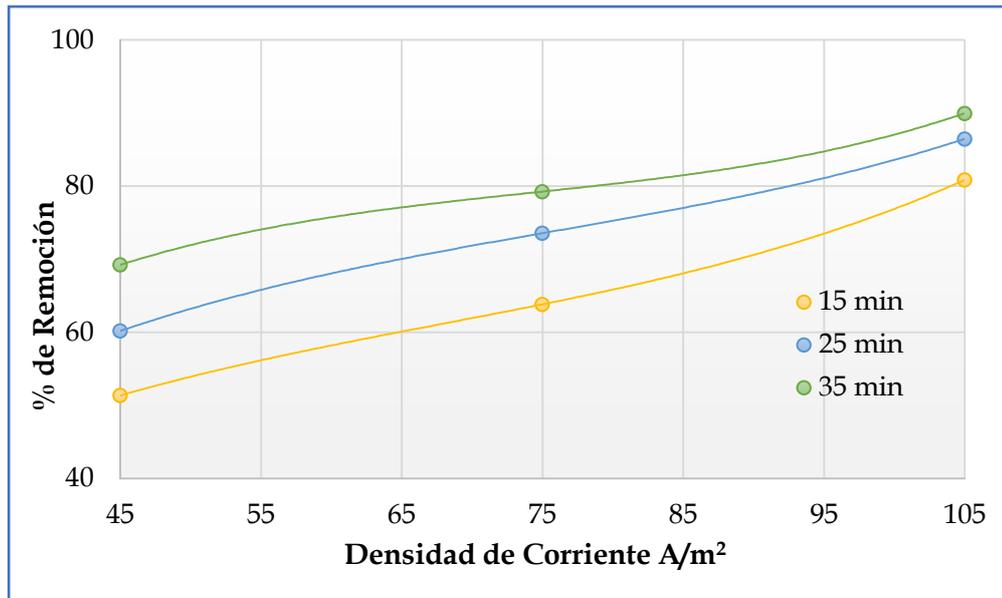


Gráfico 1. Porcentaje de remoción de DQO en función a la Densidad de Corriente

En la grafica 1, se observa los tres tratamientos aplicados para la remoción de DQO en función de la densidad de corriente, se aprecia que hay variación de la concentración de DQO, dando una máxima remoción a los 105 A/m² con una reducción de 127 mg/L pasa lo contrario a los 45 A/m² la mayor reducción que se obtiene es 389 mg/L. (Anexo 7)

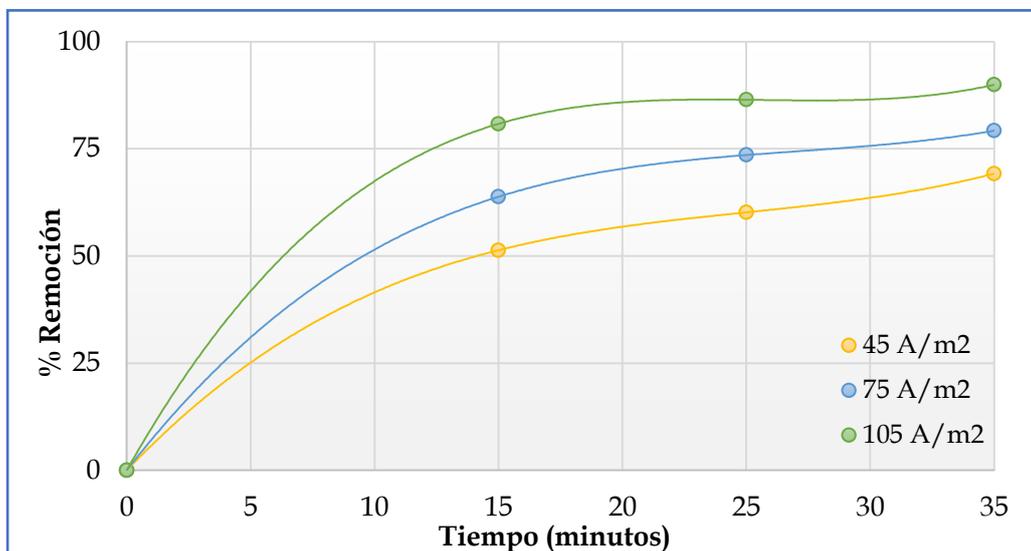


Gráfico 2. Porcentaje de Remoción DQO en función al tiempo

En la gráfica 2, se muestra los tres tratamientos aplicados en función al tiempo, presentando una disminución en la concentración de DQO, Así mismo, la mayor remoción es 89.95% a los 35 min con una densidad de corriente de 105 A/m², y la mínima remoción es a los 15 min con una densidad de corriente de 45 A/m² quedando 51.34%.

3.3. ENSAYO DE REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN FUNCIÓN A LA DENSIDAD DE CORRIENTE Y TIEMPO.

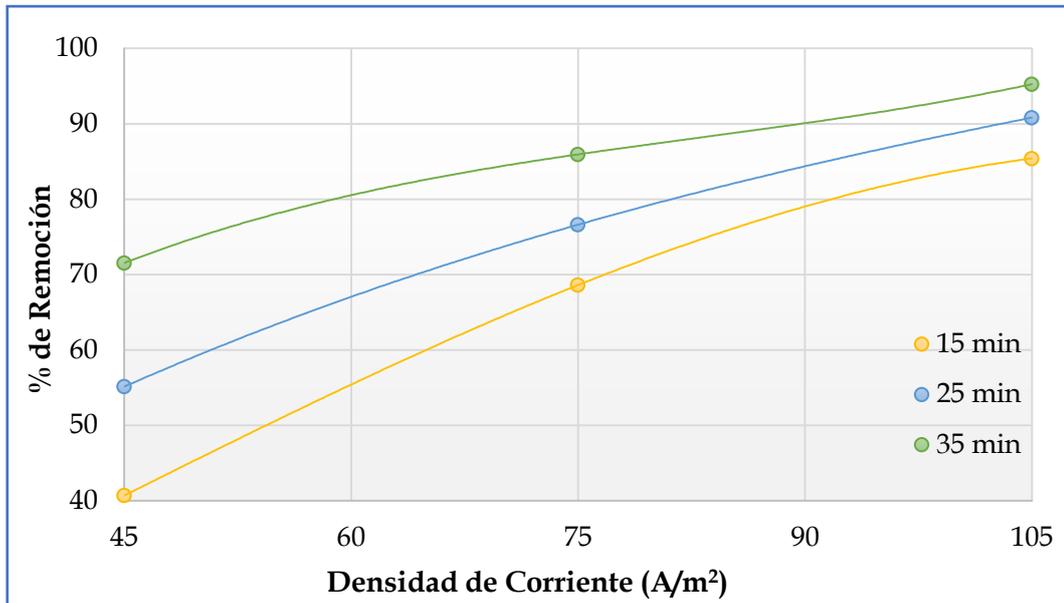


Gráfico 3. Porcentaje de remoción de turbiedad en función de Densidad de corriente

En la gráfica 3, se visualiza los tres tratamientos aplicados en función a Densidad de corriente, presentando una variación de la concentración de turbiedad empezado el tratamiento, Sin embargo, la mayor remoción es 95.27% a una densidad de corriente de 105 A/m², y la mínima remoción del tratamiento es en la densidad de corriente de 45 A/m² quedando 40.70%. (Anexo 7)

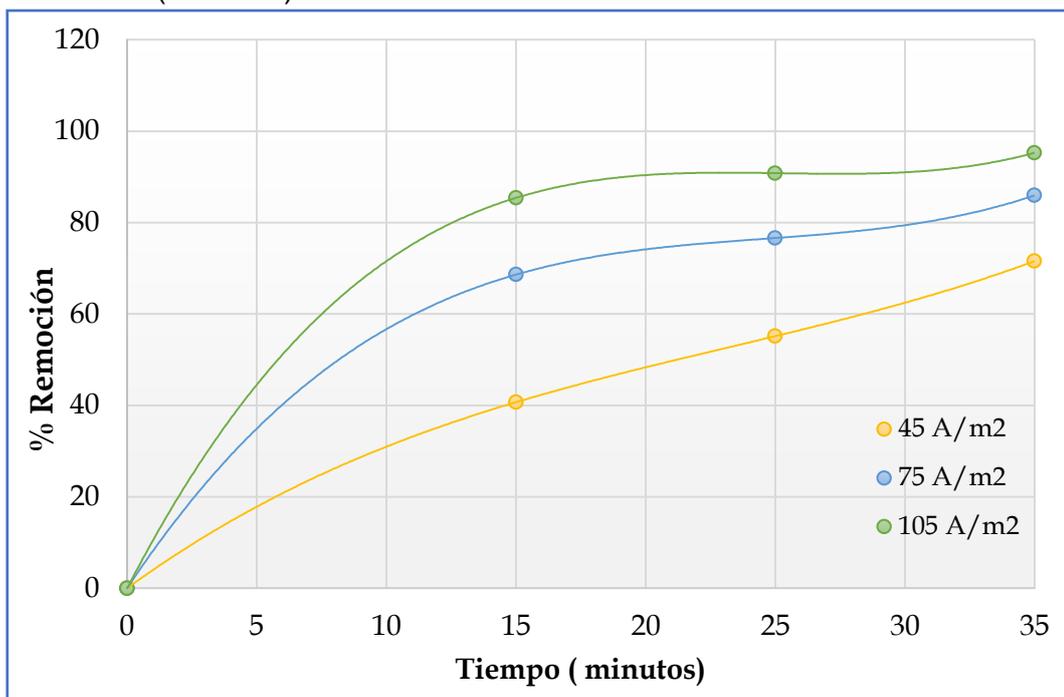


Gráfico 4. Porcentaje de remoción de Turbiedad en función al tiempo

En la gráfica 4, se muestra cómo ha ido variando la concentración de la turbiedad durante el tratamiento a diferentes tiempos (15, 25 y 35 min), se visualiza que hay disminución progresiva de la concentración, obteniendo una mayor remoción a los 35 minutos en tres niveles de la densidad de corriente (45, 75 y 105 A/m²). Su mayor remoción es 32 NTU con una densidad de corriente de 105 A/m². Estos datos se visualizan en la Tabla 20.

3.4. PRUEBAS ESTADÍSTICAS

La investigación cuenta con dos factores independientes y dos dependientes, con las pruebas estadísticas se corrobora si el tratamiento aplicado sea confiable y así determinar nuestro mejor tratamiento para esto se realizó las siguientes pruebas.

3.4.1. ANÁLISIS DE MULTI-VARIANZA

Antes de realizar el MANOVA, se tiene que realizar la prueba normalidad usando técnica de Shapiro Wilk, donde en la Tabla 21 y 22, (Anexo 8) nos expresa cumplimiento de los indicios de normalidad tanto para la densidad de corriente como para el tiempo; expresando que el p-valor es mayor al nivel crítico en las distintas categorías, y por lo tanto se acepta la hipótesis nula, indicando que la distribución es normal. Posterior a esta prueba se realiza la prueba de homocedasticidad, en la Tabla 23, se aprecia la variabilidad de DQO y turbiedad según los factores independientes que son homogéneos, debido al p-valor que es mayor a 0.05, y por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

Luego de determinar que existe cumplimiento de la distribución normal y homogeneidad, se realizó la prueba de MANOVA para determinar si existen diferencias significativas entre la densidad de corriente y tiempo del tratamiento de la electrocoagulación para la remoción de DQO y turbiedad, En la Tabla 24, nos indica como resultado que existe diferencias altamente significativas; debido que el p-valor es menor al nivel crítico (0.05). entre los niveles de

densidad de corriente y tiempo en relación a la remoción de DQO y turbiedad. Se empleó también regresión lineal múltiple (Anexo 9) donde nos indica que los tratamientos son confiables, y que su valor crítico es menor a 0.01, expresando que hay efecto sobre la DQO y turbiedad.

3.4.2. PRUEBA DE PRUEBAS POST HOC

Posterior a la prueba MANOVA, y de establecer las diferencias significativas de los tratamientos, se realizó las pruebas post hoc con los ensayos de Tukey y Scheffe para saber en qué nivel existe mayor diferencia significativa, y así establecer nuestra mejor densidad de corriente y tiempo del tratamiento de la electrocoagulación para obtener la remoción de DQO y turbiedad. Así mismo, se trabajó con una confiabilidad del 95%.

a) La densidad de Corriente

En la tabla 25 (Anexo 8) se aprecia las comparaciones múltiples, entre los niveles de densidad de corriente (45, 75 y 105 A/m²) en relación a la remoción DQO y Turbiedad, donde nos indican en que, si existe diferencias significativas entre los niveles, debido a que su p-valor es menor al nivel crítico dando como resultado que a los 105 A/m² es la mejor densidad de corriente que permitió la mayor remoción de DQO (89.95%) y Turbiedad (95.27%).

b) El tiempo en la Electrocoagulación

En la tabla 26 (Anexo 8) se puede apreciar las comparaciones múltiples con respecto a los distintos niveles del tiempo (15, 25 y 35 min) en relación de la remoción de DQO y Turbiedad donde en las pruebas de Tukey y Scheffé nos expresa que existen diferencias significativas en los tres niveles, como resultado se obtuvo que a los 35 minutos logra obtener la mayor remoción de DQO (127 mg/L) y turbiedad (32 NTU).

