

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“TIEMPO DE TRATAMIENTO DE UN SISTEMA DE
ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA
BIOQUIMICA DE OXIGENO(DBO) Y DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO
(DQO) DE LOS EFLUENTES GENERADOS EN LA PTARI DE
AGROPECUARIA ROSSEL S.R.L.”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

JOSUE IVES CALEB NAVARRO PEZO

PUCALLPA-PERU

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS




ACTA DE APROBACION DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 147/2022-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a las 09:05 a.m. del miércoles 22 de junio de 2022, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en forma virtual, mediante la plataforma unificada de comunicación y colaboración Microsoft Teams, los mismos que estuvo designados con Memo Múltiple N.º 077-2022-UNU-FCFyA, conformado por los siguientes docentes:

Dr. David León Moreno	presidente
Dra. Julissa Katy Bautista Valencia	Miembro
Ing. M. Sc. Moisés Torres Velasco	Miembro

Se procedió a evaluar a la sustentación de la tesis denominado: **“Tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación para la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) de los efluentes generados en la PTARI de agropecuaria Rossel S.R.L.”**, presentado por el bachiller **NAVARRO PEZO, JOSUE IVES**; asesorado por la Ing. M. Sc. Gladys Elena Rojas Gutiérrez, habiendo finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por el sustentante en consecuencia la tesis fue **APROBADO POR MAYORIA Y RECOMENDACIÓN DE PUBLICACIÓN**, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**, después de las correcciones respectivas de la tesis. Siendo las 10:54 a.m. horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.


Dr. David León Moreno
Presidente


Ing. M. Sc. Moisés Torres Velasco
Miembro

ACTA DE APROBACION

La presente tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de La Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Dr. David León Moreno



Presidente

Ing. M. Sc. Moisés Torres Velasco



Miembro

Ing. Mg. Gladys Elena Rojas Gutiérrez



Asesor

Bach. Josué Ives Caleb Navarro Pezo



Tesista



CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N° V/0341-2022

La Dirección de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe final de tesis, titulado:

“TIEMPO DE TRATAMIENTO DE UN SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO) Y DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO) DE LOS EFLUENTES GENERADOS EN LA PTARI DE AGROPECUARIA ROSSEL S.R.L.”.

Autor(es) : NAVARRO PEZO, JOSUE IVES CALEB
Facultad : CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela Profesional : ING. AMBIENTAL
Asesor : M.Sc. ROJAS GUTIÉRREZ, GLADYS ELENA

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 8%**

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se firma y se sella la presente constancia.



FECHA 10/06/2022



Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACION DE TESIS

REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, JOSUE IUBS CALES NAVARRO PEZO

Autor(a) de la TESIS de pregrado titulada: ' TIEMPO DE TRATAMIENTO DE UN SISTEMA DE ELECTROCOAGULACION PARA LA REDUCCION DE LA DEMANDA BIOTICA DE OXIGENO (DBO) y DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO) DE LOS EFLUENTES GENERADOS EN LA PTARI DE AGROPECUARIO ROSSEL S.R.L. '

Sustentada el año: 2022

Con la asesoría de: ING. Mg. SC. GLADYS ELENA ROJAS GUTIERREZ

En la Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela profesional: INGENIERIA AMBIENTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL Significa que se publicará en el repositorio institucional solo la carátula, la dedicatoria y el resumen de la tesis. Esta opción solo es válida marcar si su tesis o documento presenta material patentable, para ello deberá presentar el trámite de CATI y/o INDECOP cuando se lo solicite la DGPI UNU.

TOTAL Significa que todo el contenido de la tesis y/o documento será publicada en el repositorio institucional.

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali y del Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 28/07/2022

Email: josnapezo@gmail.com

Teléfono: 913 988475

Firma: 

DNI: 72742414

www.repositorio.unu.edu.pe

repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA

El presente estudio está dedicado a Dios quien es mi guía espiritual y es quien nos otorga la sabiduría e inteligencia, a mi padre Roger Lucas Navarro Souza porque él siempre me brindó su apoyo incondicional, forjo de mí una mejor persona con valores y principios, a mi madre Ana Milka Pezo Gonzales que desde el cielo guio mi camino, a mi novia y hermano que estuvieron en los peores y mejores momentos velando por mis intereses. También este trabajo es dedicado a cada docente y amistades que me brindaron su confianza, palabras de aconsejado y sus experiencias que contribuyeron para el logro de mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Lo agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de dificultad y por brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencia y sobre todo salud y felicidad.

Le doy gracias a mi Padre Roger y por apoyarme en todo momento, por los valores que me inculcó y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y sobre todo por ser un ejemplo de vida a seguir. A la Sra. Rosita que fue como una segunda madre para mí y que me apoyo como si fuera su hijo en mi etapa universitaria.

Agradezco a la Ing. Mg. Sc. Gladys Elena Rojas Gutiérrez por todo su apoyo como asesora en este camino largo para la obtención de mi título profesional. También a mis amigos promociones de la universidad que actualmente son ingenieros y cada uno de ellos me ayudaron también en este largo proceso.

A la Universidad Nacional de Ucayali, por ser mis primeros pasos de formación profesional y el lugar donde aprendí no solo a crecer profesionalmente sino también a ser alguien con principios y valores, y también por su apoyo en el financiamiento del proyecto de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.1.1. Problema general	6
1.1.2. Problemas especifico	6
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.2.1. Objetivo general.....	7
1.2.2. Objetivos específicos	7
1.3. HIPOTESIS.....	8
1.3.1. Hipotesis alterna (Ha).....	8
1.3.2. Hipotesis nula (H0).....	8
1.4. COMPONENTES DEL ESTUDIO	8
1.4.1. Variable independiente	8
1.4.2. Variable dependiente	8
CAPITULO II.....	9
MARCO TEORICO.....	9
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	9
2.1.1. Internacional	9
2.1.2. Nacional	9
2.1.3. Regional	10

2.2. BASES TEÓRICAS.....	11
2.2.1. Aguas residuales	11
2.2.2. Aguas residuales industriales	11
2.2.3. Palma aceitera en el Perú	11
2.2.4. Contaminación por la industria de extracción de aceite de palma.....	12
2.2.5. Efluentes emitidos por la industria de extracción de aceite de palma	12
2.2.6. Tratamiento de efluentes de industria de extracción de aceite de palma. .	13
2.2.7. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	14
2.2.8. Demanda química de oxígeno (DQO)	14
2.2.9. Efluentes de Agropecuaria Rossel S.R.L.....	14
2.2.10. Sistema de electrocoagulación.....	16
2.2.11. Principios de la electrocoagulación	16
2.2.12. Teoría de la electrocoagulación	18
2.2.13. Alcance de la electrocoagulación.....	19
2.2.14. Mecanismos en el proceso de electrocoagulación	20
2.2.15. Reacciones involucradas en la electrocoagulación	20
2.2.16. Factores que afectan la electrocoagulación.....	21
2.2.17. Aplicaciones de la electrocoagulación.....	27
2.2.18. Ventajas de un sistema de electrocoagulación.....	28
2.2.19. Diseño del prototipo SETAR	28
2.2.20. VMA para los efluentes de la industria de extracción de aceite vegetal. .	30
2.3. TÉRMINOS BÁSICOS	31
CAPITULO III.....	33
METODOLOGIA.....	33
3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	33
3.1.1. Tipo de investigación.....	33
3.1.2. Diseño de investigación	33
3.2. ÁREA DE ESTUDIO.....	33
3.3. UBICACIÓN, POBLACIÓN Y MUESTRA.....	34
3.3.1. Ubicación	34
3.3.2. Población.....	34

3.3.3. Muestra	35
3.4 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
3.4.1. Antes de la Electrocoagulación	35
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	36
3.5.1. Técnicas de recolección de datos	36
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos	37
3.5.3. Procedimiento	37
3.6. PROCESAMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS	39
3.7. TRATAMIENTO DE DATOS	41
CAPITULO IV.....	42
RESULTADOS Y DISCUSION	42
4.1. RESULTADOS.....	42
4.2. DISCUSIONES.....	51
CAPITULO V.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
4.3. CONCLUSIONES	59
4.4. RECOMENDACIONES	60
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	61
ANEXOS	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de tratamientos y repeticiones.....	40
Tabla 2. Tratamiento 1 de la DBO y DQO	42
Tabla 3. Tratamiento 2 de la DBO y DQO	42
Tabla 4. Tratamiento 3 de la DBO y DQO	42
Tabla 5. Tiempo óptimo de tratamiento de la DBO y DQO mediante EC.....	44
Tabla 6. Comportamiento de la DBO según el tiempo de tratamiento de EC..	45
Tabla 7. Comportamiento de la DQO según el tiempo de tratamiento de EC.	46
Tabla 8. Comportamiento del pH según el tiempo de tratamiento de EC.....	47
Tabla 9. Comportamiento de la temperatura según el tiempo de tratamiento de EC.....	48
Tabla 10. Comportamiento de la conductividad según el tiempo de tratamiento de EC.	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la extracción de aceite de palma.	16
Figura 2. Electrodisolución de un metal en la electrocoagulación	17
Figura 3. Esquema del proceso de electrocoagulación.	18
Figura 4. Sistema de EC con ánodo de aluminio y cátodo de fierro.....	19
Figura 5. Mecanismo de electrocoagulación.	20
Figura 6. VMA para efluentes del procesamiento de aceite vegetal.	30
Figura 7. Mapa de ubicación de Agropecuaria Rossel S.R.L.	34
Figura 8. Extracción de 750 L de efluentes y prototipo SETAR.	36
Figura 9. Limpieza de celdas electroquímicas.	38
Figura 10. Estructura de los reactores del Prototipo SETAR	40
Figura 11. Comparación de los tratamientos para DBO.....	43
Figura 12. Comparación de los tratamientos para la DQO.....	43
Figura 13. Tiempo de electrocoagulación vs DBO de efluente de PTARI.....	46
Figura 14. Tiempo de electrocoagulación vs DQO del efluente de PTARI.	47
Figura 15. Tiempo de electrocoagulación vs PH de efluente de PTARI.....	48
Figura 16. Tiempo de electrocoagulación vs T° de efluente de PTARI.....	49
Figura 17. Tiempo de electrocoagulación vs Conductividad de efluente.....	51
Figura 18. Comparación del comportamiento de la DBO	55
Figura 19. Comparación del comportamiento de la DQO.	58
Figura 20. Operacionalización de las variables	66
Figura 21. Cadena de custodia para DQO formato 1.....	67
Figura 22. Cadena de custodia para DQO formato 2.....	67

Figura 23. Cadena de custodia para DQO formato 3.....	67
Figura 24. Cadena de custodia para DBO formato 1.....	68
Figura 25. Cadena de custodia para DBO formato 2.....	68
Figura 26. Cadena de custodia para DBO formato 3.....	68
Figura 27. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 1 de 7)	69
Figura 28. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 2 de 7)	69
Figura 29. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 3 de 7)	70
Figura 30. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 4 de 7)	70
Figura 31. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 5 de 7)	71
Figura 32. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 6 de 7)	71
Figura 33. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 7 de 7)	72
Figura 34. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 1 de 7)	72
Figura 35. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 2 de 7)	73
Figura 36. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 3 de 7)	73
Figura 37. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 4 de 7)	74
Figura 38. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 5 de 7)	74
Figura 39. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 6 de 7)	75
Figura 40. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 7 de 7)	75
Figura 41. Análisis descriptivo de la DBO, DQO, PH, Temperatura y Conductividad ..	76
Figura 42. Formato de recolección de datos para parámetros de campo.....	77
Figura 43. Limpieza de celdas electroquímicas.....	77
Figura 44. Celdas electroquímicas limpias y ajuste de conexiones.....	78
Figura 45. Llenado de efluente pre tratado a tanque de 1100 L.	78

Figura 46. Ingreso de tanque a laboratorio.	79
Figura 47. Armado de tanque de captación del Prototipo SETAR.....	79
Figura 48. Envases para muestras y su Limpieza de envases de muestra	80
Figura 49. Llenado de reactores electroquímicos	80
Figura 50. Electrocoagulación en curso.....	81
Figura 51. Monitoreo de amperaje y recolección de datos de campo.....	81
Figura 52. Adición de conservante para muestras de DQO.....	82
Figura 53. Muestra de aguas tratadas para análisis de laboratorio	83
Figura 54. Muestras de totales de DBO y DQO para análisis de laboratorio	83

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación (prototipo SETAR) en su aplicación de las aguas residuales pre tratadas de la empresa Agropecuaria Rossel S.R.L., una empresa que se dedica a la extracción y refinado del aceite crudo de palma (*Elaeis guineensis*). El tipo de investigación según su carácter es de tipo aplicada y según su naturaleza es cuantitativa, la población estuvo constituida por los efluentes tratados ubicados en la cuarta laguna de oxidación de 815 m², coordenadas 501016 E y 9049103 N, y la muestra de 750 litros del agua en mención. Se evaluó la concentración inicial de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), además de parámetros de campo como PH, Temperatura y conductividad. Mediante la aplicación de electrodos de aluminio, un tiempo de tratamiento de 35 y un voltaje de 12 V. Se determinó que el tiempo óptimo de electrocoagulación del prototipo SETAR es de 20 minutos con una importante remoción para los parámetros estudiados, siendo de 98% para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) con valor de 40 mg/L y, 98% para la demanda química de oxígeno (DQO) con valor de 73 mg/L. Parámetros que están dentro de los valores máximos admisibles establecidos en la guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para efluentes del procesamiento de aceite vegetal establecidos por el Banco Mundial en el 2015.

Palabras claves: Electrocoagulación, efluentes de PTARI, voltaje, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO).