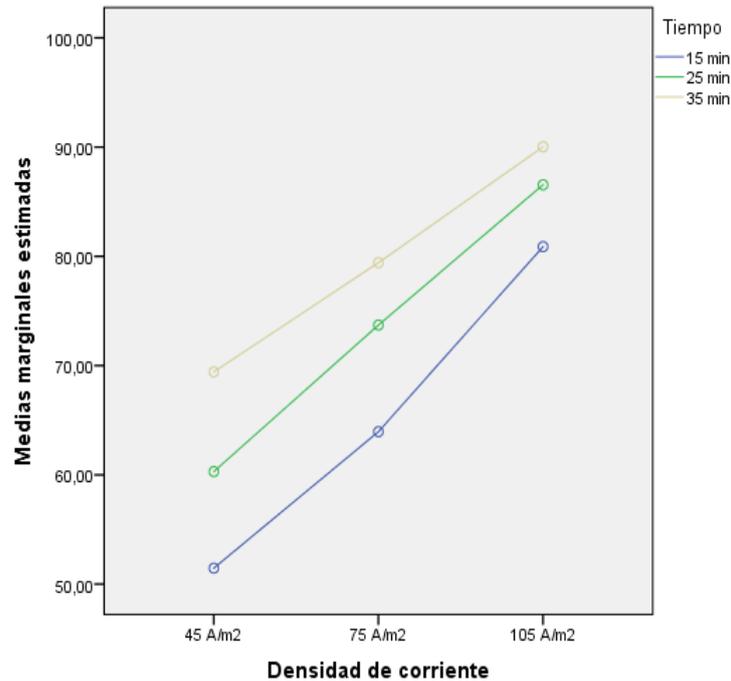


Gráfico 5. Estimación de las medias marginales del % Remoción de DQO

Según la gráfica 5, podemos observar que en la estimación de las medias marginales nos corrobora que la mayor remoción de DQO se da a una densidad de corriente de 105 A/m² con un tiempo de 35 minutos.

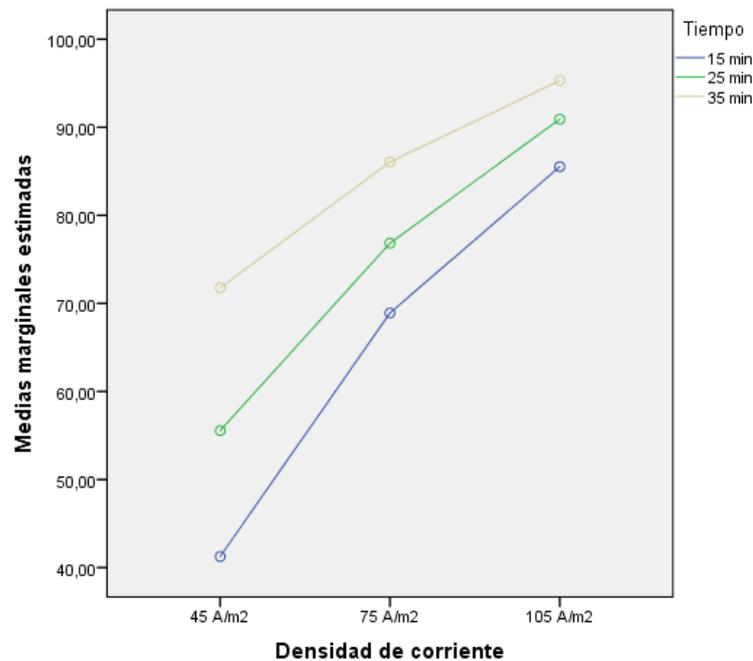


Gráfico 6. Estimación de medias marginales del % Remoción de Turbiedad

Según la gráfica 6, nos está indicando en la estimación de medias marginales de la turbiedad nos vuelve a corroborar que la mayor

remoción se da a una densidad de corriente 105 A/m^2 con el tiempo de 35 minutos

IV. DISCUSIÓN

A partir de los resultados encontrados en la tabla 8 (Anexo 4), se establecen las condiciones iniciales de la muestra de estudiada donde los parámetros de Aceites y grasas, DQO, DBO₅, SST, y Coliforme termotolerantes; sobrepasan un 90% los Límites Máximos Permisibles para efluentes de agua residual doméstica, según el Decreto supremo N°003-2010 – MINAM, establece que es la medida de concentración que caracterizan al efluente, que al ser excedida su concentración presenta daños a la salud de la población y al ambiente, con esto se ratifica lo expresado por BARBOZA, Gloria (2011), en la cual indica que en altas concentraciones de estos parámetros tiene consecuencias negativas, acarreando enfermedades en la salud de las personas y presentando disminución en la capacidad de autorrecuperación de agua causado por el alto contenido de carga orgánica e inorgánica. Así mismo los resultados obtenidos guardan relación con los resultados expuestos por la autora, puesto que llegan a superar un 92 % los LMP. En relación a la concentración DQO se tuvo 1264 mg/L y turbiedad 684 NTU, donde se hallaron valores casi similares en la investigación realizada por AGUILAR, Edwar (2015) donde obtuvo una concentración inicial de DQO de 3920 mg/L y de Turbiedad 1919 NTU.

En la parte de la aplicación del tratamiento para la investigación, cada uno de nuestras variables independientes de densidad de corriente y tiempo, se evaluaron en tres niveles cada una de ellas, donde en el gráfico 1, se visualiza los resultados obtenidos durante el tratamiento de la electrocoagulación para remover la alta carga de DQO, donde la concentración de DQO fue presentando una variación en función de las densidades de corriente (45, 75, 105 A/m²); la mayor variación comienza a observarse a partir de las densidades de corrientes de 75 y 105 A/m²; según LÁZARO, VÁSQUEZ Y RODRÍGUEZ (2011) referencia que cuando tu densidad potencial y corriente uniforme es mayor se consiguen mejores rendimientos en la disminución de la carga de contaminantes; SUÁREZ, Sebastián (2016) reafirma que en su investigación presentó una mayor variación en las densidades de corriente de 175 y 195 A/m² donde la concentración de DQO tiene una mayor disminución en la muestra de

agua. Así mismo, se observa que a la densidad de corriente de 45 A/m^2 también hay variación en su concentración donde redujo hasta 242 mg/L de DQO; Según CARHUANCHO, Hans y SALAZAR, Jorge (2015), de acuerdo a sus resultados muestra que el agua aun contiene materia orgánica, pero lo considera como remociones altas debido a que utiliza electrodos aluminio, donde este tiene un solo estado de oxidación, facilitando la interacción de los iones metálicos con las partículas contaminadas generando los compuestos insolubles y así facilite la remoción de DQO; el pH también se consideró parte en proceso de la electrocoagulación debido a que se mantuvo a un pH 8; según BARRERA, Carlos (2014) nos hace referencia que para obtener una mejor remoción de DQO se tiene que considerar los rangos de pH óptimos que pueden oscilar entre 6 y 8. Según MELÉNDEZ, Rosmary; VILLALOBOS, Josefina.(2011) refiere que a mayor densidad de corriente que pase por los electrodos y que su separación sea menor, mayor porcentaje de remoción de DQO se presentara.

En el gráfico 2, se observa los resultados obtenidos de variación de la concentración de DQO, en función al tiempo aplicado en sus tres niveles empezando a variar desde los 15 minutos, sin embargo, la mayor variación se obtiene a partir de los 25 y 35 minutos; HERNANDEZ, Daniela (2016) reafirma que en su investigación la variación de DQO se presenta partir de tiempo de los 10 minutos, donde presenta disminución de la concentración de DQO. A demás se observa que a los 35 minutos con una densidad de corriente de 105 A/m^2 se logra tener una mayor remoción; según REYES, Deysi y MERCADO, Iván (2003) de acuerdo a sus resultados obtenidos en el tratamiento de la electrocoagulación, refiere que el tiempo de operación no siempre depende de densidad de corriente, solo que el tratamiento debe tener un periodo efectivo de acción, que provoca la desestabilización en el sistema, se debe establecer rangos de menores tiempos para evitar el consumo de energía y que el proceso del tratamiento se viable y confiable.

En la gráfica 3 y 4, se muestra la eficiencia del tratamiento de la electrocoagulación con los tres niveles de densidad de corriente evaluados a los diferentes tiempos (15, 25 y 35 minutos) para obtener el porcentaje de

remoción de la turbiedad, donde se visualiza que la concentración ha ido disminuyendo en los tres niveles de densidad de corriente, donde a los 105 A/m² con 35 minutos removi6 95.27% de turbidez, mientras que a 45 y 75 A/m² con el mismo tiempo removi6 el 71.55% y 85.94% de turbidez; los resultado que se obtuvieron tienen coincidencias con el trabajo de investigaci6n de AGUILAR, Edwar (2015), donde la remoci6n a trav6s del tratamiento de electrocoagulaci6n a dos tipos de agua residual una industrial y la otra dom6stica, donde presento un 99.11% de disminuci6n de turbiedad del agua residual dom6stica, y un 89.68% en agua residual industrial con una densidad de corriente de 210 A/m² y un tiempo de 15 minutos; Seg6n CARHUANCHO, Hans y SALAZAR, Jorge (2015), reafirman que el 97.32 % de remoci6n de turbidez que presento su investigaci6n se deben a la presencia de sustancias solubles en el agua como es la materia org6nica que, al presentar una mayor remoci6n en la materia org6nica, esto es proporcional a la remoci6n de la turbiedad, ya que sus valores tienen relaci6n directamente; Seg6n HERNANDEZ, Daniela (2016), la remoci6n de turbiedad no es proporcional con la DQO debido que obtuvo una remoci6n de turbiedad a 93% y de DQO del 61%, con un tiempo de 60 minutos y una densidad de corriente de 80 A/m², refiere tambi6n que esta remoci6n depende mucho del factor pH, a6n pH alcalino mayores remociones de turbiedad se obtendr6n.

As6i mismo, los valores obtenidos de las remociones DQO y turbiedad se consiguieron por la utilizaci6n de electrodos de aluminio a una distancia de 2 cent6metros, donde se tuvieron remociones 89.95% y 95.27% de los par6metros, esto se debe a que el aluminio tiene su forma trivalente libre, y solo tiene un estado de oxidaci6n, liberando iones met6licos que viene hacer el coagulante para el tratamiento y con esto retener las part6culas contaminadas; seg6n ARANGO, 6lvaro (2005), refiere que en su investigaci6n que el electrodo que m6s eficiencia presento en la remoci6n de DQO y Turbiedad es el electrodo de aluminio, y que no podr6 describir lo mismo del hierro ya que este material se llega oxidar y dar tinte al agua en el proceso del tratamiento. Respectivamente, CARHUANCHO, Hans y SALAZAR, Jorge (2015), refieren lo mismo que el electrodo de

aluminio permite mayor disminución en la concentración de DQO y turbiedad, pero depende del espaciado entre electrodos, mientras menor sea la distancia favorece la remoción de la carga de contaminantes.

En las pruebas estadísticas de los resultados obtenidos de DQO y turbiedad, verifican que los datos cumplan los supuestos de las pruebas paramétricas, donde los datos contengan una distribución normal y homogeneidad, en la Tabla 21 y 22 se visualiza la aplicación de la prueba de Shapiro Wilk, ya que el tamaño de la muestra es menor a 30, dando como respuesta que p-valor es mayor al nivel crítico, concluyendo que se distribuyen normalmente todas las poblaciones muestreadas; mientras que en la tabla 23, se aprecia la aplicación de la prueba de homocedasticidad, donde su p-valor es mayor a su nivel crítico, concluyendo que contienen una igualdad de varianzas; Al igual que AGUILAR, Edwar (2015) también aplicó las pruebas paramétricas para que pueda corroborar su mejor tratamiento aplicando la prueba de análisis de multi varianzas, en la tabla 24, se comprueba que si existe diferencias significativas en los distintos niveles establecidos.