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the treatment time of an electrocoagulation system (SETAR prototype) in its application of pre-treated wastewater from the company Agropecuaria Rossel S.R.L., a company dedicated to the extraction and refining of crude oil from palm (*Elaeis guineensis*). The type of research according to its character is applied and according to its nature it is quantitative, the population was constituted by the treated effluents located in the fourth oxidation lagoon of 815 m², coordinates 501016 E and 9049103 N, and the sample of 750 liters of the water in question. The initial concentration of the Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) was evaluated, as well as field parameters such as PH, Temperature and conductivity. Through the application of aluminum electrodes, a treatment time of 35 and a voltage of 12 V. It was determined that the optimal electrocoagulation time of the SETAR prototype is 20 minutes with an important removal for the parameters studied, being 98% for the biochemical oxygen demand (BOD) with a value of 40 mg/L and, 98% for the chemical oxygen demand (COD) with a value of 73 mg/L. Parameters that are within the maximum allowable values established in the guide on environment, health and safety for effluents from vegetable oil processing established by the World Bank in 2015

Keywords: Electrocoagulation, WWTP effluents, voltage, biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD).

INTRODUCCION

Toda operación y proceso en la industria requiere del manejo del líquido vital del medio ambiente, y con esto es muy difícil no crear cambios en las bondades de la misma. El nivel de contaminación depende de la industria y de igual manera la naturaleza del tratamiento demandado para restituir parte de las propiedades originales. (Villacorta & Rios, 2019).

El crecimiento del cultivo de palma aceitera se ha constituido como una de las actividades agrarias con mayor crecimiento y potencial en la Amazonía peruana en los últimos años. El procesamiento del aceite de palma constituye una industria que genera grandes cantidades de desechos líquidos, con un alto impacto al medio ambiente, los efluentes que se generan son sustancias que requieren de un tratamiento especial (DGCA, 2012).

Los efluentes generados en las plantas extractoras de aceite de palma representan un grave problema de contaminación por el alto contenido de sustancias orgánicas (Diaz & Vega, 2013). Serios problemas ambientales se pueden originar si los desechos generados se continúan multiplicando y salen sin control o tratamiento alguno (Azniidris & Aukay, 1995).

El mantener un equilibrio entre la Industria y el medio ambiente es fundamental. Más aún si los residuos generados sea solido líquido y gaseoso sea dispuestos en la misma naturaleza. El efluente de la extracción de aceite vegetal está comprobado que son altamente contaminantes por la cantidad de carga orgánica que presenta. Y es una realidad que en la actualidad existen tratamientos para reducir estos parámetros. Sin embargo, la Empresa Agropecuaria Rossel cuenta con lagunas de oxidación eficaces para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, pero que en sus efluentes persisten contaminantes coloidales, y que parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) siguen excediéndose de los valores máximos admisibles.

El tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación es una alternativa que reduce o remueve contaminantes en un medio acuoso, mediante el paso de una corriente eléctrica a través de electrodos de hierro o aluminio, generando de forma electroquímica iones coagulantes en el ánodo que desestabilizan los contaminantes, para luego formar flóculos que sedimentan o flotan. (Mollah, y otros, 2004)

La presente investigación tiene como finalidad tener a la electrocoagulación como una de las alternativas considerables para el post tratamiento de efluentes de PTARI producidas en la industria de extracción de aceite de palma y así reducir a un mínimo los parámetros que evalúan la contaminación de estas aguas industriales.

En este sentido nos planteamos la siguiente pregunta: ¿Qué tiempo necesita un Sistema de Electrocoagulación para reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L.?; Teniendo como hipótesis “El tiempo de tratamiento el Sistema de Electrocoagulación influye en la concentración de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y Demanda química de oxígeno (DQO) de los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L.

Este estudio pretende determinar el tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación para la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L.; Con los resultados de esta investigación se podrá tener datos que ayuden a otras investigaciones o estudios enfocados en la electrocoagulación de las aguas residuales de este rubro ya que la información es un poco escasa acerca de este tema.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación unos 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas. Se estima que la producción global de aguas residuales es aproximadamente 1,500 km³. (UNESCO, 2003) citado por (Villacorta & Rios, 2019).

La industria de la palma de aceite es un negocio agrícola importante en países en desarrollo como Malasia, Indonesia, Tailandia, Nigeria y Colombia. El aceite de palma es el aceite vegetal más producido en el mundo. (FEDEPALMA, 2010). Según la DGCA (2012), el cultivo de palma aceitera en la amazonia peruana como actividad agraria en los últimos años tuvo un crecimiento con mayor potencial.

Las operaciones unitarias de la extracción de aceite de palma demandan gran cantidad de agua generando así, un importante efluente de líquido residual, caracterizado por una alta concentración de materia orgánica, grasas, aceites y sólidos totales, que al ser descargados directamente al ambiente generan un alto impacto negativo (Narvaez, 2015). Las plantas extractoras de aceite de palma están ubicadas principalmente cerca de ríos, debido a que se requieren grandes cantidades de agua para su operación. (Azniidris & Aukay, 1995). Estos efluentes presentan concentraciones de DQO de 60.000 mg/L, DBO de 30.000 mg/L y SS de 25.000 ppm; ricos en potasio (Diaz & Vega, 2013).

Según Del Angel (1994), Conocer el valor del Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) en los efluentes industriales es muy importante ya que

ambos reflejan el poder contaminante de las aguas residuales que terminan siendo enviadas a quebradas, ríos, etc.

Desde décadas de 1970 en Malasia se viene dando el manejo de los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma, a través de biodigestores que generan subproductos (biogás, biol y biosol). (Vazques, 2017). Los sistemas para el tratamiento de estos efluentes convencionalmente se emplean en el Perú son: el sistema de lagunas de oxidación, biodigestores de tanque abierto, sistemas de aireación extendida, al igual que un digestor anaeróbico cerrado tratados. (DGCA, 2012)

Una opción técnica, ambientalmente sostenible y de escasa utilidad en la purificación de las aguas residuales, es la electrocoagulación (EC), que no usa productos químicos para el tratar el efluente líquido, solo se usa corriente continua a través de electrodos inmersos en el agua residual. Los electrodos realizan el trabajo de mineralizar contaminantes presentes, lo que hace posible la formación de cationes en el agua que trabajan como agentes coagulantes del tipo hidróxidos poliméricos mediante la electrólisis (Comninellis & Chen, 2010).

“Esta técnica es una opción que ofrece una salida a la remoción de metales, sólidos coloidales y partículas, y los contaminantes inorgánicos que se diluyen en agua mediante la introducción de hidróxidos de metales en el medio acuoso” (Mollah, Yousuf, Schennach, Parga, & Cocke, 2001)

El Lugar elegido para el estudio, fue Agropecuaria Rossel S.R.L, dedicado a la extracción de aceite vegetal de palma, refinación y envasado del producto; Se ha identificado que algunos de sus parámetros de los efluentes producidos en su PTARI aún siguen superando en gran medida los Valores Máximos Admisibles, entre ellos la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la Demanda química de oxígeno (DQO), según La Carta N°01077-2020-OEFA- DSAP.

Entre las diferentes causas que pueden estar generando este problema se ha detectado es que el tratamiento que realizan sus lagunas no remueve todo el material coloidal contaminante, y por ende se necesita un post-tratamiento.

Los efectos que pueden causar este problema son muchas, entre la que se ha detectado están, el impacto ambiental que ocasionan al verterlo en el cuerpo de agua, contaminación ambiental, posible denuncia por parte de los pobladores aledaños al cuerpo de agua receptor y también debemos de considerar posible multa o cierre a la empresa.

Por ello la presente investigación pretende solucionar el problema a través de la aplicación del sistema de electrocoagulación como alternativa de post tratamiento al Efluente producido por la PTARI de Agropecuaria Rossel S.R.L.

1.1.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Problema general

¿Qué tiempo necesita un Sistema de Electrocoagulación para reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L.?

1.1.2. Problemas específico

¿Cuál es el comportamiento de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del efluente generado en la PTARI de Agropecuaria Rossel S.R.L. según el tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación?

¿Cuál es el comportamiento de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente generado en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L. según el tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación?

1.2.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Determinar el tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación para la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L

1.2.2. Objetivos específicos

Determinar el comportamiento de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del efluente generado en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L. según el tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación.

Determinar el comportamiento de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente generado en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L. según el tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación.

1.3.HIPOTESIS

1.3.1. Hipotesis alterna (Ha)

El tiempo de tratamiento del Sistema de Electrocoagulación influye en la concentración de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y Demanda química de oxígeno (DQO) del efluente generado en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L

1.3.2. Hipotesis nula (H0)

El tiempo de tratamiento del Sistema de Electrocoagulación no influye en la concentración de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y Demanda química de oxígeno (DQO) del efluente generado en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L

1.4.COMPONENTES DEL ESTUDIO

1.4.1. Variable independiente

[X1] = Tiempo de tratamiento en el Sistema de electrocoagulación

1.4.2. Variable dependiente

[Y1] = Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del Efluente generados en la PTARI Agropecuaria Rossel S.R.L.

[Y2] = Demanda química de oxígeno (DQO) del Efluente generado en la PTARI Agropecuaria Rossel S.R.L.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. Internacional

Según Arias (2021), refiere Según los resultados de su investigación que la semilla de moringa (*Moringa oleífera*) tiene un mayor rango de efectividad a diferencia de los demás tratamientos (Semilla de piñón y semilla de piñón con semilla de moringa), ya que redujo al DBO de 470 mg/l a 278.33 mg/l y al DQO de 461.04 mg/l a 296.95 mg/l, en 12 horas de tratamiento, teniendo un rango de efectividad de 35,5 % en el DQO, 41 % en el DBO.

Según Rodríguez, et al (2019), refiere que la eficacia de la aplicación del policloruro de aluminio (PAC) en comparación con el sulfato de aluminio, con respecto al DQO que tenía una concentración inicial de 4111,20 mg/L y la aplicación de una dosis optima de 3963 mg/l de PAC y con un tiempo de tratamiento de 62 minutos se logró una reducción de 1191.09 mg/L, logrando estar dentro de los LMP de su legislación.

Según Cardona & Monsalve (2014), refiere que la aplicación de la electrocoagulación en la industria papelera presenta una remoción significativa en la disminución de la concentración inicial de DQO de 7075.9 mg/L hasta 2054.2 mg/L, con un tiempo de 10 minutos y 15 V de energía eléctrica, teniendo una eficiencia de remoción de un 69%.

2.1.2. Nacional

Según Morales (2018), refiere que la electrocoagulación aplicada a estos efluentes del sector lácteo remueve un gran porcentaje de contaminantes. Usando ánodos de aluminio con un tiempo óptimo de 25 minutos y una intensidad de corriente de 9 A, se logró reducir en DQO de 2860 mg/L a 704 mg/L permitiendo tener un porcentaje de remoción del 75.38%.

Según Perez & Rodriguez (2015), refiere que la aplicación de electrocoagulación a 2 L de lactosuero **ácido** para la remoción de la DQO y DBO, usando electrodos de aluminio y hierro en 30 minutos y 10 V de energía eléctrica, teniendo un efecto de reducción de 2761,23 hasta 210,47 mg/L para la DQO y 1991,51 hasta 100,70 mg/L para la DBO.

Según Macedo & Zavala (2021), Refiere que para la aplicación de la electrocoagulación para tratar el agua residual industrial orgánica de la extracción de aceite de palma aceitera Oleaginosas Del Perú S.A., usando electrodos de aluminio en 60 min y 24 v de energía eléctrica, para los parámetros como DBO y DQO; se logró disminuir de 2385 mg/L a 150 mg/L para DBO y de 6517 mg/L a 175 mg/L para DQO, con una eficiencia del 94% para DBO y 97% para DQO

2.1.3. Regional

Según Villacorta & Rios (2019), refieren que la aplicación de la electrocoagulación en aguas residuales de la industria de curtiembre de piel de piache (*Arapaima gigas*) es adecuado y que su calidad agua es óptima en algunos parámetros. Con un tiempo óptimo de 20 minutos de tratamiento redujo en los siguientes valores: DBO de 1933 mg/L a 674 mg/L y DQO de 7547 O₂mg/L a 2657.52 mg/L.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales, también llamadas aguas negras, son una mezcla compleja que contiene agua por lo común más de 99% mezclada con contaminantes orgánico e inorgánico tanto en suspensión como disueltos. La concentración de estos contaminantes normalmente es muy pequeña, y se expresa en mg/L, esto es, miligramos de contaminante por litro de la mezcla. Esta es una relación de peso/volumen que se emplea para indicar componentes en el agua, aguas residuales, desperdicios industriales y otras soluciones diluidas. (Romero, 1999) citado por (Villacorta & Rios, 2019)

2.2.2. Aguas residuales industriales

De acuerdo a Espigares & Perez (s.f.), Las aguas residuales industriales las constituyen los desechos líquidos provenientes de una industria u organización que manufacture cualquier variedad de material o artículo sometido a oferta y demanda en el mercado y son diferentes de las aguas de suministros utilizadas por el establecimiento en sus procesos de producción.

2.2.3. Palma aceitera en el Perú

La palma aceitera es un cultivo en expansión, tanto en el mundo como en el Perú. El año 2001 se publicó el plan nacional de palma aceitera 2000 - 2010 (MINAG, 2001), y se presentó la situación del cultivo a julio del 2000 como línea de base. El total acumulado de hectáreas sembradas al año 2000 era 14,667. De acuerdo con estimados de la oficina de estudios económicos y estadísticos del Ministerio de Agricultura - MINAG, para el 2008 ya existían 35.379 hectáreas de palma, y este número alcanzó las 44.396 hectáreas para el 2010 y actualmente se estima que existen 50,000 hectáreas de palma en el Perú (DGCA, 2012). La hectárea de palma produce 25 a

30 toneladas de racimos de frutos frescos (RFF) y requiere de una inversión de dos mil quinientos a tres mil dólares. La recuperación del monto se inicia al tercer año y para el quinto la inversión está prácticamente recuperada. La palma aceitera permite obtener dos subproductos atractivos en los mercados: el aceite puro de palma y el palmiste. Del primer producto se tiene desde 16 a 24% de extracción por hectárea y 3.5% en el caso del palmiste, insumo especial que sirve para la elaboración de aceites especiales utilizados por la industria cosmética (DGCA, 2012)

2.2.4. Contaminación por la industria de extracción de aceite de palma

La industria de extracción de aceite vegetal de palma utiliza agua potable para la elaboración de sus productos, y es imprescindible ya que debe estar en condiciones muy buenas, es decir, que tenga una calidad para ser usada en sus procesos. Después de que el agua es usada en un proceso industrial, esta queda con abundante contaminación, las aguas residuales, conocidas también como efluentes industriales, pueden diferir tanto en sus parámetros, así como en sus concentraciones, dependiendo del enfoque o visión de la industria. (Vidales, 2010).

Por ello se ha exigido a los empresarios que sus industrias cuenten con planta de tratamiento de aguas para disminuir en parte dicha contaminación que depende no sólo de sus características comunes, sino que además pueden ser evaluados por parámetros de medición tales como la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), mismos que evalúan contenidos de sustancias orgánicas e inorgánicas, donde los contaminantes que más problemas causan en el tratamiento de aguas residuales, son las grasas y aceites. (Vidales, 2010)

2.2.5. Efluentes líquidos emitidos por la industria de extracción de aceite de palma

Los efluentes líquidos se los considera más significativos debido a su cantidad, por ejemplo, en 2010, 421 extractoras de aceite de palma en Malasia generaron aproximadamente 60 millones de toneladas de efluente de la extracción de aceite de palma conocido como (POME).

POME es un efluente que se genera al final de la fase de producción de aceite de palma, incluyen aceite residual y sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos inertes causan turbidez y sedimentación en el fondo. Las aguas residuales tienen grandes cantidades de materia orgánica y sólidos totales. (Pechsuth, Prasertsan, & Ukita, 2001)

El POME se forma principalmente en la extracción de aceite, lavado y procesos de limpieza en la extractora, en la esterilización, clarificación, condensación, lavado de la fruta, hidrociclón, caldera, tanques y decantadores. Principalmente se da en la esterilización y el clarificado aproximadamente de 1 a 1.5 toneladas de agua son requeridas para procesar 1 tonelada de RFF3 (Racimos de Fruta Fresca). (Wang, Hung, Lo, & Yapijakis, 2007)

2.2.6. Tratamiento de efluentes de la industria de extracción de aceite de palma.

Lagunas de oxidación. Las lagunas de oxidación son lugares de almacenamiento de aguas residuales, relativamente grandes y de poca profundidad, provistas de estructuras en tierra abiertas al sol y al aire y cuyo fin es el de lograr el tratamiento de las aguas residuales a través de procesos naturales, pero controlados (METCALF, 1985)

La laguna de oxidación es aparentemente un método simple de tratamiento de las aguas residuales pero los mecanismos de purificación involucrados son complejos. Estos involucran procesos de sedimentación, digestión, oxidación, síntesis, fotosíntesis, respiración endógena, intercambio de gases, aireación, evaporación, corrientes térmicas y filtración, Rolim (2000) citado por (CORREA, 2008)

Biodigestor. El biodigestor es una alternativa sencilla y práctica que sirve para aprovechar los residuos orgánicos que se producen en las fincas y otras actividades. Este proceso permite convertir el estiércol de los animales y algunos rastrojos de cosechas en gas metano para cocinar y en abonos para cultivos, contribuyendo en la economía familiar, al bajar los costos de producción

mejorando el ambiente. Existen diferentes tipos de biodigestores y varían según los desechos a tratar, condiciones del terreno, entre otros. (Dagoberto, 2005)

2.2.7. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, es la cantidad de oxígeno en mg/l necesaria para descomponer la materia orgánica presente mediante acción de los microorganismos aerobios presentes en el agua. Normalmente se emplea la DBO5, que mide el oxígeno consumido por los microorganismos en cinco días. Resulta el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado. (HANNA, 2005)

2.2.8. Demanda química de oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno, DQO, es la cantidad de oxígeno en mg/l consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en un agua. Se emplean oxidantes químicos, como el dicromato de potásico. Tal y como hemos dicho, el ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. (HANNA, 2005)

2.2.9. Efluentes de Agropecuaria Rossel S.R.L

Según el “Programa de adecuación ambiental de Agropecuaria Rossel SRL 2020” Agropecuaria Rossel (2020.), la generación de efluentes líquidos durante el proceso de extracción de aceite de palma, se encuentra localizada principalmente en las etapas de clarificación y esterilización. También existen otras descargas, en la sección de palmisteria cuando se dispone de hidro ciclones, en las purgas de los tanques desarenadores y sedimentadores y las descargas de aguas de lavado.

En la extracción por prensado, la fruta es sometida, mediante efectos de presión y temperatura a los procesos de esterilización, desfrutamiento, digestión, prensados (extracción) y clarificación.

La esterilización se hace con vapor de agua para facilitar los procesos subsiguientes; el condensado del vapor de agua constituye el primer vertimiento y el vapor de agua no condensado se descarga a la atmosfera. Los frutos esterilizados son separados de los escobajos que los contienen y luego pasan al digestor donde se les inyecta vapor para acondicionarlos para el prensado. Este vapor condensado constituye otro vertimiento y el no condensado una descarga térmica aérea. La fruta es prensada para extraer el aceite, que se mezcla con agua y finalmente es enviado al proceso de clarificación. La clarificación es indispensable ya que el aceite va acompañado de grandes cantidades de masa celular y agua.

La cantidad de efluentes producidos en la planta de Agropecuaria Rossel oscila entre 37.75 m³ diarios, con un rango de procesamiento de 96.00 ton/RFF/día, la producción de aceite de palma en la empresa presenta periodos de muy alta y muy baja producción.

Estos efluentes industriales se caracterizan por su alta carga orgánica por su contenido de aceite y por el arrastre de material celular (fibras, etc), estos efluentes presentan un alto valor en la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y en la demanda Química de Oxígeno (DQO), además de su contenido de arenillas, piedras y tierras lo que incrementa el nivel de solidos totales.

Para la estabilización de estos efluentes Agropecuaria Rossel utiliza pozas para disminuir la carga orgánica, simulando un sistema de tratamientos de tipo biológico anaeróbico, cuenta con 4 pozas con un área de 815 m² cada una, la última poza libera el efluente hacia la quebrada Abeluyo.

Usualmente se tiene como electrodos a materiales de aluminio o de hierro en forma de placa (Chen, 2004).

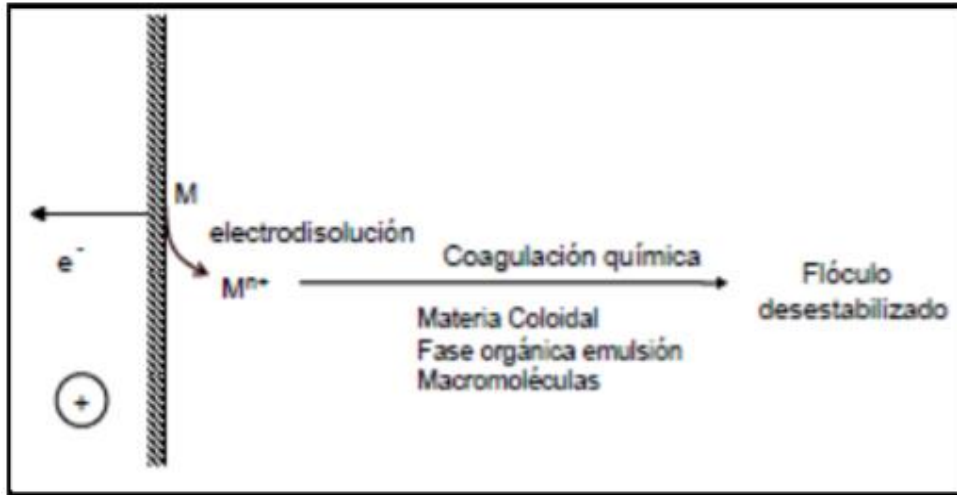


Figura 2. Electrodisolución de un metal en la electrocoagulación. (Fuente: Martínez, 2008)

El proceso de electrocoagulación se da en tres fases: primero se oxida el ánodo y se genera el coagulante, a continuación se da la ruptura de la partícula contaminante y por último se da la adsorción entre el contaminante y el coagulante para formar a los flóculos que luego serán removidos al final del proceso. (Mollah, Yousuf, Schennach, Parga, & Cocke, 2001)

La cantidad de aluminio disuelto dentro del medio acuoso en el transcurso del proceso electroquímico depende de cierta forma la eficiencia de la electrocoagulación de las aguas residuales. (Mansouri, Ibrik, Bensalah, & Abdel-Wahab, 2011)

Para el tratamiento de efluentes industriales a través de la electrocoagulación, la pasividad de los electrodos de aluminio es un problema. Mientras los electrodos de aluminio se encuentran a la intemperie o dentro del agua se pueden formar fácilmente las películas pasivas. Al adherirse esta película al ánodo de aluminio impide la separación de iones de aluminio y también restringe el paso de la electricidad entre la solución y los electrodos. La pasivación de los ánodos de

sacrificio promueve un consumo excesivo de energía eléctrica y disminuye la eficiencia del tratamiento de aguas residuales por electrocoagulación (Mansouri, Ibrik, Bensalah, & Abdel-Wahab, 2011).

El aluminio es mucho más susceptible a las picaduras que otros metales, y una variedad de aniones que puede existir en la solución puede producir picaduras. En los casos más prácticos de la corrosión del aluminio, la reacción química de aniones adsorbidos en la superficie de la película de óxido de aluminio con catiónico. Todas las especies en la red de óxido afectan de manera significativa la reacción global de disolución de aluminio. Esta reacción química produce la descomposición local de la película de óxido pasa, que a menudo es seguido por la corrosión por picadura (Mansouri, Ibrik, Bensalah, & Abdel-Wahab, 2011)

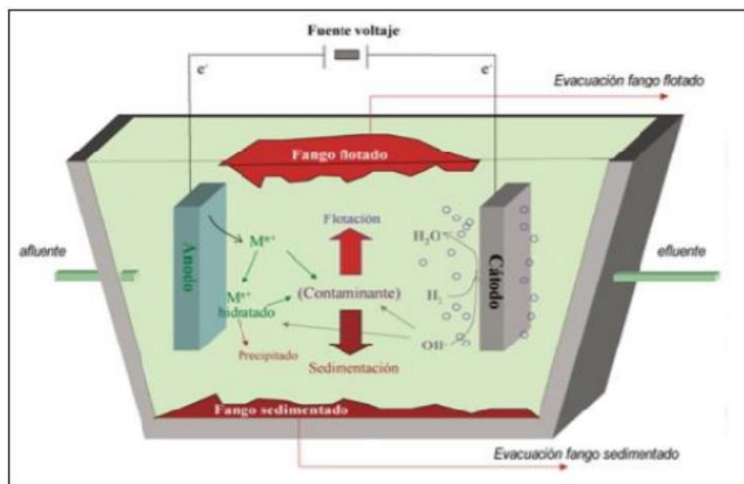


Figura 3. Esquema del proceso de electrocoagulación. (Fuente: Rodrigo, et al, 2004)

2.2.12. Teoría de la electrocoagulación

En la electrocoagulación no se usa ningún producto químico para tratar aguas residuales, solo se induce electricidad a través de electrodos para depurar y flocular los contaminantes. La corriente inducida mediante los electrodos produce la coagulación, además de remover partículas de menor tamaño con la corriente aplicada. (Butler, Hung, Yeh, & Al-Ahmad, 2011)

En la electrocoagulación existen dos electrodos, los ánodos y los cátodos, estos siempre son de metal. En función de los principios de la electroquímica, el ánodo se oxida (pierde electrones), en tanto que en el cátodo el agua se reduce (gana electrones), así el agua residual se trata mejor. (Butler, Hung, Yeh, & Al-Ahmad, 2011)

Para tener en cuenta la eficacia del reactor EC, hay que considerar las siguientes entradas o tipo de variables a las aguas residuales, el pH, la densidad de corriente, el tipo de electrodos de metal (aluminio, acero, hierro), número de electrodos, el tamaño de los electrodos, y la configuración de metales. Estas variables afectarían al tiempo total de tratamiento, la cinética, y también la eficiencia de remoción medida (Butler, Hung, Yeh, & Al-Ahmad, 2011)

2.2.13. Alcance de la electrocoagulación

Dentro de la electrocoagulación se presentan sucesos fisicoquímicos que derivan de las reacciones en los electrodos. El ánodo libera iones metálicos que se disuelven a través de la solución. Estos iones liberados rompen la estructura coloidal del contaminante presentes en el medio acuoso mediante fuerzas electrostáticas, estos contaminantes al tener carga negativa se atraen a la carga positiva del ion metálico disuelto para luego neutralizarse. Al neutralizarse, se inicia la coagulación formándose los conocidos flocúlos (Restrepo, Arango, & Garces, 2006)