Las remociones obtenidas de DQO final es de 127 mg/L, esto comparado con el inicial de 1264 mg/L, podríamos decir que, si ha reducido 89.95% pero igual no llega a cumplir los límites máximos permisibles establecidos por MINAM, para ello hay autores como BARBOZA, Gloria (2011) y SUÁREZ, Sebastián (2016), donde refieren a ser otro tipo de proceso electroquímico para ayudar a estabilizar este parámetro, ya que presentaron remociones de DQO 89.8%; el parámetro de turbiedad no se encuentra dentro del D.S. 003 – 2010 – MINAM, pero está dentro de los Estándares de Calidad del Agua, según AGUILAR, Edwar (2015), en su resultado se puede comparar con estos estándares y que su calidad de agua podría utilizarse para riego y bebidas para animales. Comparado las remociones obtenidas con los resultados de los autores descritos nuestra agua califica para utilizarse para el uso de riego.

V. CONCLUSIONES

- El efecto que tiene la densidad de corriente y tiempo de la electrocoagulación en la remoción de la demanda química de oxígeno Y turbiedad, es que se permitió una remoción de DQO de 89.95% y en turbiedad 95.27%, demostrando que es un proceso eficiente y viable para el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Las condiciones iniciales que presentaron los parámetros establecidos por el D.S. 003 – 2010 MINAM, solo el pH y la temperatura cumplen con los LMP, mientras que los otros parámetros sobrepasan los LMP, el parámetro de estudio DQO tuvo una concentración de 1264 mg/L. mientras que turbiedad no está establecido en el Decreto supremo.
- La densidad de corriente que permitió la mayor remoción se determinó mediante las pruebas post hoc de Tukey y Scheffé donde nos dice que al nivel de 105 A/m^2 del tratamiento de la electrocoagulación se obtuvo mayores remociones de DQO y Turbiedad, con una confiabilidad de 95%
- El tiempo que permitió la mayor remoción se determinó mediante las pruebas post hoc de Tukey y Scheffé donde nos dice que al nivel de 35 minutos del tratamiento de la electrocoagulación se obtuvo mayores remociones de DQO y Turbiedad, con una confiabilidad de 95%

VI. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que para mejorar el proceso de electrocoagulación debido que es un proceso muy complejo, se recomienda:

- Realizar un estudio con diferentes niveles de pH para ver obtener una eficiencia en la remoción de los parámetros a estudiar, ya que es un factor es muy importante en el proceso de la electrocoagulación. Pero se tiene que tener consideración el tipo de agua si es alcalina o ácida.
- Realizar un estudio sobre los lodos que obtienen durante el proceso de la electrocoagulación, donde su composición biológica y química según otras referencias aseguran que se podrían utilizarse para alternativas como abono u otras alternativas contribuyan a la mejora calidad del suelo.
- Se sugiere que se utilice otros tipos de materiales para los electrodos que sean diferentes al aluminio, para lograr obtener una mayor remoción de la carga de contaminantes.
- Se sugiere que los electrodos sean lavados y pesados antes y después de su utilización ya que se tienden a oxidarse, y esto puede influenciar a que no presente una buena remoción.
- Se debe proponer como un estudio posterior sobre la espuma que se genera en el tratamiento de la electrocoagulación, para saber cuál es la composición y si es que se podría aplicar alguna alternativa de reusó.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, Edwar. Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. [en línea]. Tesis (Magíster en Ciencias Ambientales con Mención en Control de la Contaminación y Ordenamiento Ambiental). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2015. 104 pág. Disponible en: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/4303/3/Aguilar_ae.pdf

APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for examination of water and wastewater. [on line]. 19 ed. EE. UU. National government publication. 1998. [fecha de Consulta: 16 de mayo del 2017]. ISBN: 087553-161-X. Disponible en: <https://archive.org/details/standardmethods02assogoog>.

ARANGO, Álvaro. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista LASALLISTA de Investigación*. [en línea]. Vol. 2 No 1. Julio 2005. [fecha de Consulta: 26, noviembre del 2017]. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/324/1/electrocoagulation.pdf>

BARBOZA, Gloria. Remoción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la planta de Tratamiento de Totorá empleando la Técnica de Electrocoagulación. [en línea]. Tesis (Maestro en ciencias con mención en química). Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. 2011. [fecha de Consulta: 26 de mayo del 2017]. Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/338/1/barboza_pg.pdf

BARRERA, Carlos. Aplicación de electroquímicos al tratamiento de aguas residuales. 1ra edición. Reverte Ediciones. México D.F. 2014. 336 pág. ISBN: 978 – 607 – 7815 – 13 – 6.

CARHUANCHO, Hans; SALAZAR, Jorge. Estudio del efecto de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales Covicorti en la Ciudad de Trujillo. [en línea]. Tesis (Ingeniero Químico). Trujillo. Universidad Nacional de Trujillo. 2015. [fecha de Consulta: 11 de noviembre del 2017].

CHEN, Guohau. Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and purification technology*. [on line]. Vol. 38, No. 1. 2006. Hong

Kong [Fecha de consulta: 26 de mayo del 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586603002636>

Ministerio del Ambiente. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domesticas o Municipales. Lima. 16 de marzo del 2010. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>

HERNANDEZ, Daniela. Tratamiento acoplado fisicoquímico-electrocoagulación para incrementar la remoción de la materia orgánica de un agua residual de rastro municipal. [en línea]. Tesis (Maestra en Ciencias del Agua). México: Universidad autónoma del estado de México. 2016. [fecha de Consulta: 26 de mayo del 2017]. Disponible en:

INEI, Sistema Estadístico Departamental de La Libertad. [en línea]. 2012. [fecha de Consulta: 28 de octubre del 2017]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1060/libro.pdf

LENNTech, Tratamiento de purificación de agua. [en línea]. 2017. [fecha de Consulta: 30 de octubre del 2017]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-cloro.htm>

LINARES, Ivonne; MARTÍNEZ, Verónica; BARRERA, Carlos. Oxidación de materia orgánica persistente en aguas residuales industriales mediante tratamientos Electroquímicos. *Revista avances en ciencias e ingeniería*. [en línea]. Vol. 2. No. 1. Diciembre, 2011. [fecha de Consulta: 26 de mayo del 2017]. **ISSN:** 0718-8706

MELÉNDEZ, Rosmary; VILLALOBOS, Josefina. Determinación del efecto de la electrocoagulación en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales industriales [en línea]. Tesis (Ingeniero Químico). Venezuela: Universidad Rafael Urdaneta. 2011. [fecha de Consulta: 26 de mayo del 2017]. Disponible en: <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2101-11-04072.pdf>

REQUEIJO, D. y REQUEIJO A. Reacciones químicas electroquímica. [en línea]. Proyecto Salón Hogar. 2002. [fecha de Consulta: 1 de junio del 2017]. Disponible en: http://www.salonhogar.net/quimica/nomenclatura_quimica/Electroquimica.htm

RESTREPO, Ana; ARANGO, Álvaro; GARCÉS, Luis. La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Revista producción + limpia. Bolivia*. [en línea]. Vol. I No. 2. 28 de junio, 2006 [Fecha de consulta: 26 de mayo del 2017]. Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/514/1/pl_v1n2_58-77_electrocoagulacion.pdf ISSN: 1909-0455.

REYES, Deysi y MERCADO, Ivan. Estudio de tratabilidad por electrocoagulación de los lixiviados del relleno sanitario la esmeralda. [en línea]. Tesis (Ingeniero Químico). Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 2003. [fecha de Consulta: 28 de mayo del 2017]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1069/1/deisyreyesavila.2003.pdf>

RODRIGUEZ, Hernán. Demanda Química de Oxígeno por refluo cerrado y volumetría. [en línea]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Colombia. 2007. [fecha de Consulta: 28 de mayo del 2017]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno.pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

MINAM. Sistema Nacional de Información Ambiental. [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 27 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles>

SPINELLI, Mónica. Efluente. [en línea]. Enciclopedia de términos. 2010. [fecha de Consulta: 1 de junio del 2017]. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Efluentes.htm>

STEPHENSON, Rob and TENNANT, Bruce. New electrocoagulation process treats emulsified oily wastewater at Vancouver Shipyards. [on line]. Vancouver: Environmental Science & Engineering. 2003. [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2017]. Disponible en:

SUÁREZ, Sebastián. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de las descargas de un centro comercial de la Ciudad de Quito mediante procesos de electrocoagulación y adsorción en carbón activado. [en línea]. Tesis (Ingeniero Químico). Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Agosto – 2014. [Fecha de consulta: 11 de noviembre del 2017].



SUÁREZ, Joaquín; JÁCOME, Alfredo y URES, Pablo. Electrocoagulación y Electroflotación. febrero 2015. [en línea]. España. Inditex. Disponible en: <https://www.wateractionplan.com/documents/186210/200862/FTAVA002ELECTROCOAGULATIONELECTROFLOCCULATION+%28SPANISH%29.pdf/463f42e6-773c-4875-92f0-e0c6b02a90cc>

VASQUÉZ, Armando. RODRIGUÉZ, Isabel and LÁZARO, Isable. Primary potential and current density distribution analysis: A first approach for designing electrocoagulation reactors. [on line]. Chemical Engineering Journal. U.S. 2011. Vol. 179. pg. 253 – 261. [fiche de Consult: 26, mayo, 2017]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894711013258>

WESTRES, Andrés. diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales procedentes de una planta productora de sulfatos mediante el proceso electroquímico de electrocoagulación. [en línea]. Tesis (Ingeniero Químico). Lima: Universidad de Nacional de Ingeniería. 2013. [fecha de Consulta: 27 de mayo del 2017]. Disponible en: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/2318/1/westres_zs.pdf

WORDPRESS. Tratamiento del Agua. [en línea]. 2016. [fecha de Consulta: 18 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/lagunas-de-oxidacion-que-son/>

|ANEXOS

Anexo 1. Diseño y montaje de la Celda de electrocoagulación

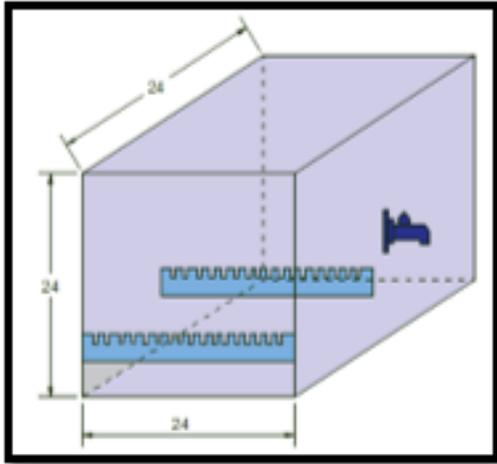


Figura 5. Dimensiones de la celda

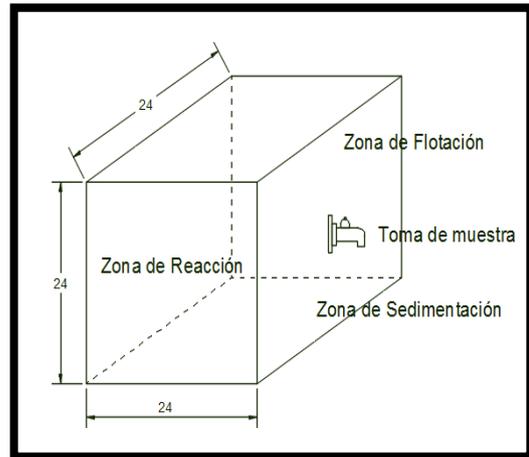


Figura 6. Identificación de zonas



Figura 7. Montaje de la cuba



Figura 8. Partes del Reactor

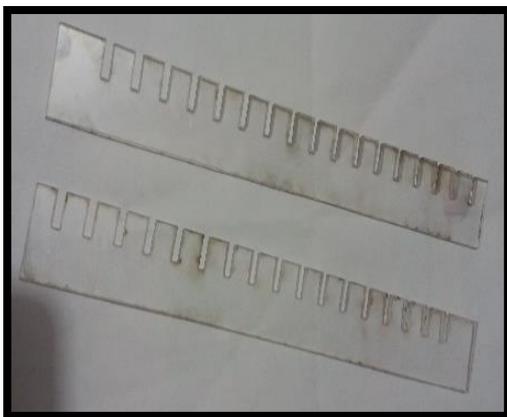
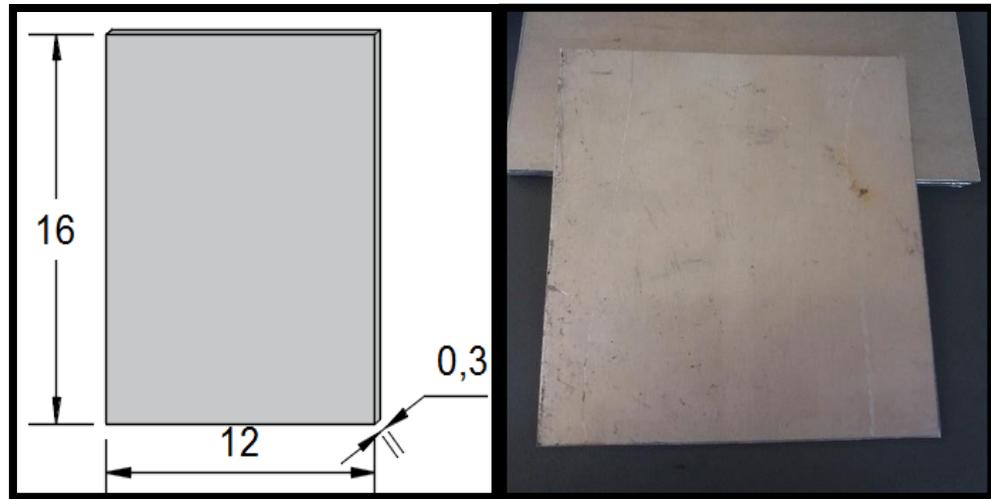


Figura 9. Soporte de acrílico



Figura 5.
Láminas de Aluminio



Las láminas que se usaron fueron de aluminio del tamaño de 16 de largo, de ancho 12 cm y con un grosor de 0.3 cm.