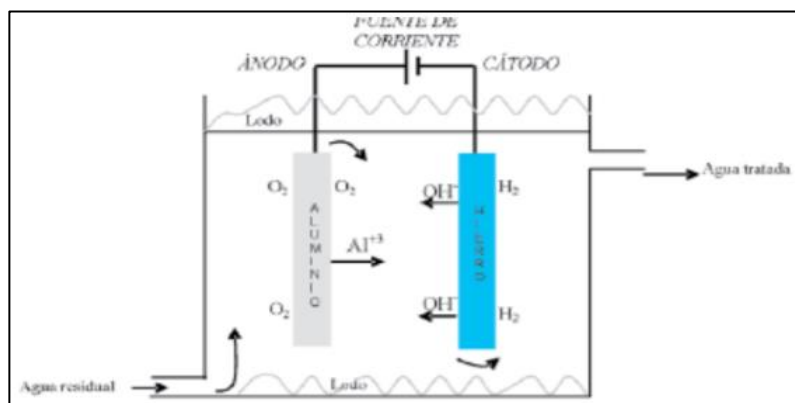


Figura 4. Sistema de EC con ánodo de aluminio y cátodo de hierro. (Fuente: Restrepo, et al, 2006)

2.2.14. Mecanismos en el proceso de electrocoagulación

El proceso de electrocoagulación se da en tres fases, este mecanismo se describe a continuación (Mollah, Yousuf, Schennach, Parga, & Cocke, 2001)

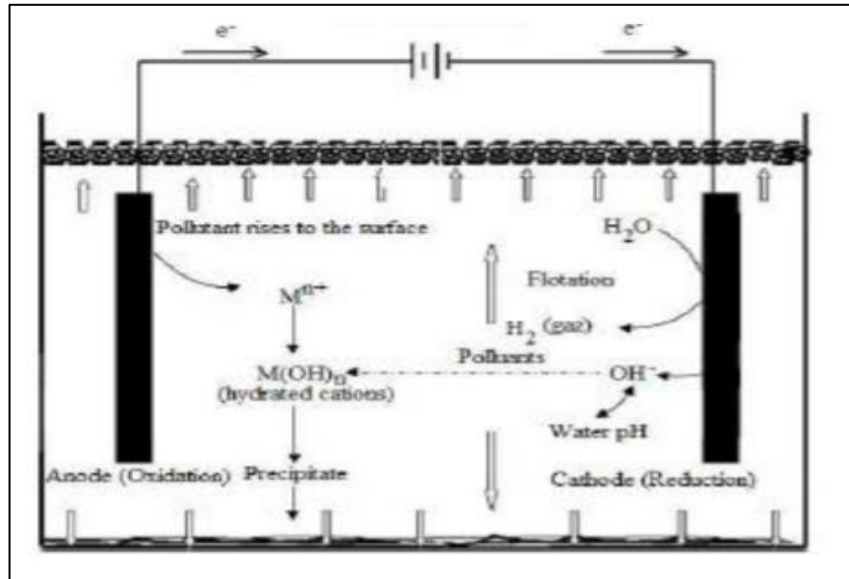


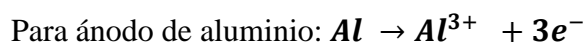
Figura 5. Mecanismo de electrocoagulación. (Fuente: Lekhlif, et al. 2014)

- La corriente inducida en la solución genera iones disueltos por oxidación del ánodo.
- Los iones disueltos anulan las cargas de los contaminantes por fuerzas electrostáticas (Van Der Waals), aglomerando a los coloides (coagulación), para luego formar flóculos.
- La coagulación genera los flóculos que se adhieren en los coloides.

2.2.15. Reacciones involucradas en la electrocoagulación

En la electrocoagulación, el coagulante se genera in situ gracias a la oxidación electrolítica de un material de ánodo adecuado. En este proceso, los iones reaccionan con la carga opuesta, o con flóculos de hidróxidos metálicos generados en el efluente. (Mollah, Yousuf, Schennach, Parga, & Cocke, 2001)

Las reacciones involucradas son las siguientes:



En condiciones alcalinas: $Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3$

En condiciones ácidas: $Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+$

En adición, hay una reacción de oxígeno liberado: $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

La reacción en el cátodo es: $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

Los nacientes iones Al^{3+} o Fe^{2+} son coagulantes muy eficientes para las partículas de floculación.

Para (Chen, 2004), el electrodo de hierro es mejor su aplicación a las aguas residuales industriales, mientras que el electrodo de aluminio para el tratamiento de agua. La alta eficiencia de remoción de partículas, instalación de tratamiento relativamente de bajo costo y posibilidad de automatización completa son los beneficios de la electrocoagulación.

2.2.16. Factores que afectan la electrocoagulación

Densidad de corriente. En la electrocoagulación, cuando se usa mucha cantidad de corriente, el agua puede calentarse existiendo una gran probabilidad de perder la energía eléctrica. En consecuencia, usar mucha cantidad de densidad de corriente no significa una mayor eficiencia de corriente eléctrica o, también significaría una pérdida de energía durante el proceso. La corriente inducida que se aplica a los electrodos determina la cantidad iones Al^{3+} o Fe^{2+} . Para asegurar una alta eficiencia de corriente se debe escoger la densidad de corriente y conjugarse con los otros factores que afectan el proceso de electrocoagulación. (Chen, 2004)

Para el electrodo de aluminio la eficiencia en densidad de corriente tiene un rango aproximado del 120 a 140%, en tanto que para el hierro esta aproximadamente en 100%. La eficiencia de corriente depende de la densidad de corriente, así como los tipos de los aniones (Chen, 2004)

Es posible que mediante experimentos se logre determinar la densidad de corriente. Si durante el proceso ya no es posible remover contaminantes en consecuencia se llegó a una densidad de corriente optima.(Chen, 2004)

Influye mucho el tipo de energía eléctrica que se provee a la celda electroquímica, estas pueden ser corriente alterna o también corriente directa. Las propiedades de cada una de las corrientes a su paso por las celdas a través del medio acuoso producen distintas reacciones electroquímicas entre placas y agua residuales tratada. Menor eficiencia de remoción se origina cuando abastece corriente directa al cátodo, ya que este termina impermeabilizándose. (Restrepo, Arango, & Garces, 2006)

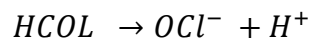
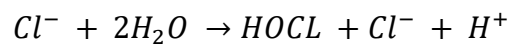
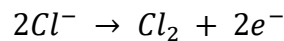
Conductividad. Para lograr que la electrocoagulación funcione correctamente se debe de tener en cuenta la conductividad, este colabora iónicamente a la carga eléctrica, se ubicó que los iones de cloruro disminuyen considerablemente el resultado adverso otros aniones como HCO_3^- , SO_4^{2-} , ya que estos aniones ayudan a precipitar los cationes Ca^{2+} o Mg^{2+} que forman una capa aislante en la faz de los electrodos disminuyendo al eficiencia de la corriente. Por eso es recomendable agregar sal de mesa para aumentar la conductividad del agua residual a tratar y también para la disminución del gasto de energía. (Chen, 2004)

Efectos del pH. El resultado del pH en el tratamiento de agua residual en la electrocoagulación se evidencia en la eficiencia de la corriente, como también en la solubilidad de hidróxidos metales. En la presencia de iones cloruro, la liberación del cloro se ve afectado. Normalmente la eficiencia de la corriente en electrodos de aluminio es más alta, no importa si se encuentra en un medio ácido o alcalino que en neutras. Las características del agua residual a tratar afectan a la eficiencia de la electrocoagulación, sin embargo, se encontró que existe mayor remoción de contaminantes en valores cercanos al pH 7. (Chen, 2004)

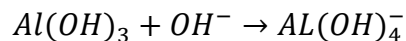
Cuando la conductividad varía, el gasto de energía es superior al pH neutro. Cuando la conductividad es alta, el efecto de pH no es importante. (Chen, 2004)

Una de las ventajas de la electrocoagulación es que después del proceso el pH para efluente ácido se incrementa y se reduce para efluente alcalino. El incremento de pH en medio ácido se relaciona a la separación del hidrógeno en los cátodos. También la liberación de hidrogeno se da por la formación de $Al(OH)_3$ cerca del ánodo que promueve la reducción del pH. Asimismo, también hay reacción de liberación de oxígeno que conlleva a reducir el pH. (Chen, 2004)

Cuando hay iones de cloro, se producen las siguientes reacciones químicas:



En consecuencia, el incremento de pH en efluente ácido se debe al desprendimiento de hidrogeno que equilibra por las reacciones de liberación H^+ , El incremento del pH es considerado por la liberación de CO_2 por burbujeo de hidrógeno, por la creación de precipitados de otros aniones Al^{3+} y también al traslado del equilibrio hacía la izquierda durante la liberación de H^+ en las reacciones. (Chen, 2004). En tanto a la reducción de pH en medio alcalino, se debe a la generación de precipitados de hidróxidos con otros cationes, la formación de $Al(OH)_4^-$. (Chen, 2004)



Un mejor resultado en remoción se encontró en un pH casi neutro para electrodos de aluminio. Usando electrodos de hierro en la industria textil para el tratamiento de sus aguas residuales, se conoció que el afluente alcalino da un mejor color, así como las reacciones de DQO. (Chen, 2004)

Según (Restrepo, Arango, & Garces, 2006), Se estableció en ciertos casos que el mejor resultado en remoción de contaminantes se lleva a cabo en un rango peculiar de pH, incluso sería en un rango más amplio. A grandes rasgos la remoción óptima se obtuvo en valores de pH cercanos a 7. Ejemplos claros son la remoción de arsénico de aguas de consumo, donde su remoción óptima se encontró en pH con valores cerca de 6 y 8, y para la industria textil con respecto a la remoción de turbiedad y DQO se dio en valores de pH 7.

Temperatura. En toda la historia de la electrocoagulación la temperatura y su efecto en el tratamiento de aguas residuales no fue estudiado por muchos. Durante la electrocoagulación la eficiencia de la corriente en los electrodos de aluminio se incrementa inicialmente hasta una temperatura de 60° C.

Al incrementarse la temperatura se reduce el tamaño de los poros del gel $Al(OH)_3$, efecto de esto se forman flóculos más compactos con más propiedades de adherirse sobre la superficie del electrodo. Para el tratamiento de aguas residuales que contienen aceites, en comparación con la eficiencia actual, para el gasto de energía el valor de la temperatura es inferior a 35° C (Chen, 2004). Por lo tanto, una temperatura mayor conlleva una mejor conductividad, en consecuencia, un menor gasto de energía.(Chen, 2004)

Energía eléctrica. La corriente que atraviesa el reactor electroquímico, debe de sobrepasar la diferencia del potencial de equilibrio, sobre potencial de ánodo, sobre potencial de cátodo y caída de potencial óhmico de la solución (Chen, 2004)

El sobre potencial para el ánodo y el cátodo depende del sobre potencial de activación y el sobre potencial de activación, pero con un sobre potencial pasivo resultante la superficie del ánodo. El sobre potencial pasivo depende en gran medida de las características superficiales del electrodo. Si se tiene una placa de electrodos nuevos, el sobre potencial pasivo no debe de considerarse.

Comúnmente, la fuente de que abastece de corriente continua se aplica con la finalidad de disminuir la oxidación de la superficie del electrodo o su pasivación. (Chen, 2004)

Tiempo de electrolisis. El tiempo de electrólisis tiene un efecto significativo en la eficiencia de eliminación de contaminantes del método de coagulación electroquímica. Define la cantidad de coagulante formado y el costo del proceso. Un aumento en el tiempo de electrólisis hasta el nivel óptimo aumenta la eficiencia de eliminación de contaminantes, pero no aumenta más allá del nivel óptimo. El hecho real es que a una densidad de corriente constante la formación de coagulantes aumenta con un aumento en el tiempo de electrólisis que conduce a una mayor eficiencia de eliminación. Mientras que el tiempo de electrólisis óptimo anterior y el aumento de la dosis de coagulante no aumentan la eliminación de contaminantes debido a la presencia de un número suficiente de flóculos. El tiempo de electrólisis tiene un impacto negativo en el costo del tratamiento debido al aumento en el consumo de energía y electrodos en tiempos de electrólisis más largos (Khandegar & Saroha, 2013)

Una ligera variación en el tiempo influye de manera considerable en la cantidad de sólidos obtenidos. Pero diversos autores coinciden que las variaciones del tiempo no son significativas con respecto a las variaciones del pH. El pH está relacionado al producto de la solubilidad, ya que si este aumenta la solubilidad disminuye, en consecuencia, se obtiene mayor precipitación de sólidos insolubles. (Prieto, Callejas, & Reyes, 2012)

Concentración inicial de contaminantes. La concentración inicial de contaminantes también se considera como uno de los parámetros efectivos en la eliminación de contaminantes por coagulación electroquímica. De acuerdo con la literatura, un aumento en la concentración inicial de contaminantes (manteniendo constantes otros parámetros) reduce la eficiencia de eliminación de contaminantes del proceso EC. Esto se debe a la circunstancia de que, a un

parámetro operativo fijo, la cantidad de coagulante generado será fija, lo que es insuficiente para formar flóculos con una alta concentración de contaminantes. Por lo tanto, se requiere un tiempo de electrólisis más largo para reducir la concentración de contaminantes residuales hasta el rendimiento de eliminación deseado. La concentración de contaminantes no solo disminuye la eficiencia de EC, sino que también aumenta el consumo de energía al aumentar la resistencia y la conductividad de la solución. (Bharath, Krishna, & Manoj, 2018)

Distancia entre electrodos. En el proceso de EC, la distancia entre electrodos juega un papel importante en la potencia de la EC porque el campo electrostático depende de la distancia entre el ánodo y el cátodo. Una distancia óptima entre los electrodos proporciona la máxima eficiencia de eliminación de contaminantes. La distancia mínima entre electrodos proporciona una baja eficiencia en la eliminación de contaminantes. Cuanto mayor sea la distancia entre electrodos, más lento será el movimiento del generador iónico. Debido al movimiento más lento, los iones obtienen tiempo adicional para formar el flóculo requerido para la coagulación de contaminantes (Khandegar & Saroha, 2013).