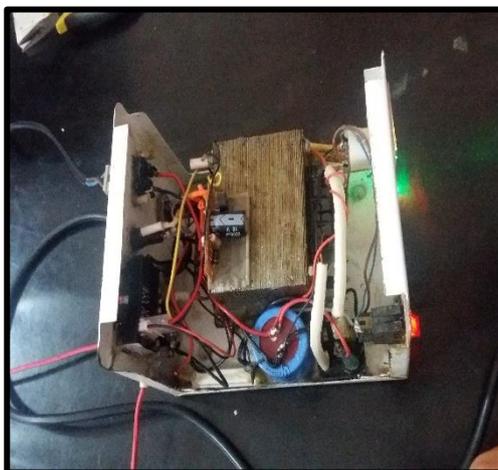
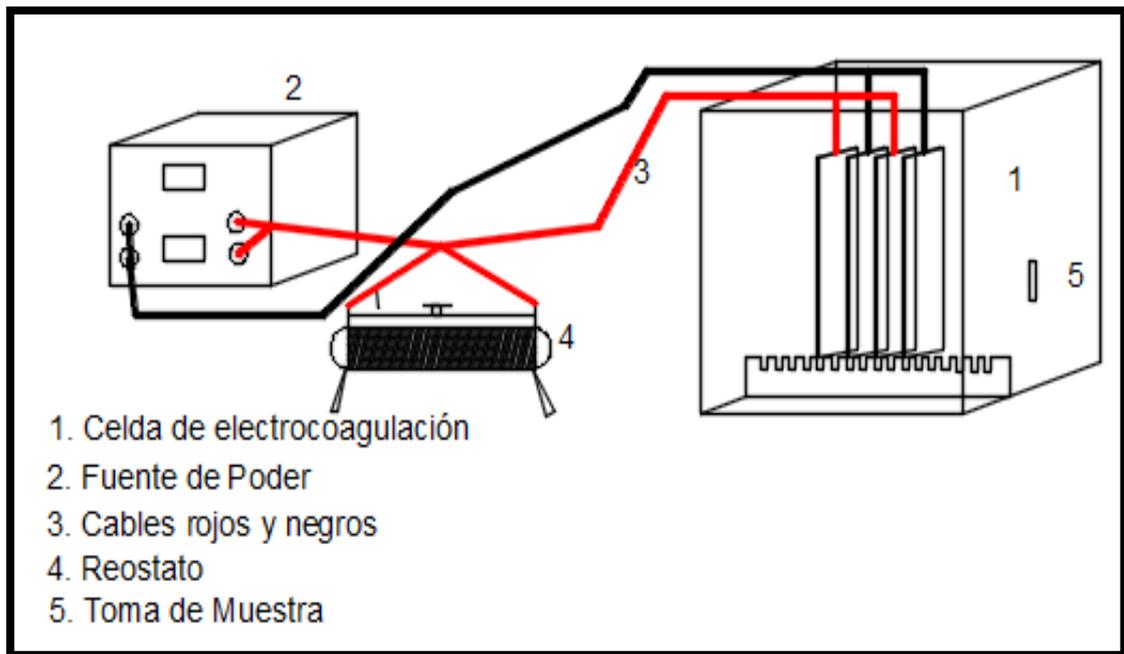


Figura 7. Armado de la fuente de poder



Figura 6. Fuente de poder

Como se muestra en el diagrama el montaje del equipo comprende 5 pasos para



comenzar con el tratamiento del agua residual

Figura 8. Diagrama del Montaje del Equipo de electrocoagulación



Figura 9. Montaje del Equipo de Electrocoagulación

Anexo 2. Ensayos para el proceso de electrocoagulación

En el ensayo se llevó acabo con 3 réplicas a 3 (1.5, 2.5 y 3.5 A/m²) Densidades de corriente y con 3 (15, 25 y 35) tiempos, donde se puede reflejar en las imágenes.



Figura 10.

Figura 11. Supervisión del proceso



F **Figura 13.** Aclaramiento del Agua



Figura 15. Durante formación de iones



Figura 14. Formación de espuma

Se realizó la prueba testigo para ver si había un efecto al agregar una sal, para aumentar la conductividad sobre los análisis de DQO y Turbiedad.



Figura 16. Prueba de

Testigo

Tabla 9. Prueba de Testigo

| Parámetros | Muestra 1 | Muestra 2 |
|---------------|-----------------|------------|
| pH | 8.2 | 8.2 |
| temperatura | 20.3°C | 20.3°C |
| Conductividad | 452 μ S /cm | 26.5 mS/cm |
| DQO | 1295 mg/L | 1295 mg/L |
| Turbiedad | 583 NTU | 579 NTU |

Se puede observar que nuestra muestra testigo no hubo cambio en la DQO, ni en la turbiedad, solo hubo un cambio en el pH.

Efecto de l
electroco
efluente



ho Gámez Yesenia

Figura 17. Calibración del pH – metro

Los electrodos se pesaron tanto al inicio como al final del proceso de electrocoagulación.



Figura 18. Pesado de los electrodos de Aluminio

Tabla 10. Consumo de los electrodos de Aluminio

| REPETICIONES | Placa 1 | Placa 2 | Placa 3 | Placa 4 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|
| PRELIMINAR | 1.61 gr | 0.13gr | 0.18 gr | 1.76 gr |
| 1RA REPLICA | 1.87 gr | 0.17 gr | 0.17 gr | 1.80 gr |
| 2DA REPLICA | 1.85 gr | 0.15 gr | 0.11 gr | 1.79 gr |
| 3RA REPLICA | 1.86 gr | 0.18 gr | 0.17 gr | 1.89 gr |
| PROMEDIO | 1.80 gr | 0.16 gr | 0.16 gr | 1.81 gr |

Anexo 3. Recolección de la muestra

se dividió en dos etapas

1ra etapa

la recolección de la muestra de agua del efluente de oxidación para ello se tomó en cuenta la ubicación para la toma de muestra viene a estar identificados en la tabla siguiente, donde se puede apreciar los 2 muestreos realizados de un solo punto. Donde también se puede visualizar la descripción y las coordenadas del muestreo de agua.

| N° muestra | Descripción | Coordenadas de los muestreos | | |
|------------|---------------------|------------------------------|------------|----------|
| | | S | O | m.s.n.m. |
| 1 | Efluente de la | -7.7295977 | 79.1085585 | 238 |
| 2 | Laguna de oxidación | -7.7294867 | 79.1085424 | 237 |

Tabla 11. Ubicación de la laguna de Oxidación



Figura 20. Desemboque del agua residual



Figura 19. Efluente de la laguna



Figura 21. Toma de muestra del Efluente

La recolección de la muestra en la aplicación del tratamiento de la electrocoagulación, donde se utilizaron botellas de plásticos de 250 mL y 120 mL.



Figura 22. Envases de recolección de Muestra



Figura 23. Botellas de Recolección de la muestra

Anexo 4. Parámetros de acuerdo a la normativa

Los datos de la tabla 12, se tomaron en cuenta para la tabla 8, de las condiciones iniciales de la muestra de agua.

Tabla 12. Concentraciones Iniciales

| PARÁMETRO | LMP | RESULTADOS | | |
|--------------------------------------|---------|------------|-------|-------|
| Aceites y grasas (mg/L) | 20 | 169.4 | 166 | 179.8 |
| Coliformes Termotolerantes | 10 000 | | 12567 | |
| Demanda química de oxígeno (mg/L) | 100 | 1234 | 1263 | 1295 |
| Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) | 200 | 1203 | 1215 | 1367 |
| Sólidos totales en suspensión (mL/L) | 150 | 1497 | 1445 | 1457 |
| Temperatura (°C) | < 35 | 20.2 | 20.3 | 20.3 |
| pH | 6 – 8.5 | 8.05 | 8.1 | 8.07 |
| PARÁMETRO NO ESTAN DENTRO DEL D.S. | | | | |
| Turbidez | ----- | 678 | 701 | 683 |
| Conductividad | ----- | 486 | 508 | 508 |

Los datos que se han obtenido en la caracterización se realizaron en un laboratorio externo y se compararon con el D.S. 003 – 2010 MINAM.

Anexo

de los

| DENSIDAD DE CORRIENTE | TIEMPO | | |
|---------------------------|------------|------------|------------|
| | 15 minutos | 25 minutos | 35 minutos |
| $D_1 = 45 \text{ A/m}^2$ | 521 | 436 | 281 |
| | 57.78 % | 64.67 % | 77.23% |
| $D_2 = 75 \text{ A/m}^2$ | 371 | 230 | 171 |
| | 69.94% | 81.36% | 86.14% |
| $D_3 = 105 \text{ A/m}^2$ | 218 | 122 | 89 |
| | 82.33% | 90.11% | 92.79% |

5.

Análisis

tratamientos en la DQO

Primera Replica - DQO

Tabla 13. Concentración y porcentaje de la primera corrida - DQO

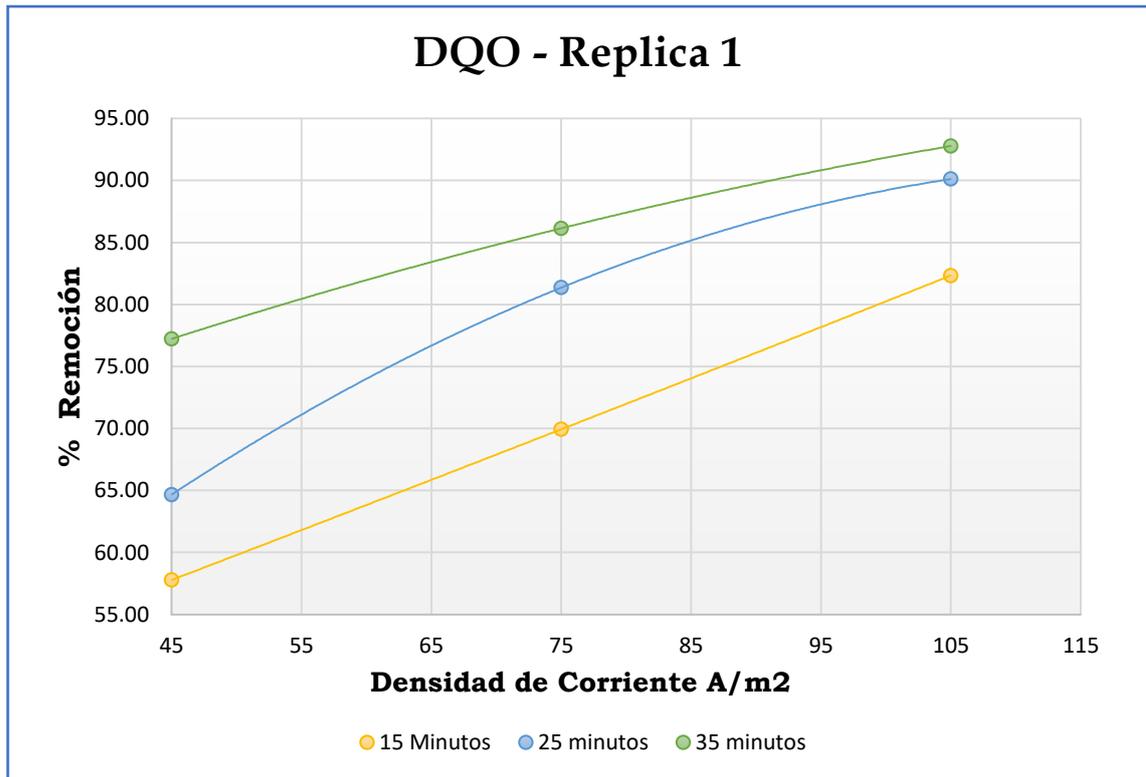


Gráfico 7. Porcentaje de remoción de 1ra replica - DQO

Segunda de Replica – DQO

Tabla 14. Concentración y Porcentaje de remoción de 2da replica - DQO

| DENSIDAD DE CORRIENTE | TIEMPO | | |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| | 15 minutos | 25 minutos | 35 minutos |
| D ₁ = 45 A/m ² | 594 | 429 | 276 |
| | 52.97 % | 66.03 % | 78.15% |
| D ₂ = 75 A/m ² | 403 | 277 | 164 |
| | 68.09% | 78.07% | 87.02% |
| D ₃ = 105 A/m ² | 185 | 89 | 82 |
| | 85.35% | 92.95% | 93.51% |

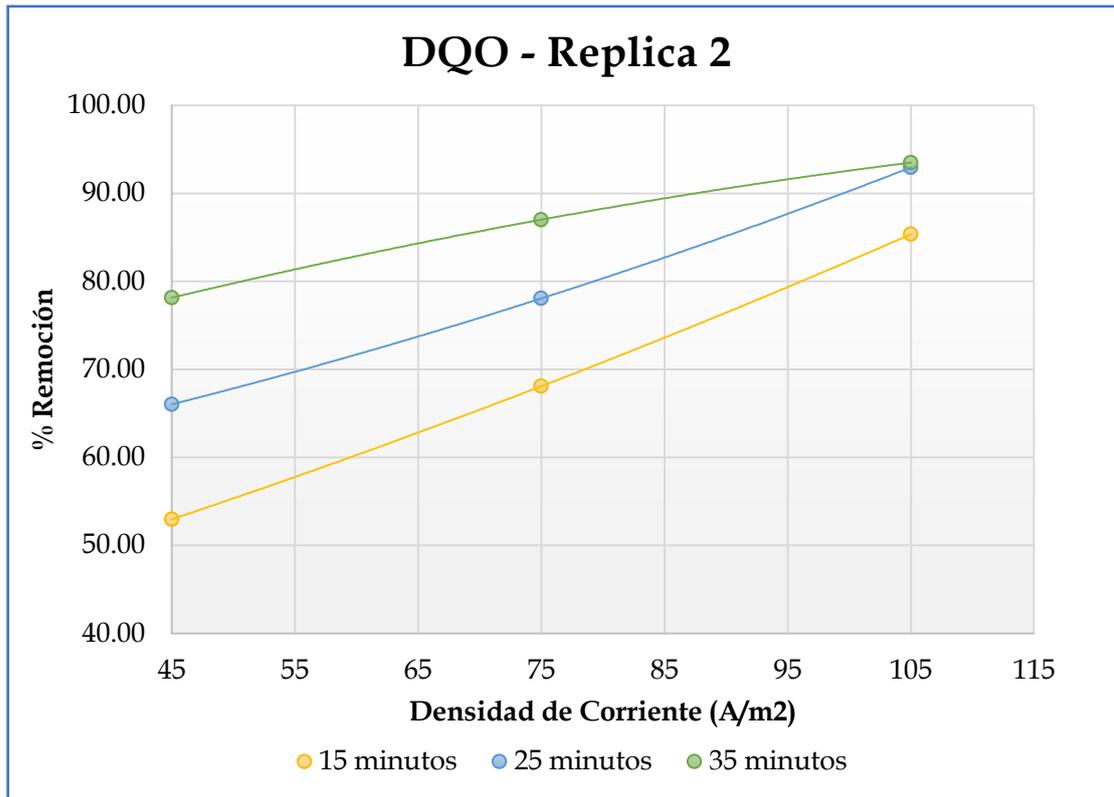


Gráfico 8. Porcentaje de remoción 2da Replica - DQO

Tercera Replica – DQO

Tabla 15. Concentración y porcentaje de remoción de 3ra Replica - DQO

| DENSIDAD DE CORRIENTE | TIEMPO | | |
|---------------------------|------------|------------|------------|
| | 15 minutos | 25 minutos | 35 minutos |
| $D_1 = 45 \text{ A/m}^2$ | 730 | 645 | 610 |
| | 43.63 % | 50.19% | 52.90 |
| $D_2 = 75 \text{ A/m}^2$ | 598 | 496 | 452 |
| | 53.82% | 61.70% | 65.10% |
| $D_3 = 105 \text{ A/m}^2$ | 324 | 303 | 210 |

74.98% 76.60% 83.78 %

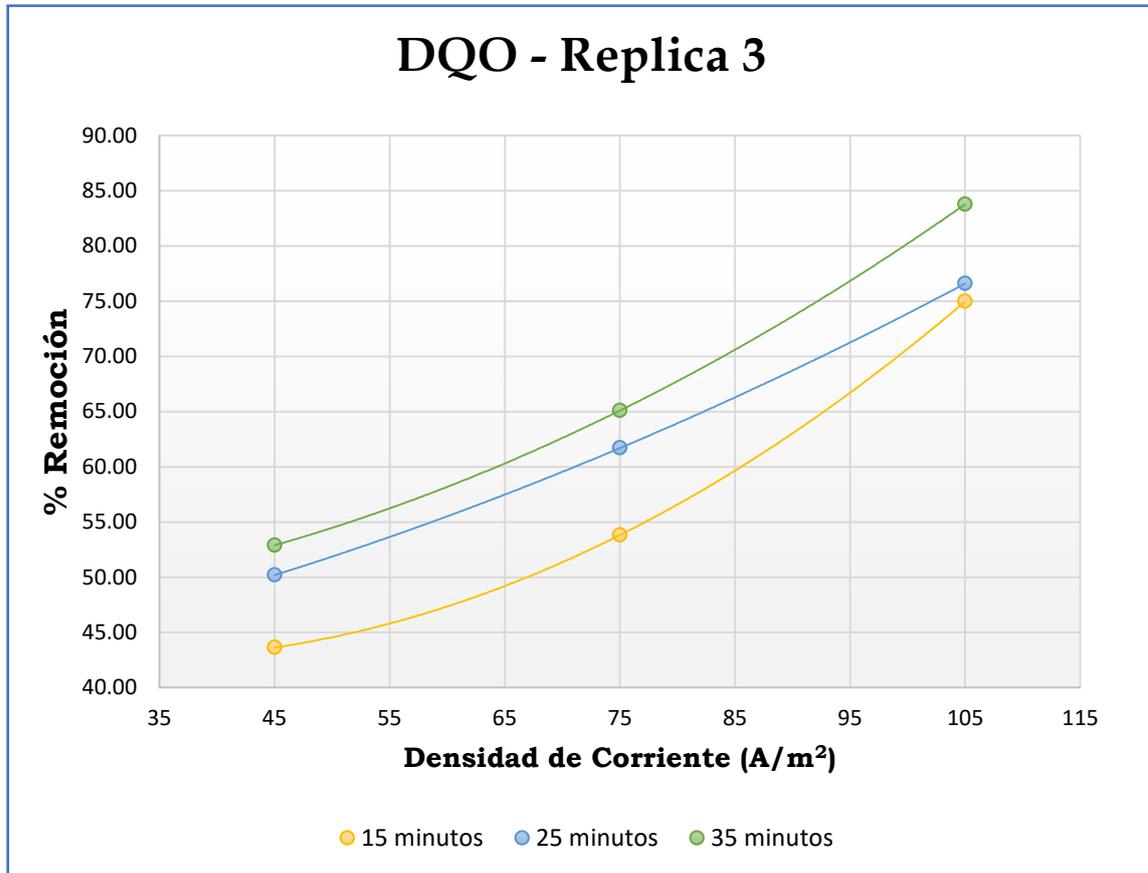


Gráfico 9. Porcentaje de remoción 3ra Replica – DQO

Anexo 6. Análisis de los tratamientos en la Turbiedad

Primera Replica – Turbiedad

Tabla 16. Concentración y Porcentaje de remoción 1ra Replica – Turbiedad

| DENSIDAD DE CORRIENTE | TIEMPO | | |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| | 15 minutos | 25 minutos | 35 minutos |
| D ₁ = 45 A/m ² | 346 | 269 | 215 |
| | 48.97% | 60.32% | 68.29% |
| D ₂ = 75 A/m ² | 175 | 143 | 93 |
| | 74.19% | 78.21% | 86.28% |
| D ₃ = 105 A/m ² | 89 | 46 | 30 |
| | 86.87% | 93.22% | 95.58% |

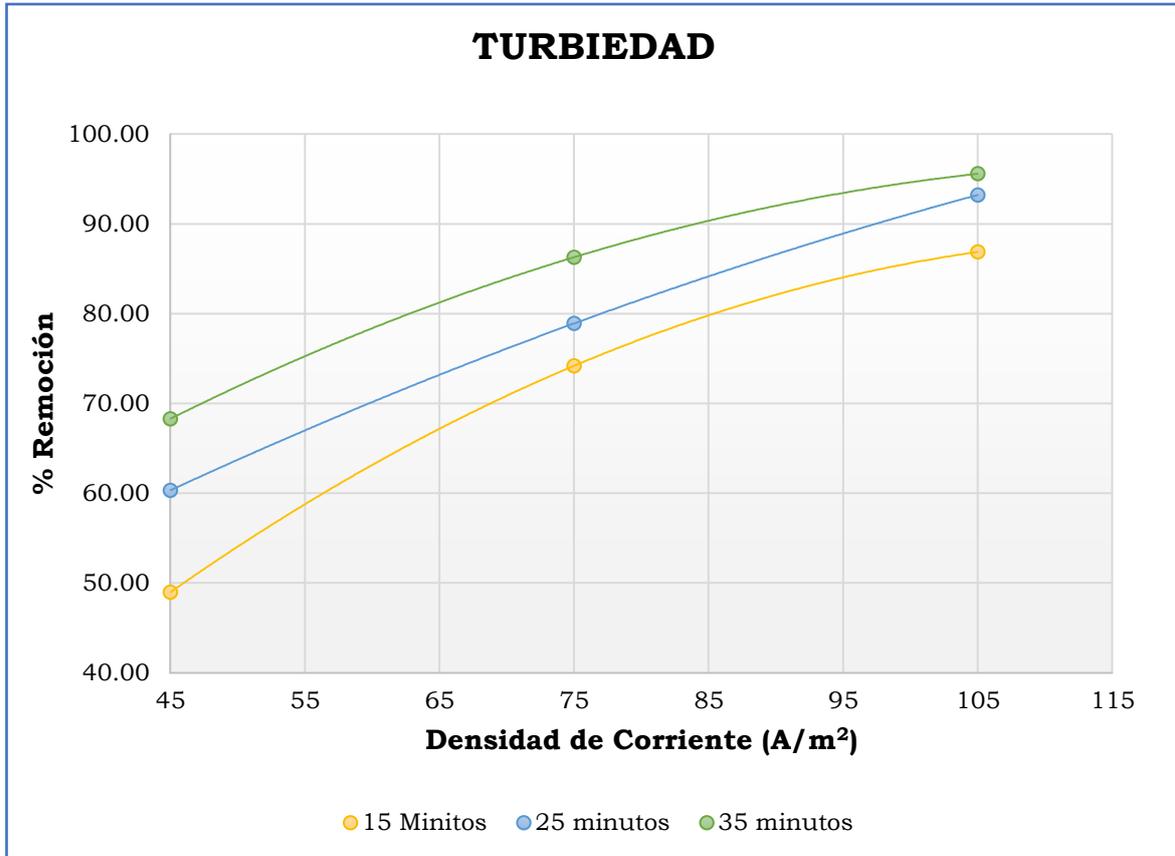


Gráfico 10. Porcentaje de Remoción 1ra Replica – Turbiedad

Segunda Replica – Turbiedad

Tabla 17. Concentración de 2da Replica - Turbiedad

| DENSIDAD DE CORRIENTE | TIEMPO | | |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| | 15 minutos | 25 minutos | 35 minutos |
| D ₁ = 45 A/m ² | 330 | 248 | 128 |
| | 51.68% | 63.69% | 81.26% |
| D ₂ = 75 A/m ² | 185 | 125 | 75 |
| | 72.91% | 81.70% | 89.02% |
| D ₃ = 105 A/m ² | 90 | 56 | 35 |