Mientras que un aumento adicional en la distancia entre electrodos por encima del valor óptimo disminuye la anódica disolución y aumentará la distancia que los iones esenciales para viajar para la formación de flóculos, lo que resulta en la disminución de la eficiencia de electrocoagulación. (Khandegar, V & Saroha, A., 2012).

Si se quiere optimizar el tratamiento de electrocoagulación se tiene que aumentar el área superficial de los electrodos, y esto se obtiene aumentando el número de placas, colocándolas en serie de forma paralela monopolar o bipolar. (Restrepo, Arango, & Garces, 2006)

Durante las pruebas (Ruiz & Giraldo, 2007) observaron que para separaciones entre electrodos inferiores a 10 mm los tratamientos se hacen prolongados, adicionalmente se

presentaron atascamientos por deposición de lodo, impidiendo la circulación del medio acuoso y la generación de turbulencias, lo que resultó en bajas remociones de DQO. Para distancias superiores a 10 mm no se presentaron cambios importantes en el proceso en comparación con los resultados obtenidos a 10 mm, por lo cual se sugirió una separación óptima de 10 mm.

Según (Medina & Acosta, 2009) en sus conclusiones realizadas se afirma que “A mayor densidad de corriente circulada por los electrodos y menor separación de los mismos, se obtiene mayor porcentaje de remoción de contaminantes”.

2.2.17. Aplicaciones de la electrocoagulación

Según (Restrepo, Arango, & Garces, 2006). El tratamiento de electrocoagulación es capaz de tratar diferentes tipos aguas residuales de diferentes industrias. Entre ellas se tiene industrias de galvanoplastia, producción de papel, farmacéuticos, minera, mecánica, industria alimentaria y agroindustria, aguas residuales de lavanderías, industria textil, aguas residuales domésticos, entre otros.

También se ha llegado a combinar la electrocoagulación con la técnica llamada electro flotación que promueve el aumento de remoción de contaminante. Se ha aplicado la electrocoagulación para la remoción de diversas aguas residuales. Estas técnicas combinadas se aplicaron en la industria de galvanoplastia para remover los metales solubles. (Restrepo, Arango, & Garces, 2006)

Las industrias metalúrgicas, curtiembre, y de fertilizantes tienen algo en común, que usan el cromo en sus procesos. La aplicación de electrocoagulación y electro flotación a sus efluentes dio resultados positivos, siendo una alternativa para la remoción de este contaminante, encontrándose el cromo a concentraciones menores de 0.5. (Restrepo, Arango, & Garces, 2006)

En las industrias donde se usa y distribuye aceite, sus afluentes tienen altos contenidos de este elemento. Significa que existe una problemática ambiental muy importante. Sin embargo la electrocoagulación ha tenido óptimos resultados en tratar dichos efluentes con altos contenidos en aceites y grasas. (Restrepo, Arango, & Garces, 2006)

En la industria alimentaria también se aplicó la electrocoagulación a sus aguas residuales, además se sabe que sus efluentes tienen altos contenidos de DBO y DQO, y también aceites y grasas. En la ciudad de Hong Kong se realizó un estudio que mediante la electrocoagulación se habían tratado aguas residuales de la industria alimentaria, obteniendo resultados de remoción de 99 y 88% en grasas y DQO respectivamente. (Restrepo, Arango, & Garces, 2006)

2.2.18. Ventajas de un sistema de electrocoagulación

Para (Mollah, Yousuf, Schennach, Parga, & Cocke, 2001) la electrocoagulación presenta las siguientes ventajas:

- Generan pequeñas cantidades de lodos, esto hace más fácil tratarlos y disponerlos.
- Los flóculos producidos, por filtración son más fáciles de ser separados ya que son más grandes y de menor abundancia en el agua.
- Produce menos sólidos totales disueltos, con respecto a otras alternativas. Por ende, la depuración de aguas es viable económicamente.
- Al usarse en zona urbana o rural solo se necesita abastecer de energía eléctrica, por lo tanto, el costo de mantenimiento es menor.

2.2.19. Diseño del prototipo SETAR en la Universidad Nacional de Ucayali

Su forma de cubo con base piramidal trunca invertida permite reposar el soporte de los electrodos, que son un par de prismas cuadrangulares de baquelita de 36 cm de longitud con aberturas de 3 mm para la inserción de las placas de aluminio en él; cabe resaltar que el material

fue escogido ya que posee propiedades dieléctricas, resistencia a la corrosión por su formación de resinas fenólicas termo-endurecibles, y resistencia mecánica haciéndolo un material de fácil troquelado que soporta el peso de las 26 placas por su resistencia a la tensión de 120 Mega pascales (Mpa) equivalente a 1223.6 Kg/cm². (Villacorta & Rios, 2019)

Las celdas de electrocoagulación están compuestas por una serie de 13 pares de ánodos (Electrodos donde ocurre la oxidación y se liberan electrones) y cátodos (electrodos que reducen su estado de oxidación y recibe iones positivos) elaborados en planchas de aluminio de 3mm de espesor con dimensiones de 30x36cm. Estas planchas están unidas por dos varillas de cobre de ¼ de diámetro en los extremos y ½ en el centro elaboradas con hilos para permitir el pase de tuercas de acero galvanizado con la misma medida de diámetro interno; éstas funcionan como seguro anti contacto entre placas de diferentes polaridades a fin de evitar el aumento brusco de la intensidad de corriente conocido como “*corto circuito*”. Sumado a esta medida de prevención cada placa presenta un corte cuadrado de 2x2cm en la esquina cercana al conductor de polaridad opuesta para el mismo fin. (Villacorta & Rios, 2019)

Los conductores funcionan bajo un sistema de conexión en paralelo que aseguran la continuidad de la intensidad de corriente en cada una de las placas, evitando diferencias en el funcionamiento de cada cámara de reacción, con incidencia positiva sobre el tratamiento, ya que la liberación de electrones de aluminio y del hidrógeno por electrólisis en las moléculas del agua hace que la formación del hidróxido de aluminio $-Al(OH)_3-$ se produzca en el mismo periodo de tiempo para cada celda. (Villacorta & Rios, 2019)

2.2.20. Valores máximos admisibles para los efluentes de la industria de extracción de aceite vegetal.

En tanto no se establezcan en el país, Límites Máximos Permisibles (LMP) para el control y la protección ambiental, son de uso referencial los establecidos por instituciones de Derecho Internacional Público (OEFA, 2016).

Los valores indicativos de los efluentes son aplicables a los vertidos directos de efluentes tratados a aguas superficiales para uso general. Los niveles de vertido específicos del emplazamiento pueden establecerse basándose en la disponibilidad y las condiciones de los sistemas de tratamiento y recolección de aguas de alcantarillado público o, si se vierten directamente a las aguas superficiales, basándose en la clasificación del uso del agua receptora que se describe en las Guías generales sobre MASS. (GRUPO BANCO MUNDIAL, 2015)

CONTAMINANTES	UNIDADES	VALOR INDICATIVO
pH	pH	6-9
DBO ^a	mg/l	50
DQO	mg/l	250
Nitrógeno total	mg/l	10
Fósforo total	mg/l	2
Aceite y grasa	mg/l	10
Total de sólidos en suspensión	mg/l	50
Aumento de temperatura	°C	< 3 ^b
Bacterias coliformes totales	NMP ^a /100 ml	400
Ingredientes activos/antibióticos	Por determinar en cada caso	
Notas: ^a NMP = Número más probable. ^b Al borde de una zona de mezcla científicamente establecida que toma en cuenta la calidad del agua ambiente, el uso del agua receptora, los receptores potenciales y la capacidad de asimilación.		

Figura 6. VMA para efluentes del procesamiento de aceite vegetal. (Fuente: Grupo Banco Mundial, 2015)

2.3.TÉRMINOS BÁSICOS

- *AGUAS RESIDUALES*. Se definen como las aguas que contienen materia orgánica, químicos orgánicos e inorgánicos que son comúnmente son descargadas en fuentes hídricas, sin ningún tipo de tratamiento que genera contaminación al punto que esa fuente hídrica ya no podrá ser usada para ninguna actividad humana (Lovato, 2018).
- *PALMA ACEITERA*. *Elaeis guineensis*, es una palmera de origen africano, cultivada, actualmente, en diferentes partes del mundo. Los requisitos agroecológicos de la palma aceitera hacen que su distribución se limite a las zonas tropicales, por lo que las áreas con mayor aptitud se superponen con áreas que muestran altos niveles de biodiversidad. (Lian Pin & Wilcove , 2008)
- *POME*. Aguas residuales de aceite de palma (Palm Oil Mill Effluent)
- *EFLUENTE*. Es un fluido altamente contaminante proveniente de un proceso industrial, que puede llegar a cualquier cuerpo hídrico. Las industrias generan diferentes tipos de efluentes que al no ser debidamente tratado ocasionan un problema en el ambiente. (Perez & Gardey, 2017)
- *PTARI*. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales
- *DBO*. En inglés, Biochemical oxygen demand (BOD), se refiere a la materia orgánica biodegradable bajo la acción de microorganismos. Se expresa por la cantidad de oxígeno en mg/l para la oxidación, durante un periodo de tiempo dado a 20 °C, por vía biológica, de las materias orgánicas contaminantes (Calzada & Martinez del pozo, 2012)
- *DQO*. En inglés, Chemical oxygen demand (COD), corresponde al contenido de materias orgánicas total (biodegradable o no). Se expresa por la cantidad de oxígeno

en mg/l suministrados por dicromato potásico, que es necesario para la oxidación de las materias orgánicas (proteínas, glúcidos, lípidos, etc.), presentes en las aguas.

Demanda química de oxígeno. (Calzada & Martínez del pozo, 2012)

- *ELECTROCOAGULACION*. La electrocoagulación es una técnica o método para tratar aguas residuales, en este tratamiento no se necesita ningún producto químico, solo la corriente eléctrica en el agua. (Restrepo, Arango, & Garces, 2006)

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada por que se pretende solucionar un problema en concreto y saber si el sistema de electrocoagulación influye o no para remover la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y Demanda química de oxígeno (DQO) de los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria Rossel S.R.L.

3.1.2. Diseño de investigación

El presente estudio corresponde a una investigación experimental con intervención, porque se realizará una manipulación intencional de la variable independiente; en este sentido el tiempo en el proceso electrocoagulación para evaluar si este estímulo reduce la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y Demanda química de oxígeno (DQO) de los efluentes de la PTARI de Agropecuaria Rossel S.R.L. Según la linealidad del proceso metodológico, el enfoque usado en esta investigación es cuantitativo porque se recolecta y analiza datos para responder las preguntas planteadas, además los datos pueden ser medibles y replicables.

3.2.ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende a la empresa Agropecuaria Rossel S.R.L., del cual de obtendrán los efluentes industriales tratados por sus lagunas de oxidación (PETARI), que serán tratadas por el prototipo SETAR ubicado en el laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la universidad Nacional de Ucayali.

3.3. UBICACIÓN, POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Ubicación

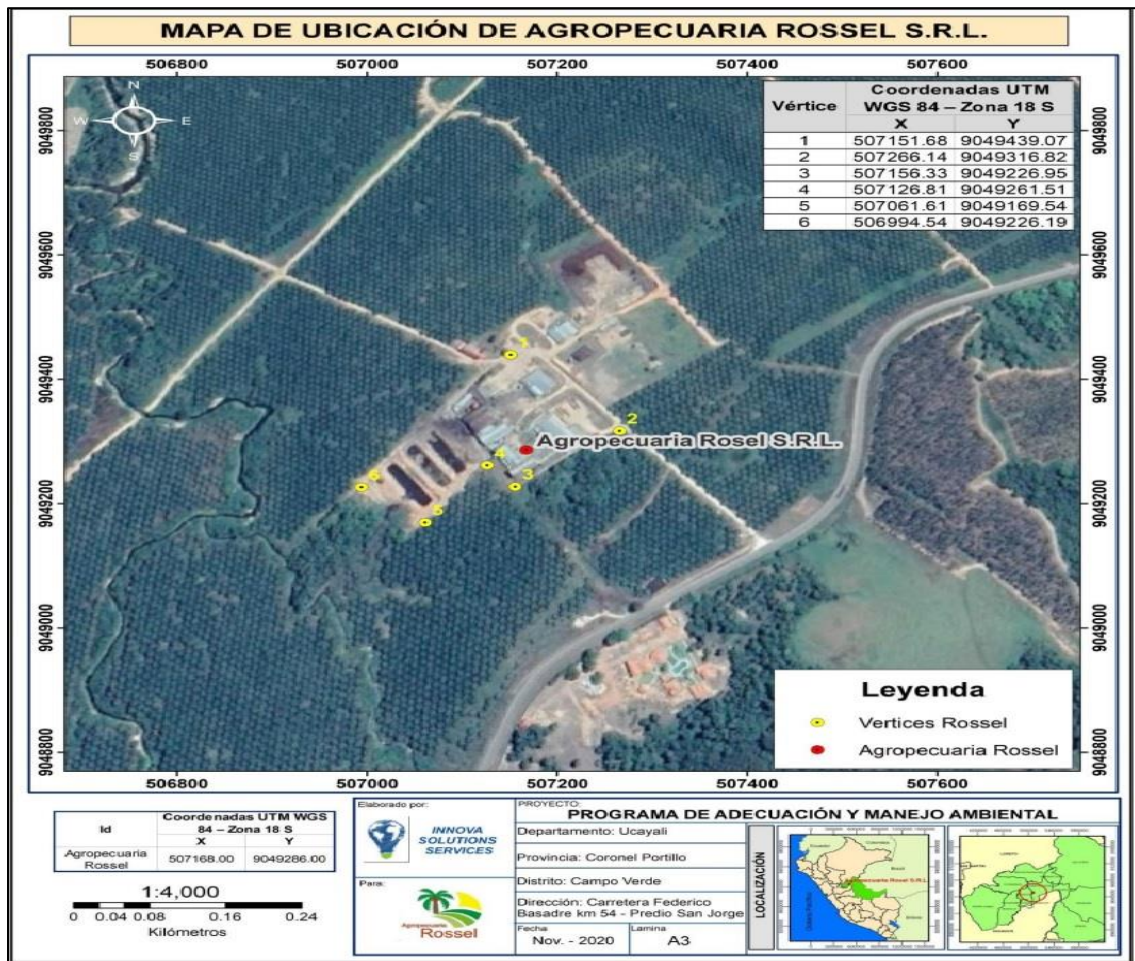


Figura 7. Mapa de ubicación de Agropecuaria Rosel S.R.L. (Fuente: Agropecuaria Rosel, 2020)