86.82% 91.80% 94.88%

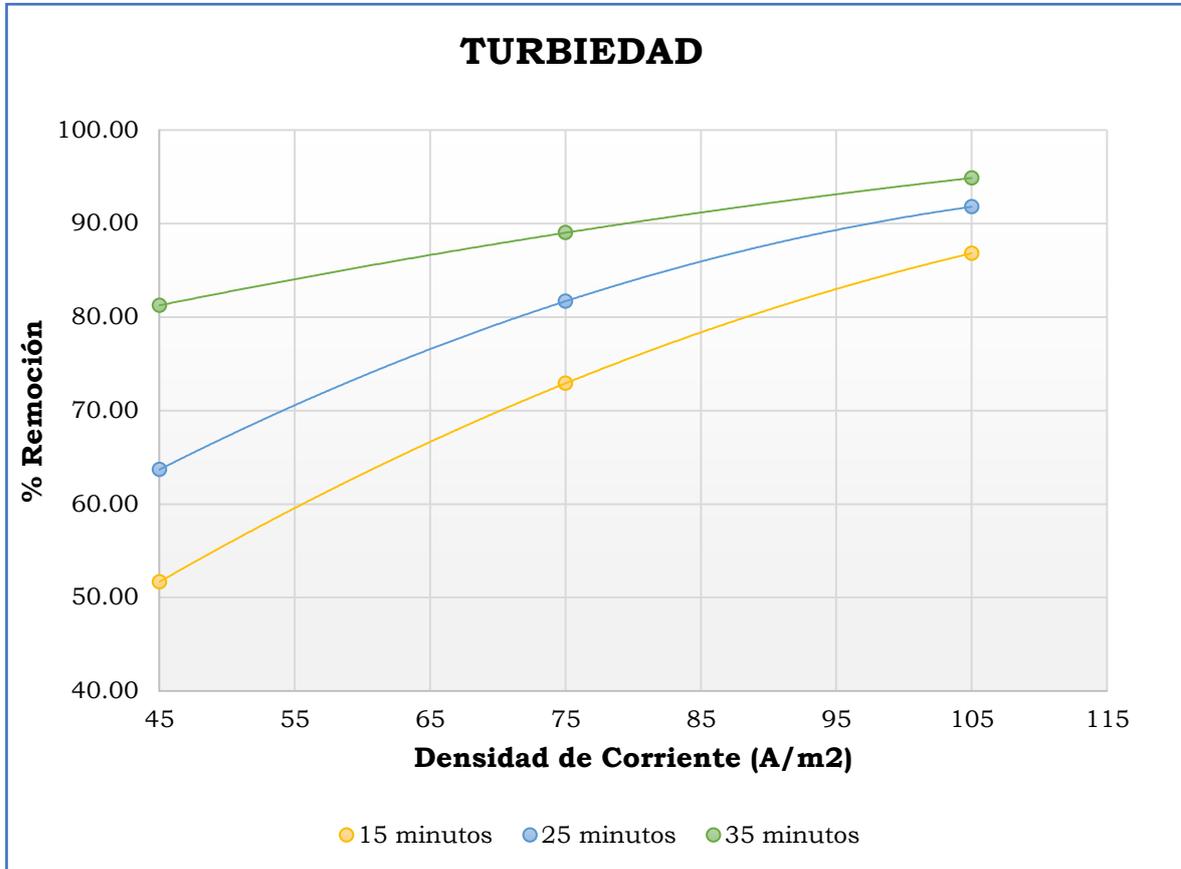


Gráfico 11. Porcentaje de 2da Replica - Turbiedad

Tercera Replica – Turbiedad

Tabla 18. Concentración y Porcentaje de 2da Replica – Turbiedad

| DENSIDAD DE CORRIENTE | TIEMPO | | |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| | 15 minutos | 25 minutos | 35 minutos |
| D ₁ = 45 A/m ² | 539 | 402 | 240 |
| | 23.11% | 42.65% | 65.76% |
| D ₂ = 75 A/m ² | 283 | 211 | 120 |
| | 59.63% | 69.90% | 82.88% |
| D ₃ = 105 A/m ² | 120 | 86 | 32 |
| | 82.88% | 87.73% | 95.44% |

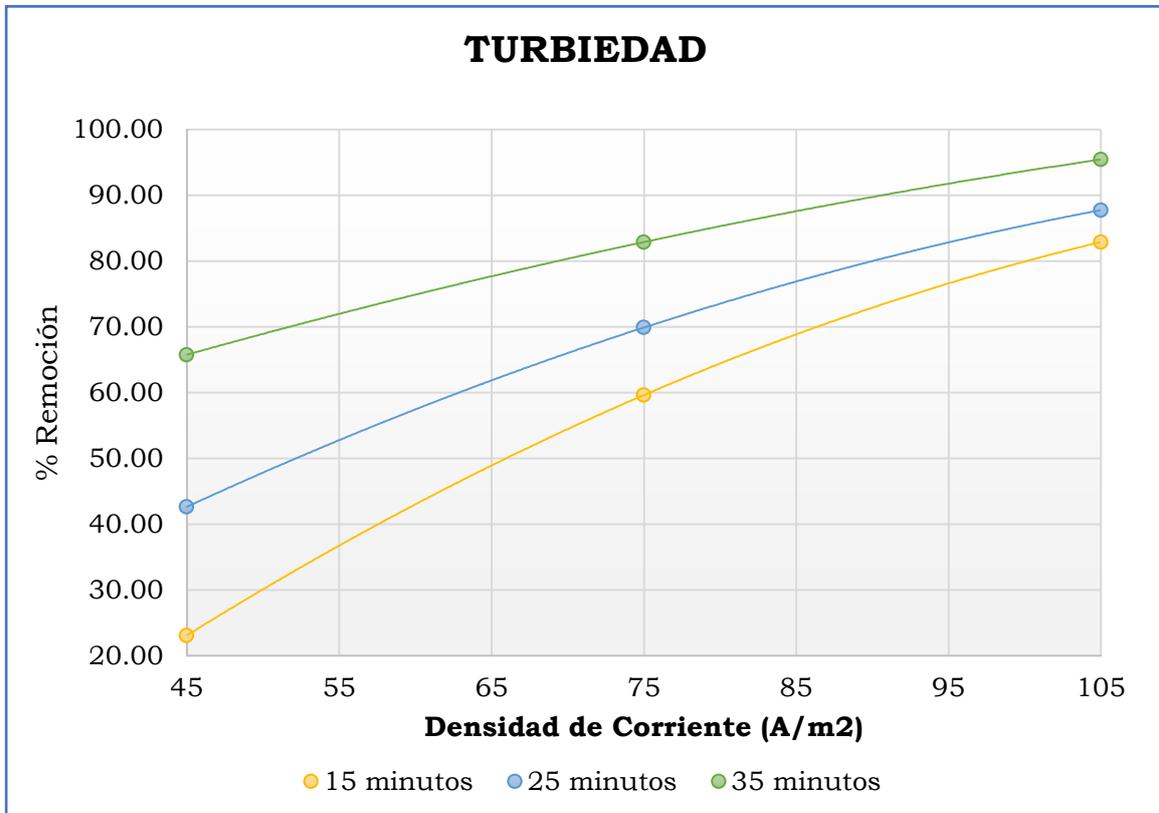


Gráfico 12. Porcentaje de Remoción de 3ra Replica – Turbiedad

Anexo 7. Análisis de Promedio y Remoción de DQO y Turbiedad

Tabla 19. Porcentaje de Remoción de DQO

| No. | Densidad de corriente | Tiempo (min) | promedio | % de Remoción |
|-----|--------------------------------------|---------------------|----------|---------------|
| 1 | D ₁ = 45 A/m ² | T ₁ = 15 | 615 | 51.34 |
| 2 | | T ₂ = 25 | 503.3 | 60.18 |
| 3 | | T ₃ = 35 | 389 | 69.22 |
| 4 | D ₂ = 75 A/m ² | T ₁ = 15 | 457.3 | 63.82 |
| 5 | | T ₂ = 25 | 334.3 | 73.55 |
| 6 | | T ₃ = 35 | 262.3 | 79.25 |

| | | | | |
|----------|---------------------------|------------|-------|-------|
| 7 | | $T_1 = 15$ | 242.3 | 80.83 |
| 8 | $D_3 = 105 \text{ A/m}^2$ | $T_2 = 25$ | 171.3 | 86.45 |
| 9 | | $T_3 = 35$ | 127 | 89.95 |

Tabla 20. Porcentaje de Remoción de Turbiedad

| No. | Densidad de corriente | Tiempo (min) | promedio | % de Remoción |
|------------|------------------------------|---------------------|-----------------|----------------------|
| 1 | | $T_1 = 15$ | 405 | 40.70 |
| 2 | $D_1 = 45 \text{ A/m}^2$ | $T_2 = 25$ | 306 | 55.15 |
| 3 | | $T_3 = 35$ | 194 | 71.55 |
| 4 | | $T_1 = 15$ | 214 | 68.62 |
| 5 | $D_2 = 75 \text{ A/m}^2$ | $T_2 = 25$ | 160 | 76.62 |
| 6 | | $T_3 = 35$ | 96 | 85.94 |
| 7 | | $T_1 = 15$ | 100 | 85.41 |
| 8 | $D_3 = 105 \text{ A/m}^2$ | $T_2 = 25$ | 63 | 90.82 |
| 9 | | $T_3 = 35$ | 32 | 95.27 |

Anexo 8. Pruebas estadísticas de normalidad

H₀: El porcentaje de remoción del DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación según la densidad de corriente siguen una distribución normal.

H₁: El porcentaje de remoción del DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación según la densidad de corriente no siguen una distribución normal.

| Variables | Densidad de corriente | Shapiro-Wilk | | |
|----------------------|-----------------------|--------------|----|------|
| | | Estadístico | gl | Sig. |
| % Remoción DQO | 45 | ,934 | 9 | ,521 |
| | 75 | ,951 | 9 | ,702 |
| | 105 | ,901 | 9 | ,255 |
| % Remoción Turbiedad | 45 | ,965 | 9 | ,852 |
| | 75 | ,960 | 9 | ,797 |
| | 105 | ,897 | 9 | ,235 |

Tabla 21. Prueba de normalidad de densidad de Corriente

H₀: El porcentaje de remoción del DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación según tiempo de electrocoagulación siguen una distribución normal.

H₁: El porcentaje de remoción del DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación según tiempo de electrocoagulación siguen una distribución normal.

Tabla 22. Prueba de Normalidad del tiempo

| Variables | Tiempo | Shapiro-Wilk | | |
|----------------|--------|--------------|----|------|
| | | Estadístico | gl | Sig. |
| % Remoción DQO | 15 | ,957 | 9 | ,765 |
| | 25 | ,965 | 9 | ,850 |
| | 35 | ,896 | 9 | ,229 |
| % Remoción | 15 | ,905 | 9 | ,280 |

| | | | | |
|-----------|----|------|---|------|
| Turbiedad | 25 | ,935 | 9 | ,531 |
| | 35 | ,878 | 9 | ,149 |

Prueba de Homogeneidad

H₀: La variabilidad del porcentaje de remoción del DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación en la densidad de corriente y tiempo de electrocoagulación son homogéneos.

H₁: La variabilidad del porcentaje de remoción del DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación en la densidad de corriente y tiempo de electrocoagulación no son homogéneos.

Tabla 23. Prueba de Homogeneidad

| Variables | F | df1 | df2 | Sig. |
|----------------------|-------|-----|-----|------|
| % Remoción DQO | 1,453 | 8 | 18 | ,242 |
| % Remoción Turbiedad | 2,335 | 8 | 18 | ,092 |

Interpretación

Prueba no significativa $P > 0.05$.

Por lo tanto: la variabilidad del porcentaje de remoción del Demanda Química de Oxígeno y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación de Ascope en la densidad de corriente y tiempo de electrocoagulación son homogéneos.

Prueba de Análisis de Multi - Varianza

H₀: No existen diferencias significativas entre los niveles de la densidad de corriente y tiempo de tratamiento de la electrocoagulación sobre la DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación.