3.3.2. Población

La población son los efluentes tratados por sus lagunas de oxidación que se encuentran en la cuarta laguna que tiene un área de 815 m², coordenadas de laguna de oxidación 0501016 E y 9049103 N, estas derivan de los efluentes industriales producidos en la planta de Agropecuaria Rossel que oscila entre 37.75 m³ diarios, con un rango de procesamiento de 96.00 ton/RFF/día, la producción de aceite de palma en la empresa presenta periodos de muy alta y muy baja producción. (AGROPECUARIA-ROSSEL, 2020)

3.3.3. Muestra

Se extrajo 750 Litros de efluente industrial tratado que se encuentra en la cuarta laguna de oxidación de la Empresa Agropecuaria Rossel S.R.L.; el volumen de cada muestra de agua se sustenta según los siguientes requerimientos: 250 L por cada tratamiento de electrocoagulación, ya que serán 3 tratamientos, en este caso el prototipo SETAR consta de 6 bandejas electroquímicas de 42 L que funcionan simultáneamente, que en total suman 252 L, este volumen está dado por las medidas del mismo prototipo. Mientras se ejecuta la electrocoagulación se extraerán las muestras de agua tratadas por los tiempos establecidos en la presente investigación, donde se usarán 1000 mL para DBO y 500 mL para DQO que serán analizados en el Laboratorio

3.4 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Antes de la Electrocoagulación

La recolección de las muestras de los efluentes tratados por el PETARI de Agropecuaria Rossel S.R.L. corresponde a una **muestra simple** la misma que será seleccionada en función de la accesibilidad y al criterio del investigador, según el acceso de la empresa, sin alterar o interferir en sus actividades de sus procesos.

Según la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA, 2015), en concordancia con la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), indica que, para ensayos o evaluaciones, el muestreo, selección y colecta se realizará de manera similar a la que se colecta para estudiar y determinar la calidad del agua.

La toma de las muestras de agua, ensayo y evaluación se deberán tomar en puntos estratégicos ya establecida de acuerdo al instrumento de gestión ambiental y de acuerdo a lo que se estable en las disposiciones de las entidades competentes antes mencionadas.

Muestra simple o puntual: Consiste en la toma de una porción de agua en un punto y en tiempo determinado. Las muestras simples representan las condiciones y características de la composición original del cuerpo de agua para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en el instante en el que se realizara su recolección.

En este sentido se extrajo las aguas residuales industriales tratadas en la cuarta laguna de oxidación en un punto cercano del mismo afluente mediante una motobomba y un tanque de almacenamiento de 1100 L de agua. Tanque que será trasladado al laboratorio de química de La facultad de Ciencias Forestales y Ambientales; De este tanque pasará los 750 L de agua residual industrial tratada al tanque de captación del Prototipo SETAR para su tratamiento en el Sistema de electrocoagulación.



Figura 8. Extracción de 750 L de efluentes y prototipo SETAR. (Fuente: elaboración propia)

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Observación directa: Lo cual permite registrar los diferentes cambios físicos del analítico durante el ensayo

Pre test: Procedimiento para determinar parámetros básicos antes de la electrocoagulación

Post test: Procedimiento para determinar parámetros básicos post la electrocoagulación.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

- Formato de registro de parámetros durante la electrocoagulación
- Multiparámetro HANNA HI 9813-6
- 1 envase de vidrio de 1000 mL
- 1 pinza amperimétrica
- 1 multítester digital.
- 19 envases de plástico de 1000 L
- 19 envases de plástico de 500 mL
- Plumón indeleble fino
- Tablero para apuntes

3.5.3. Procedimiento

El método de investigación del presente estudio se divide en cuatro etapas, las que se detallan a continuación:

A. Etapa I: Etapa de gabinete inicial (antes de la electrocoagulación)

Revisión bibliográfica

- Se revisó libros, revista, artículos, tesis y otros
- La información fue analizada a fin de ser utilizada según lo requerido

Gestión para el desarrollo del proyecto

- Adquisición de materiales, equipos, instrumentos y contacto con Agropecuaria Rossel para permitir el ingreso a sus instalaciones

Del sistema de electrocoagulación de aguas residuales

- Se realizó inspección técnica al prototipo SETAR
- Se limpió cada celda electroquímica
- Se inspeccionó el transformador de energía
- Se realizaron los ajustes para las conexiones eléctricas listas para su uso



Figura 9. Limpieza de celdas electroquímicas. (Fuente: Elaboración propia)

B. Etapa II: Etapa de Campo

Delimitación del punto de muestreo

- El punto de muestreo se georreferencio haciendo uso de un GPS

Toma de la muestra (09/02/2022)

- El día 9 de febrero del 2022 estuvo previsto el ingreso a las instalaciones de Agropecuaria Rossel para la extracción de la muestra que consiste en 750 L de agua residual industrial tratada.
- La muestra fue colectada en un punto cercano al afluente de la cuarta laguna de oxidación, evitando en todo momento de que sea contaminado con sedimentos
- La muestra fue extraída mediante de una motobomba hacia un tanque de agua de 1100 L. Este tanque fue trasladado hacia la Universidad Nacional de Ucayali donde se encuentra el prototipo SETAR.
- Posteriormente esta muestra de 750 L fue puesta en el tanque de captación propio del prototipo SETAR

C. Etapa III: Etapa de Laboratorio (durante la electrocoagulación)

Ensayo de electrocoagulación (11/02/2022)

- Según la metodología de muestreo del ANA para DBO y DQO se enjuago tres veces los recipientes con agua destilada antes del tratamiento de los efluentes de PETARI
- 250 L de efluente del PETARI de Agropecuaria Rossel S.R.L. fueron sometidos a 12 V por 35 minutos en el prototipo SETAR
- El tratamiento que se realizo fue triplicado a fin de distanciarse del margen de error
- Los datos de los parámetros de campo como PH, Conductividad y Temperatura fueron tomados de las mismas muestras de cada tiempo mediante Multiparametro digital

D. Etapa IV: Etapa gabinete final

- Los resultados registrados se ordenaron para su posterior interpretación
- El porcentaje de reducción de la concentración de los parámetros estudiados se realizó aplicando la siguiente formula:

$$(\% \text{ de reduccion}) = \left(\frac{DBO_i - DBO_f}{DBO_i} \right) \times 100 \quad \dots \text{Formula 01}$$

- Se consideró una remoción optima si se removió mayor o igual al 90% de la concentración inicial

3.6. PROCESAMIENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

El presente estudio cuenta con un tratamiento de 35 minutos, para el tiempo de tratamiento tomamos en cuenta lo realizado por (Villacorta & Rios, 2019), ellos trabajaron con 9 muestras extraídas a partir del minuto 5 hasta el 45. En la presente investigación se extrajo 6 muestras de agua tratada por el prototipo SETAR a partir del minuto 10 con un intervalo de 5 minutos hasta llegar al minuto 35. Según se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.
Tabla de tratamientos y repeticiones

TRATAMIENTO	REPETICIONES
10	3
15	3
20	3
25	3
30	3
35	3

Fuente: (Villacorta & Rios, 2019)

Mientras avanza el tiempo de tratamiento de electrocoagulación la concentración de DBO y DQO va disminuyendo, esto se evidencia mientras se va extrayendo el agua tratada en los tiempos establecidos en la tabla 1, ya que se va observando el cambio de color en cada muestra extraída. Estas muestras son tomadas del único punto de salida de aguas tratadas de los 6 reactores electrolíticos tal como lo muestra la figura 10.

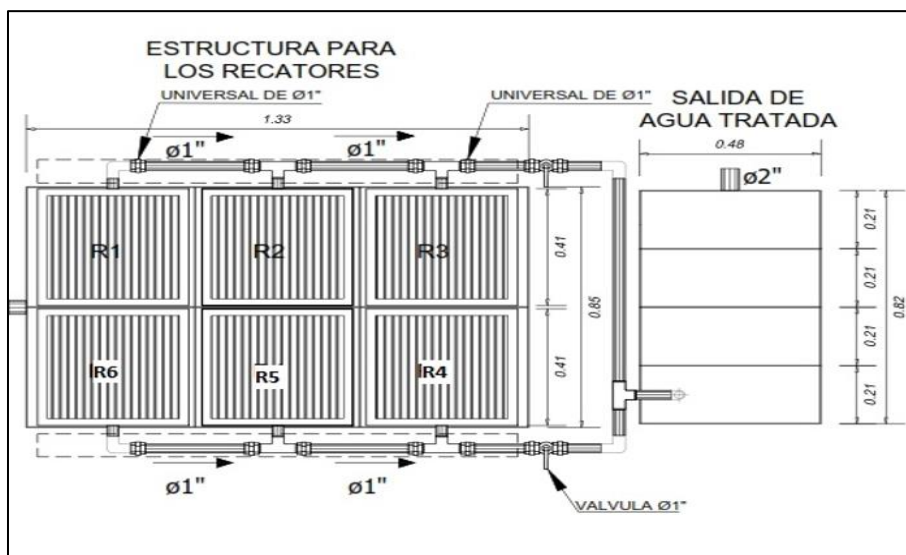


Figura 10. Estructura de los reactores del Prototipo SETAR

3.7. TRATAMIENTO DE DATOS

Los datos obtenidos fueron ingresados al software IBM SPSS STATISTICS 26, donde se sistematizaron los valores de los parámetros de interés remitidos por el laboratorio EQUAS S.A., laboratorio acreditado por el INACAL, donde fueron sometidos a la prueba ANOVA de un factor, los parámetros por cada tratamiento realizados en la etapa de laboratorio incluyendo parámetros de campo (PH, Conductividad y Temperatura) y parámetros de laboratorio (DBO y DQO) con un porcentaje de probabilidad del 95%. También se usó el programa Excel para encontrar el porcentaje de remoción y realizar las tablas para los análisis.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. RESULTADOS

A. Tiempo de tratamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentes en los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L.

Se realizaron tres repeticiones o tratamientos por cada tiempo estudiado, estos resultados se evidencian en las siguientes tablas:

Tabla 2.

Tratamiento 1 de la DBO y DQO

	Tratamiento 1					
Tiempo (min)	10	15	20	25	30	35
DBO(Mg/L)	550	110	40	40	40	40
DQO (Mg/L)	820	220	80	80	70	70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.

Tratamiento 2 de la DBO y DQO

	Tratamiento 2					
Tiempo (Min)	10	15	20	25	30	35
DBO(Mg/L)	560	110	40	40	40	40
DQO (Mg/L)	850	250	70	70	80	70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.