H₁: existen diferencias significativas entre los niveles de la densidad de corriente y tiempo de tratamiento de la electrocoagulación sobre la DQO y turbiedad del efluente de la laguna de oxidación.

| ORIGEN | VARIABLE DEPENDIENTE | TIPO III DE SUMA DE CUADRADOS | GL | MEDIA CUADRÁTICA | F | SIG. |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------------|----|------------------|---------|------|
| Modelo corregido | % Remoción DQO | 3892,076 ^a | 8 | 486,509 | 5,401 | ,000 |
| | % Remoción Turbiedad | 7396,439 ^b | 8 | 924,555 | 14,558 | ,000 |
| Intersección | % Remoción DQO | 143327,278 | 1 | 143327,2 | 1591,05 | ,000 |
| | % Remoción Turbiedad | 150583,258 | 1 | 150583,258 | 2371,09 | ,000 |
| Densidad de corriente | % Remoción DQO | 2912,933 | 2 | 1456,467 | 16,168 | ,000 |
| | % Remoción Turbiedad | 5411,792 | 2 | 2705,896 | 42,607 | ,000 |
| Tiempo | % Remoción DQO | 912,287 | 2 | 456,143 | 5,064 | ,018 |
| | % Remoción de Turbiedad | 1650,677 | 2 | 825,339 | 12,996 | ,000 |
| Densidad * Tiempo | % Remoción DQO | 66,855 | 4 | 16,714 | ,186 | ,943 |
| | % Remoción Turbiedad | 333,969 | 4 | 83,492 | 1,315 | ,302 |
| Error | % Remoción DQO | 1621,502 | 18 | 90,083 | | |
| | % Remoción Turbiedad | 1143,140 | 18 | 63,508 | | |
| Total | % Remoción DQO | 148840,855 | 27 | | | |
| | % Remoción Turbiedad | 159122,838 | 27 | | | |
| Total, | % Remoción DQO | 5513,577 | 26 | | | |

| | | | |
|-----------|-------------------------|----------|----|
| corregido | % Remoción Turbiedad | 8539,579 | 26 |
|-----------|-------------------------|----------|----|

Tabla 24. Prueba de MANOVA

R al cuadrado = ,706 (R al cuadrado ajustada = ,575)

R al cuadrado = ,866 (R al cuadrado ajustada = ,807)

Pruebas de Post hoc

| Variable Dependiente | (I) Densidad de corriente | (J) Densidad de corriente | Diferencia de medias (I-J) | Error Str. | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | | |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|------------|------|-------------------------------|-------------|-------|
| | | | | | | Límite inferior | Límite Sup. | |
| % Remoción DQO | 45A/m ² | 75A/m ² | -11.96* | 4.47 | ,039 | -23.38 | -.54 | |
| | | 105A/m ² | -25.42 | 4.47 | ,000 | -36.84 | -14.00 | |
| | 75A/m ² | 45A/m ² | 11.96* | 4.47 | ,039 | .54 | 23.38 | |
| | | 105A/m ² | -13.46* | 4.47 | ,020 | -24.81 | -2.04 | |
| | 105A/m ² | 45A/m ² | 25.42* | 4.47 | ,000 | 14.00 | 36.84 | |
| | | 75A/m ² | 13.46* | 4.47 | ,020 | 2.04 | 24.88 | |
| | 45A/m ² | 75A/m ² | -11.96* | 4.47 | ,049 | -23.89 | -.03 | |
| | | 105A/m ² | -25.42* | 4.47 | ,000 | -37.35 | -13.49 | |
| | | 75A/m ² | 45A/m ² | 11.96* | 4.47 | ,049 | .03 | 23.89 |
| | | | 105A/m ² | -13.46* | 4.47 | ,026 | -25.39 | -1.53 |
| 105A/m ² | | 45A/m ² | 25.42* | 4.47 | ,000 | 13.49 | 37.35 | |
| | | 75A/m ² | 13.46* | 4.47 | ,026 | 1.53 | 25.39 | |
| % Remoción Turbiedad | 45A/m ² | 75A/m ² | -21.07* | 3.75 | ,000 | -30.66 | -11.48 | |
| | | 105A/m ² | -34.38* | 3.75 | ,000 | -43.97 | -24.80 | |
| | 75A/m ² | 45A/m ² | 21.07* | 3.75 | ,000 | 11.48 | 30.66 | |
| | | 105A/m ² | -13.31* | 3.75 | ,006 | -22.89 | -3.72 | |
| | 105A/m ² | 45A/m ² | 34.38* | 3.75 | ,000 | 24.80 | 43.97 | |
| | | 75A/m ² | 13.31* | 3.75 | ,006 | 3.72 | 22.89 | |
| | 45A/m ² | 75A/m ² | -21.07* | 3.75 | ,000 | -31.09 | -11.06 | |
| | | 105A/m ² | -34.38* | 3.75 | ,000 | -44.40 | -24.37 | |
| | | 75A/m ² | 45A/m ² | 21.07* | 3.75 | ,000 | 11.06 | 31.09 |
| | | | 105A/m ² | -13.31* | 3.75 | ,009 | -23.32 | -3.29 |
| 105A/m ² | | 45A/m ² | 34.38* | 3.75 | ,000 | 24.37 | 44.40 | |
| | | 75A/m ² | 13.31* | 3.75 | ,009 | 3.29 | 23.32 | |

Tabla 25. Prueba de post hoc de la densidad de Corriente

Interpretación

Según las pruebas de Tukey y Scheffe se comprueba que el análisis de la densidad de corriente hay diferencias significativas a 0.05, en relación a los diferentes grupos de densidades de corrientes (45, 75 y 105) en función a la DOQ y turbiedad.

Tabla 26. Prueba post hoc de Tiempo

| Variable dependiente | (I) Tiempo | (J) Tiempo | Diferencia de medias (I-J) | Error est. | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | | |
|----------------------|---------------|---------------|-------------------------------|---------------------|------|-------------------------------|-------------|-------|
| | | | | | | Límite inferior | Límite Sup. | |
| % Remoción DQO | 15 min | 25 min | -8.08 | 4.47 | ,195 | -19.50 | 3.33 | |
| | | 35 min | -14.19 [*] | 4.47 | ,014 | -25.61 | -2.77 | |
| | 25 min | 15 min | 8.08 | 4.47 | ,190 | -3.33 | 19.50 | |
| | | 35 min | -6.10 | 4.47 | ,380 | -17.52 | 5.31 | |
| | 35 min | 15 min | 14.19 [*] | 4.47 | ,004 | 2.77 | 25.61 | |
| | | 25 min | 6.10 | 4.47 | ,380 | -5.31 | 17.52 | |
| | Scheffe | 15 min | 25 min | -8.08 | 4.47 | ,223 | -20.01 | 3.84 |
| | | | 35 min | -14.19 [*] | 4.47 | ,018 | -26.12 | -2.26 |
| | | 25 min | 15 min | 8.08 | 4.47 | ,223 | -3.84 | 20.01 |
| | | | 35 min | -6.10 | 4.47 | ,412 | -18.03 | 5.82 |
| 35 min | | 15 min | 14.19 [*] | 4.47 | ,008 | 2.26 | 26.12 | |
| | | 25 min | 6.10 | 4.47 | ,412 | -5.82 | 18.03 | |
| % Remoción Turbiedad | 15 min | 25 min | -9.20 | 3.75 | ,061 | -18.79 | .38 | |
| | | 35 min | -19.14 [*] | 3.75 | ,000 | -28.73 | -9.56 | |
| | 25 min | 15 min | 9.20 | 3.75 | ,061 | -.38 | 18.79 | |
| | | 35 min | -9.94 [*] | 3.75 | ,041 | -19.52 | -.35 | |
| | 35 min | 15 min | 19.14 [*] | 3.75 | ,000 | 9.56 | 28.73 | |
| | | 25 min | 9.94 [*] | 3.75 | ,041 | .35 | 19.52 | |
| | Scheffe | 15 min | 25 min | -9.20 | 3.75 | ,075 | -19.22 | .80 |
| | | | 35 min | -19.14 [*] | 3.75 | ,000 | -29.16 | -9.13 |
| | | 25 min | 15 min | 9.20 | 3.75 | ,075 | -.80 | 19.22 |
| | | | 35 min | -9.94 | 3.75 | ,052 | -19.95 | .07 |
| 35 min | | 15 min | 19.14 [*] | 3.75 | ,000 | 9.13 | 29.16 | |
| | | 25 min | 9.94 | 3.75 | ,052 | -.07 | 19.95 | |

Interpretación

Según las pruebas de Tukey y Scheffe se comprueba que el análisis del tiempo a 35 minutos, hay diferencias significancias a 0.05, en relación a la DOQ y turbiedad.

| | | Estadísticas de la regresión | | |
|---|--|--|-------------------|---|
| Anexo 9. lineal para los de DQO y | | Coefficiente de correlación múltiple | 0.990293669 | Regresión múltiple promedios Turbiedad |
| | | Coefficiente de determinación R ² | 0.98068155 | |
| | | R ² ajustado | 0.974242067 | |
| | | Error típico | 2.045864215 | |
| | | Observaciones | 9 | |

ANÁLISIS DE VARIANZA

| Grados de libertad | | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F | Valor crítico de F |
|---------------------------|---|--------------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Regresión | 2 | 1274.854425 | 637.4272123 | 152.2919642 | 7.20969E-06 |
| Residuos | 6 | 25.11336232 | 4.185560386 | | |
| Total | 8 | 1299.967787 | | | |

Regresión lineal del % de Remoción de DQO

| | Coefficientes | Error típico | Estadístico t | Probabilidad |
|--------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Intercepción | 23.18697257 | 3.030673149 | 7.650766491 | 0.000260429 |
| Variable X 1 | 0.707190577 | 0.083522057 | 8.467111605 | 0.000148311 |
| Variable X 2 | 0.424871074 | 0.027840686 | 15.2607978 | 4.99842E-06 |

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

$$y = 23.187 + 0.7071(\text{tiempo}) + 0.4249(\text{Densidad de corriente})$$

| Observación | Pronóstico para Y | Residuos |
|--------------------|--------------------------|-----------------|
| 1 | 52.91402954 | -1.569092827 |
| 2 | 65.66016174 | -1.841596343 |
| 3 | 78.40629395 | 2.42176512 |
| 4 | 59.9859353 | 0.193389592 |

| | | |
|---|-------------|-------------|
| 5 | 72.73206751 | 0.817510549 |
| 6 | 85.47819972 | 0.966947961 |

| Estadísticas de la regresión | |
|--|-------------|
| Coefficiente de correlación múltiple | 0.970742171 |
| Coefficiente de determinación R ² | 0.942340362 |
| R ² ajustado | 0.923120483 |
| Error típico | 4.913445973 |
| Observaciones | 9 |

ANÁLISIS DE VARIANZA

| | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F | Valor crítico de F |
|-----------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------|---------------------------|
| Regresión | 2 | 2367.333817 | 1183.666909 | 49.02946298 | 0.000191697 |
| Residuos | 6 | 144.851708 | 24.14195133 | | |
| Total | 8 | 2512.185525 | | | |
| | 7 | 67.05784107 | 2.166842475 | | |
| | 8 | 79.80397328 | -0.558192686 | | |
| | 9 | 92.55010549 | -2.59757384 | | |

Los Datos establecidos en este cuadro tienen que estar relacionados con los resultados obtenidos en los análisis.

Regresión lineal del % de Remoción Turbiedad

| | Coefficientes | Error típico | Estadístico t | Probabilidad |
|--------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Intercepción | 6.900385012 | 7.278610511 | 0.94803603 | 0.37971367 |
| Variable X 1 | 0.967138442 | 0.200590592 | 4.821454648 | 0.002935716 |
| Variable X 2 | 0.578330893 | 0.066863531 | 8.649422005 | 0.000131628 |

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

$$y = 0.9671 + 0.7071(\text{tiempo}) + 0.5783(\text{Densidad de corriente})$$

ANÁLISIS DE RESIDUOS

| <i>Observación</i> | <i>Pronóstico para Y</i> | <i>Residuos</i> |
|--------------------|--------------------------|-----------------|
| 1 | 47.43235182 | -6.72956998 |
| 2 | 64.78227862 | 3.836559839 |
| 3 | 82.13220541 | 3.27531045 |
| 4 | 57.10373624 | -1.954883141 |
| 5 | 74.45366303 | 2.169079768 |
| 6 | 91.80358983 | -0.978797245 |
| 7 | 66.77512066 | 4.771975489 |
| 8 | 84.12504745 | 1.819315655 |
| 9 | 101.4749742 | -6.208990836 |

Los Datos establecidos en este cuadro tienen que estar relacionados con los resultados obtenidos en los análisis para turbiedad.