Tratamiento 3 de la DBO y DQO

	Tratamiento 3					
Tiempo (min)	10	15	20	25	30	35
DBO(Mg/L)	530	100	40	40	40	40
DQO (Mg/L)	800	220	70	60	50	50

Fuente: Elaboración propia

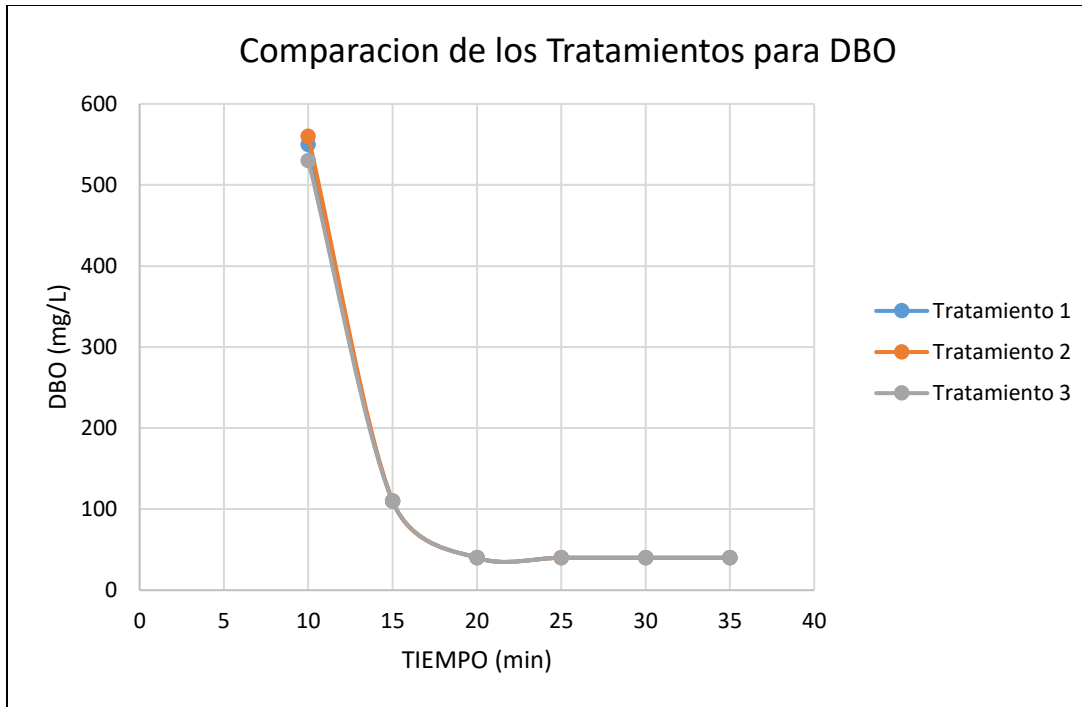


Figura 11. Comparación de los tratamientos para DBO. (Fuente: Elaboración propia)

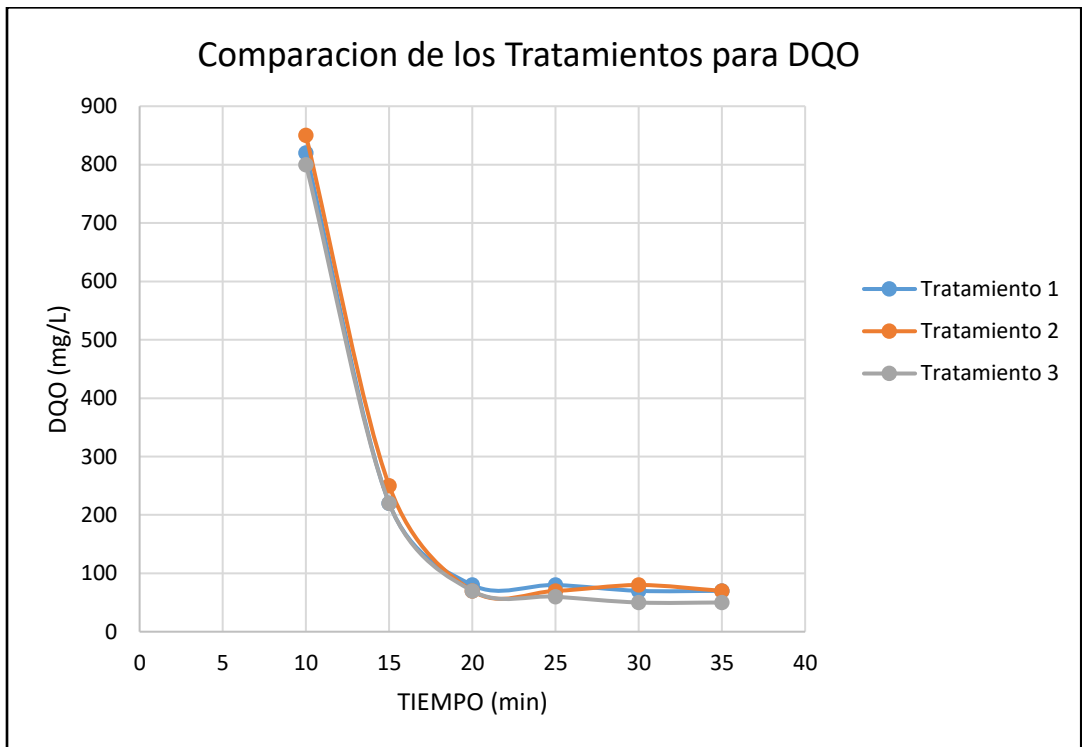


Figura 12. Comparación de los tratamientos para la DQO. (Fuente: Elaboración propia)

Estos resultados remitidos por el laboratorio EQUAS S.A., laboratorio acreditado por el INACAL, en los tres casos se muestra una tendencia a disminuir conforme avanza el tiempo de tratamiento, teniendo una similitud en sus resultados por tratamiento y distanciándose en decimas que no es un rango considerable.

Posteriormente estos resultados fueron procesados en el software estadístico IBM SPSS, y mediante la aplicación de la prueba ANOVA se obtuvo sus medias y se determinó el tiempo de tratamiento, además del porcentaje de remoción mediante el uso del software Excel de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente de PTARI de la empresa Agropecuaria Rossel S.R.L. Esto se aprecien en la siguiente tabla.

Tabla 5.
Tiempo óptimo de tratamiento de la DBO y DQO mediante EC.

Parámetro	Tiempo (min)	Concentración inicial (mg /L)	Concentración Final (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
DBO (mg/L)	20	1700	40	98
DQO (mg/L)	35	3500	63	98

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: El tiempo óptimo de tratamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente de PTARI es de 20 minutos respectivamente; Con una concentración inicial de 1700 mg/L para DBO y 3500 mg/L para DQO, valores superan los valores máximos admisibles para el procesamiento de aceite vegetal establecidos por el Banco Mundial en el 2015. Logrando disminuir la concentración a 40 mg/L la DBO y 73 mg/L la DQO y un porcentaje de remoción de 98% para los dos parámetros estudiados.

B. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L. según el tiempo de tratamiento del sistema de electrocoagulación.

DBO. El comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), según el tiempo de tratamiento, se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 6.

Comportamiento de la DBO según el tiempo de tratamiento del sistema de EC..

Parámetro	Pre tratamiento	Tiempo (min)	Post tratamiento
DBO (mg/L)	1700	10	557
		15	110
		20	40
		25	40
		30	40
		35	40

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se puede apreciar en la tabla 6, el comportamiento descendente de valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) con respecto al tiempo de tratamiento del prototipo SETAR. Al minuto 10 de tratamiento la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) tiene un valor de concentración de 556. 67 mg DBO/L, disminución considerable de la inicial que tiene un valor de 1700 mg DBO/L. Al minuto 15 también se aprecia una disminución no tan considerable al de la primera muestra, pero si se evidencia la disminución de la DBO del minuto 10 al 15. Desde el minuto 20 al 35 se puede apreciar que se mantiene constante en 40 mg DBO/L. Valor que se encuentra dentro de los valores máximos admisibles (VMA). Este comportamiento se puede apreciar en la figura 13.

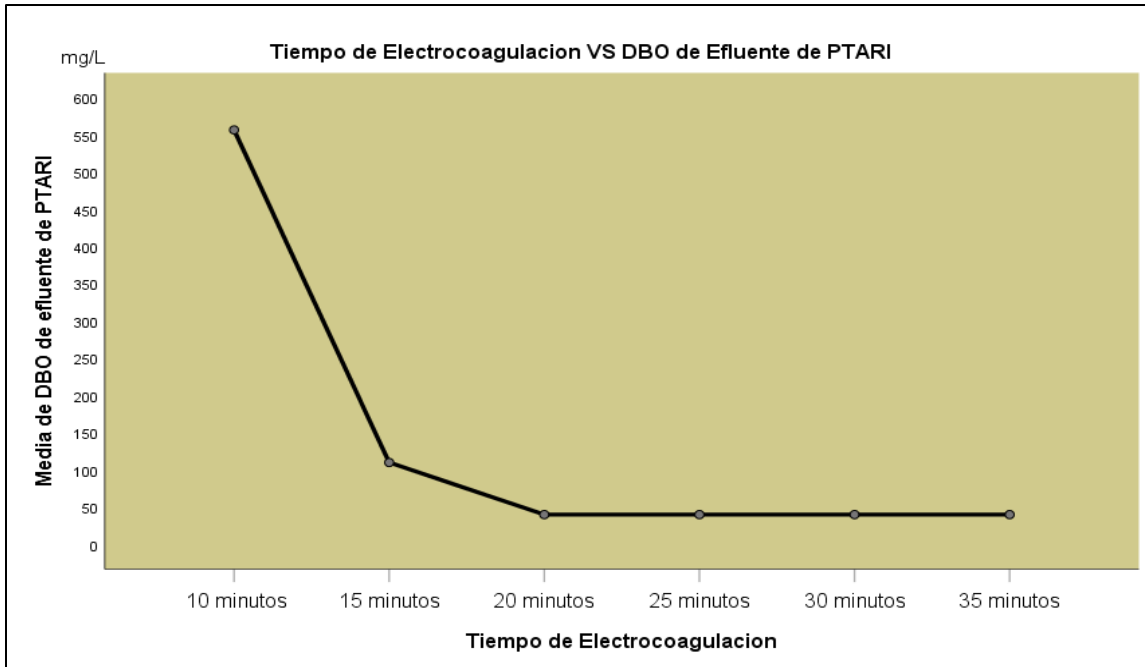


Figura 13. Tiempo de electrocoagulación vs DBO de efluente de PTARI. (Fuente: elaboración propia)

DQO. El comportamiento de DQO, según el tiempo de tratamiento, se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 7.

Comportamiento de la DQO según el tiempo de tratamiento del sistema de EC.

Parámetro	Pre tratamiento	Tiempo (min)	Post tratamiento
DQO (mg/L)	3500	10	823
		15	230
		20	73
		25	70
		30	67
		35	63

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se puede apreciar en la tabla 7 el comportamiento descendente de valores de la DQO con respecto al tiempo de tratamiento del prototipo SETAR. Al minuto 10 de tratamiento tiene un valor de concentración de 823.33 mg DQO/L, disminución considerable de la inicial que tiene un valor de 3500 mg DQO/L. Al minuto 15 la concentración presenta un valor de 230 mg DQO/L, disminución va evidenciando lo eficaz que es este tratamiento. Luego desde el

minuto 20 al 35 existe una disminución mínima de valores en la concentración que van desde 73.33 mg DQO/L hasta 63.33 mg DQO/L. valores que se encuentran dentro de los valores máximos admisibles (VMA). Dicho comportamiento puede ser mejor apreciado en la figura 14.

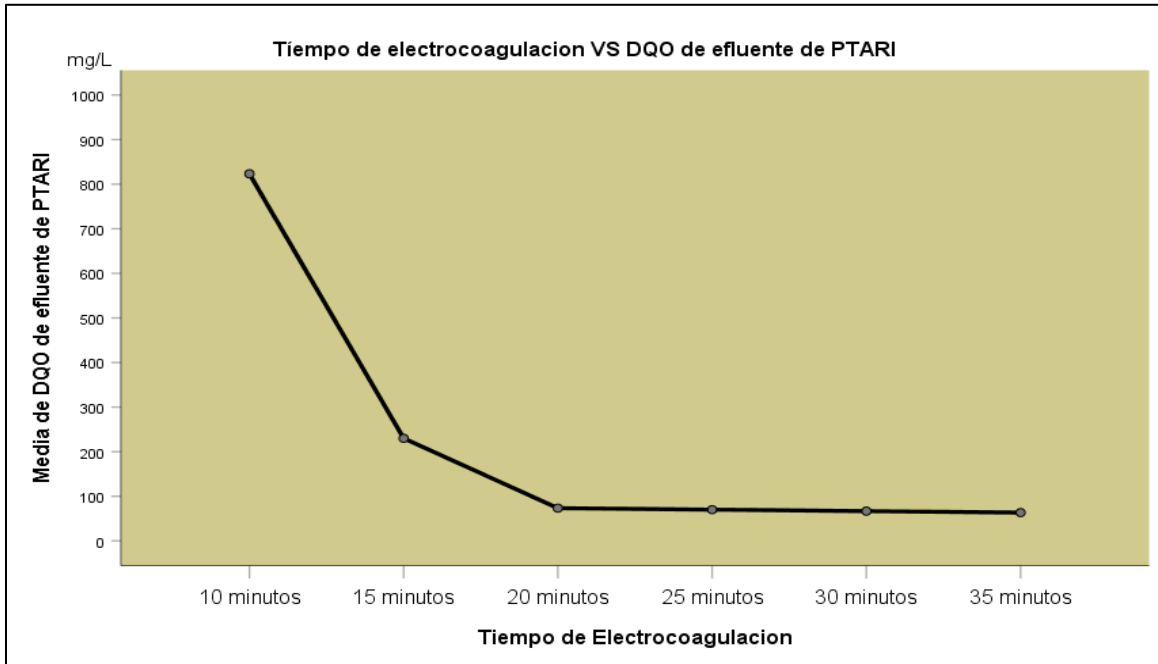


Figura 14. Tiempo de electrocoagulación vs DQO del efluente de PTARI. (Fuente: Elaboración Propia)

PH. El comportamiento del PH según el tiempo de tratamiento, se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 8.

Comportamiento del pH según el tiempo de tratamiento del sistema de EC.

Parámetro	Pre tratamiento	Tiempo (min)	Post tratamiento
pH	5.8	10	6.5
		15	7.13
		20	7.5
		25	7.63
		30	7.7
		35	8.1

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Se puede apreciar en la tabla 8 que los valores del PH van ascendiendo conforme avanza el tiempo de tratamiento. El valor inicial del PH en la muestra testigo fue de 5.8,

un valor ácido que en el minuto 10 asciende hasta llegar a 6.5; luego en el minuto 15 se tiene un PH de 7.1 un valor neutro; a partir del minuto 20 hasta el 35 se aprecia que el valor del PH llega a 8, un valor alcalino. Tratándose de aguas industriales de una planta extractora de aceite vegetal que son altamente ácidas, llegar a un valor de PH de 8 tiene mucha significancia para el tratamiento aplicado a sus efluentes. El comportamiento se aprecia en la figura 15.