Anexo 10. Resultados según el laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO
 ACREDITADO POREL
 ORGANISMO PERUANO DE
 ACREDITACIÓN INACAL-DA
 CON REGISTRO No LE 026



INFORME DE ENSAYO

T-1330-I217-CGY

Pág. 01 de 02

CLIENTE : CAMACHO GAMEZ YESENIA YANETH
 MZ B 20 LOTE 22 MANUEL AREVALO III ETAPA

METODO DE ENSAYO : Fisico-Químico, Químico

ITEM DE ENSAYO : Agua Residual Doméstica

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : Envases de plástico
 Preservadas

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Trujillo, 15 de Setiembre de 2017
 Hora: 8:40

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Trujillo, 15 de Setiembre de 2017

MÉTODO DE ENSAYO

| Parámetro | Norma-Método | Límite de detección | Tiempo máximo de conservación recomendado/obligado |
|----------------------------|--|---------------------|--|
| Turbiedad | SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 2130, A y B, 22nd Ed, 2012 | <0.1 NTU | 48h |
| Demanda Química de Oxígeno | SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 5220, A y D, 22nd Ed, 2012 | <4.69 mg/L | 28d |

Seño fecha de Emisión jefe Administrativo Jefe del Laboratorio de Química

22/09/2017

Alexandra Aurazo
 Rodríguez

Edder Neyra Jalco
 CIP 147026

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

* Las muestras serán eliminadas al término del tiempo máximo de conservación recomendado/ obligado, salvo requerimiento expreso del cliente

* Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

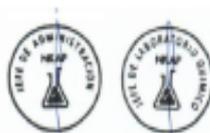

INFORME DE ENSAYO

T-1330-I217-CGY

Pág. 02 de 02

| Código de Laboratorio | T-1324-01 | T-1324-02 | T-1324-03 | T-1324-04 | T-1324-05 | | |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|
| Código de Cliente | R-V9 | A-D7 | N-D5 | V-E3 | E-E1 | | |
| Item de Ensayo | Agua Residual Doméstica | | |
| Fecha de Muestreo | 14/09/2017 | 14/09/2017 | 14/09/2017 | 14/09/2017 | 14/09/2017 | | |
| Hora de Muestreo | 9:10 | 13:11 | 13:26 | 13:39 | 14:17 | | |
| Parámetro | Símbolo | Unidad | | | | | |
| Turbiedad | - | NTU | 676 | 346 | 175 | 69 | 269 |
| Demanda Química de Oxígeno | DQO | mg/L | 1234,0 | 521,0 | 371,0 | 218,0 | 436,0 |

| Código de Laboratorio | T-1324-06 | T-1324-07 | T-1324-08 | T-1324-09 | T-1324-10 | | |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|------|
| Código de Cliente | R-V9 | A-D7 | N-D5 | V-E3 | E-E1 | | |
| Item de Ensayo | Agua Residual Doméstica | | |
| Fecha de Muestreo | 14/09/2017 | 14/09/2017 | 14/09/2017 | 14/09/2017 | 14/09/2017 | | |
| Hora de Muestreo | 14:26 | 14:50 | 15:04 | 15:19 | 15:37 | | |
| Parámetro | Símbolo | Unidad | | | | | |
| Turbiedad | - | NTU | 143 | 46 | 215 | 93 | 30 |
| Demanda Química de Oxígeno | DQO | mg/L | 230,0 | 122,0 | 261,0 | 171,0 | 89,0 |



| | | | |
|---|---------------------------|----------|---------------------|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Tecnologías limpias y/o Emergentes | REPORTE DE ENSAYOS | | PCM-LAB |
| | | | ANEXO # |
| | | | Fecha 12/01/2017 |
| | | Pág. 1-1 | |

| Datos del Muestreo | |
|-----------------------|-------------------------|
| Fecha Toma de Muestra | 22 de setiembre 2017 |
| Tipo de muestra | Agua Residual Domestica |
| Muestreador | Usuario |

| Descripción de la Muestra |
|--|
| Muestra en frascos de polietileno de 1L. |

ANÁLISIS DE AGUAS

| Determinación | Resultados | Unid | Técnica |
|-------------------------------|------------|------|---------------------|
| Sólidos totales (SST) | 1445 | mg/L | Gravimetría |
| Turbidez | 603 | NTU | Turbidimetría |
| Aceites y Grasas | 100 | mg/L | Extracción Solvente |
| Demanda Química de Oxígeno | 1263 | mg/L | Espectrofotometría |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | 1215 | mg/L | Incubación |

| | |
|-------------------------|------------------------------------|
| Validado por el Técnico | Ing. Anthony Jesús Fuentes Olivera |
|-------------------------|------------------------------------|



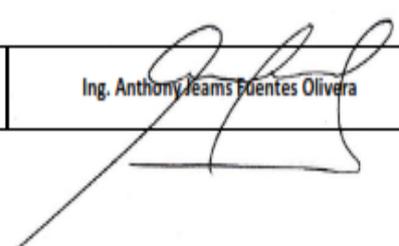
| | | | |
|---|--|---------------------------|--------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA | REPORTE DE ENSAYOS | PCM-LAB |
| | LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN | | ANEXO # Fecha 12/01/2017 |
| | Tecnologías limpias y/o Emergentes | | Pág. 1-1 |
| | | | |

| Datos del Muestreo | |
|-----------------------|-------------------------|
| Fecha Toma de Muestra | 22 de setiembre 2017 |
| Tipo de muestra | Agua Residual Domestica |
| Muestreador | Usuario |

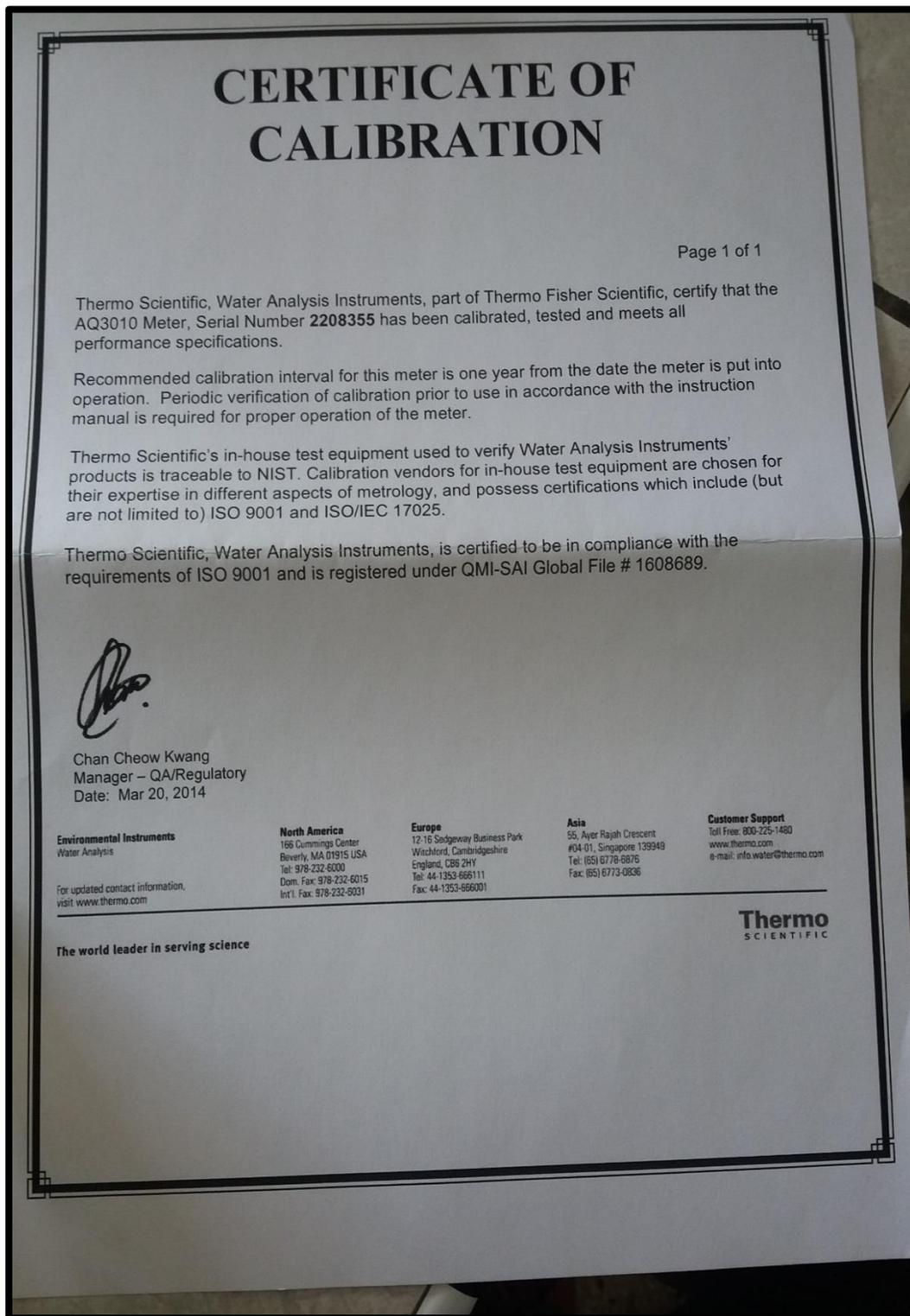
| Descripción de la Muestra |
|--|
| Muestra en frascos de polietileno de 1L. |

ANÁLISIS DE AGUAS

| Muestra | DQO (ppm) | Método | Turbidez | Método |
|---------|-----------|--------------------|----------|--------------|
| D115 | 594 | Espectrofotometría | 330 | Nefelometría |
| D125 | 429 | | 248 | |
| D135 | 276 | | 128 | |
| D215 | 403 | | 185 | |
| D225 | 277 | | 125 | |
| D235 | 164 | | 75 | |
| D315 | 185 | | 90 | |
| D325 | 89 | | 56 | |
| D335 | 82 | | 35 | |

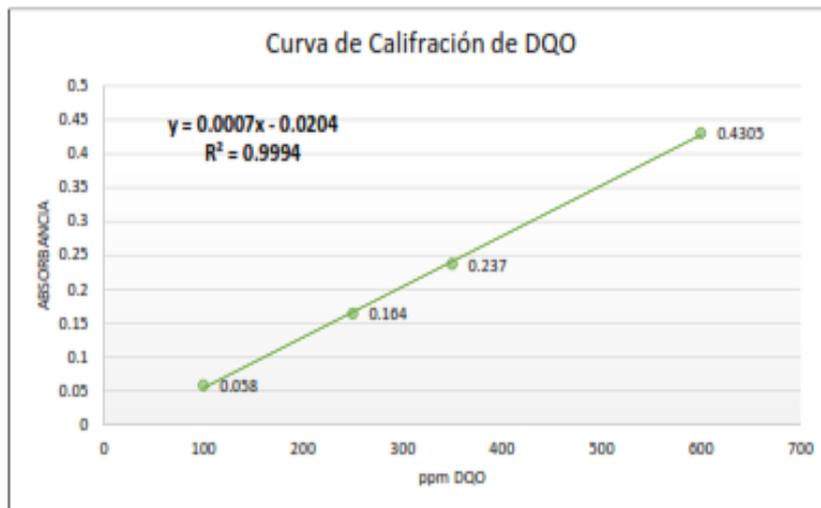
| | |
|-------------------------|--|
| Validado por el Técnico |  Ing. Anthony Jeams Fuentes Olivera |
|-------------------------|--|

Anexo 11. Calibración de los parámetros utilizados



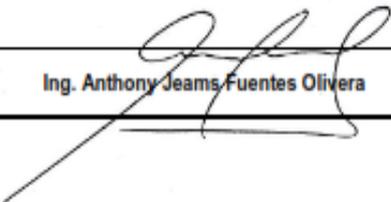
| | | |
|---|---------------------------|--------------------------------|
|  UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Tecnologías limpias y/o Emergentes | REPORTE DE ENSAYOS | PCM-LAB |
| | | ANEXO # Fecha 12/01/2017 |
| | | Pág. 1-1 |

CURVA DE CALIBRACIÓN DE DQO



| ppm DQO | ABS |
|---------|-------|
| 100 | 0.057 |
| 100 | 0.059 |
| 250 | 0.163 |
| 250 | 0.165 |
| 350 | 0.238 |
| 350 | 0.236 |
| 600 | 0.429 |
| 600 | 0.432 |

| ppm DQO | Promedio | Desviación St. | CV |
|---------|----------|----------------|-------|
| 100 | 0.058 | 0.001414214 | 2.44% |
| 250 | 0.164 | 0.001414214 | 0.86% |
| 350 | 0.237 | 0.001414214 | 0.60% |
| 600 | 0.4305 | 0.00212132 | 0.49% |

| | |
|-------------------------|--|
| Validado por el Técnico |  Ing. Anthony Jeams Fuentes Olivera |
|-------------------------|--|