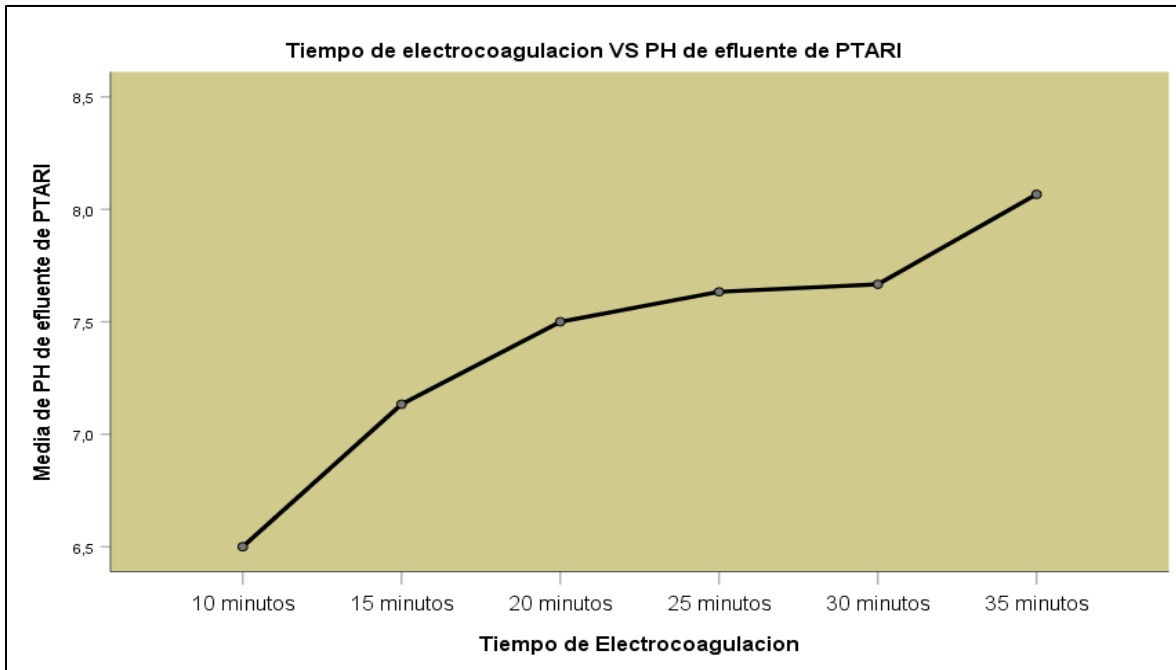


Figura 15. Tiempo de electrocoagulación vs PH de efluente de PTARI. (Fuente: Elaboración propia)

Temperatura. El comportamiento de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), según el tiempo de tratamiento, se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 9.

Comportamiento de la temperatura según el tiempo de tratamiento del sistema de EC.

Parámetro	Pre tratamiento	Tiempo (min)	Post tratamiento
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	30.2	10	28.1
		15	29.5
		20	30.7
		25	31.6
		30	32.3
		35	32.7

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: En la tabla 9, al minuto 10 el valor de la temperatura descendió hasta 28.1°C, el valor inicial de la muestra testigo fue de 30.2 °C una diferencia de 2.1 °C; al minuto 15 este valor asciende a 29.4 °C. Así pues, la temperatura en los siguientes minutos tiene un comportamiento ascendente, pero con diferencias mínimas y estable llegando a tener un valor de 32.7 °C, una diferencia de 2.7 °C con respecto a la muestra testigo y 4.6 °C con la muestra del minuto 10. La disminución de la temperatura de la muestra testigo con respecto a la primera muestra del tratamiento (10 minutos) se debe a que el tamaño de los poros del $Al(OH)_3$ son grandes, ya que según (Chen, 2004) al incrementarse la temperatura se reduce el tamaño de los poros del gel $Al(OH)_3$, efecto de esto se forman flóculos más compactos. Es sabido que existe una relación inversamente proporcional entre el PH y la temperatura, sin embargo, el cambio de temperatura se debe al calentamiento de los reactores electroquímicos durante el proceso y al medir la temperatura de la muestra in situ nos da este resultado. Este comportamiento se aprecia mejor en la figura 16.

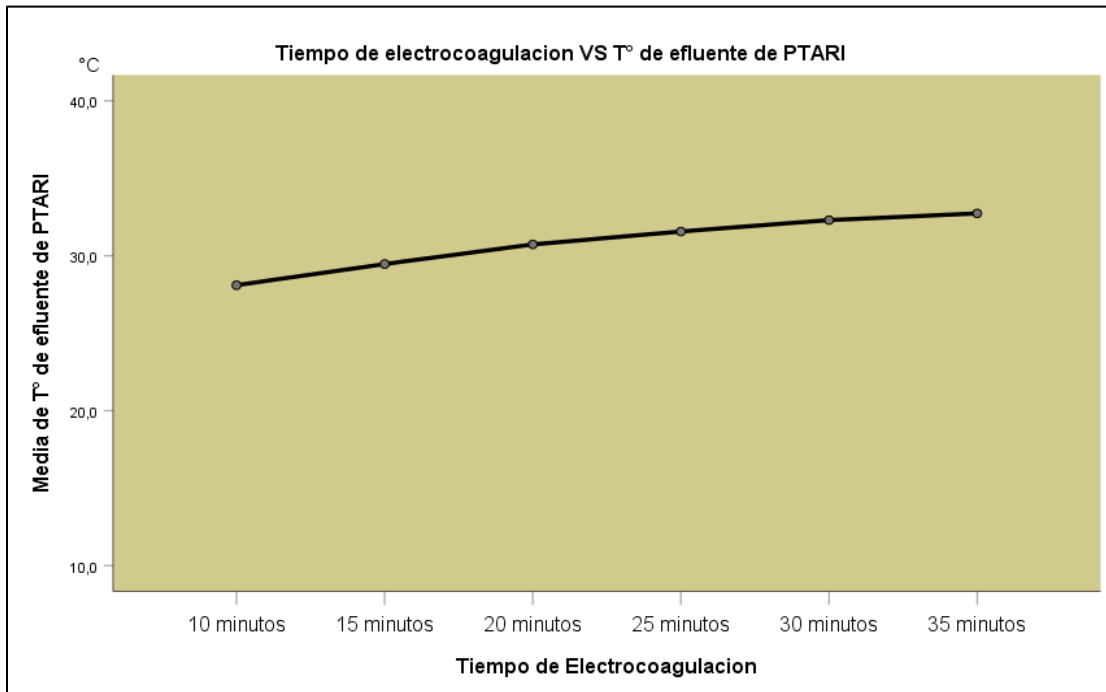


Figura 16. Tiempo de electrocoagulación vs T° de efluente de PTARI. (Fuente: Elaboración propia)

Conductividad. El comportamiento de la conductividad (mS/cm) del efluente de PTARI de Agropecuaria Rossel, según el tiempo de tratamiento, aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 10.

Comportamiento de la conductividad según el tiempo de tratamiento del sistema de EC.

Parámetro	Pre tratamiento	Tiempo (min)	Post tratamiento
Conductividad (mS/cm)	3.6	10	3.05
		15	2.90
		20	1.67
		25	0.71
		30	0.51
		35	0.46

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Según la tabla 10 se aprecia que al minuto 10 de tratamiento la conductividad disminuye a 3.05 mS/cm, no es tan significativa ya que la muestra testigo tiene un valor de 3.6 mS/cm. Dicho sea de paso, este valor es similar al valor de resultados del monitoreo de la calidad de agua residual industrial de la empresa Agropecuaria Rossel que fue de 3.2 mS/cm. A partir del minuto 15 este valor empieza a disminuir con un valor de 2.89 mS/cm, luego tenemos en el minuto 20 con el valor de 1.67 mS/cm, disminución considerable de la muestra testigo, que posteriormente al llegar al minuto 35 alcanza sus valores mínimos de 0.46 mS/cm. En esta figura se evidencia la relación de la disminución de valores entre la conductividad (mS/cm) y la DBO con la DQO. Dicho comportamiento se puede evidenciar en la siguiente figura. Figura 17.

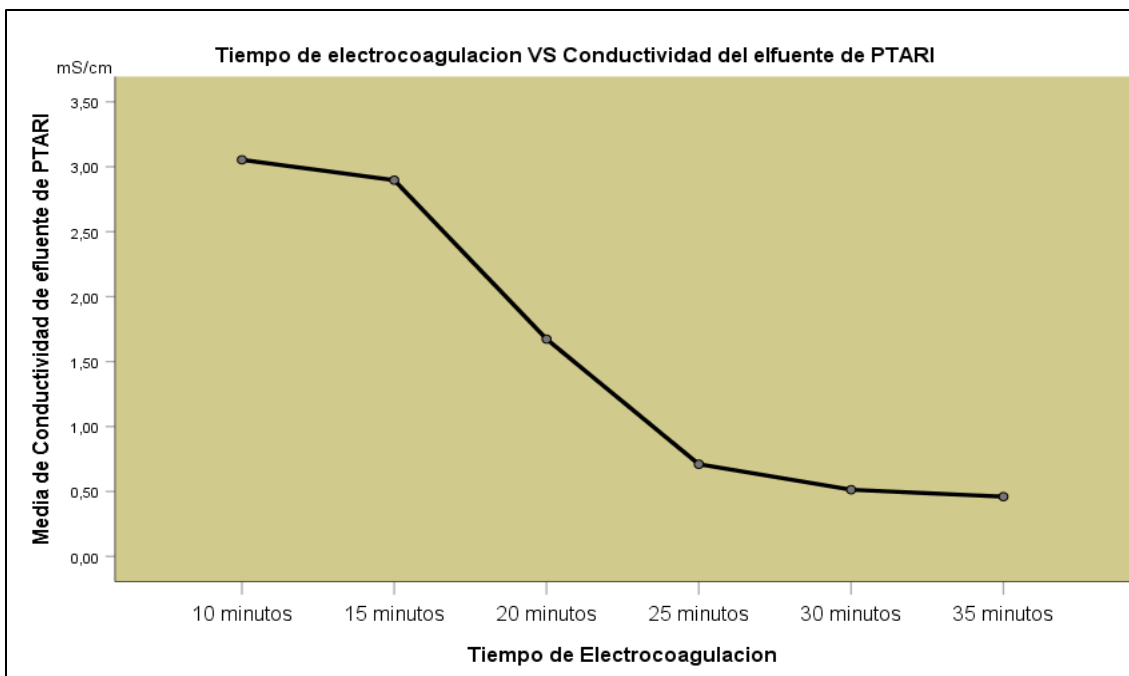


Figura 17. Tiempo de electrocoagulación vs Conductividad de efluente. (Fuente: Elaboración propia).

4.2. DISCUSIONES

- Según el objetivo general, determinar el tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación para la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L, los resultados obtenidos en la tabla 5 se evidencia que aplicando un tiempo de tratamiento de 20 para la DBO y DQO respectivamente disminuye la concentración inicial de 1700 mg DBO/L y 3500 mg DQO/L a 40 mg/L para DBO y 73 mg/L para DQO.

A criterio del investigador del presente estudio, se considera 20 minutos de tratamiento como óptimos en función de las medias estadísticas obtenidas y en función de los valores máximos admisibles que son 50 mg/L para DBO y 250 para DQO, ya que para ambos parámetros en 20 minutos están dentro de los valores máximos admisibles y extender el tratamiento sería un gasto energético, en consecuencia, un gasto económico según Khandegar & Saroha (2013) Un aumento

en el tiempo de electrólisis hasta el nivel óptimo aumenta la eficiencia de eliminación de contaminantes, pero no aumenta más allá del nivel óptimo.

Estos hallazgos al ser comparados por lo encontrado por Macedo & Zavala (2021) en su estudio “Eficiencia de la electrocoagulación para tratar materia orgánica en agua residual de la extracción de aceite de palma, San Martín 2021”, concluyen que, la electrocoagulación para tratar el agua residual industrial orgánica de la extracción de aceite de palma aceitera Oleaginosas Del Perú S.A, a los parámetros como la DBO y DQO, en 60 min y 24 v de energía eléctrica, con electrodos de aluminio, es eficiente en 90 %. Sus resultados guardan relación con lo encontrado en la presente investigación, la única diferencia es en los valores del tiempo de tratamiento y el voltaje. Esto se debe al diseño y las condiciones en las que se trató las aguas residuales ya que un prototipo es a escala de laboratorio y el otro a escala industrial (SETAR), las dimensiones de electrodos, cantidad de electrodos, distancia de electrodos influyen mucho y existe mucha diferencia en estos. Además, según Khandegar & Saroha (2013), cuanto mayor sea la distancia entre electrodos, más lento será el movimiento del generado ion. Debido al movimiento más lento, los iones obtienen tiempo adicional para formar el flóculo requerido para la coagulación de contaminantes. Pero a pesar de la diferencia en el diseño se confirma lo que refiere Restrepo, Et al, (2006), que la electrocoagulación aplicada en la industria alimentaria logra una remoción que va desde el 88% hasta el 99%.

Sin embargo, en lo encontrado por Villacorta & Rios (2019) en su estudio “Sistema de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la curtiembre de piel de paiche (Arapaima gigas) en el CITE pesquero, región Ucayali”, concluyen que 20 minutos de electrocoagulación es suficiente para tratar las aguas residuales de curtiembre de piel de Paiche. Sus resultados son diferentes, pero el parámetro estudiado que es el tiempo de tratamiento remueve

una cantidad considerable de la DBO y DQO en 20 minutos. Esto se debe a que esta agua residual fue tratada por el prototipo SETAR y se puede afirmar el uso este prototipo de electrocoagulación es eficiente para remover la carga orgánica, y se corrobora que el tiempo óptimo de tratamiento comienza desde el minuto 20. Además, no es de sorprender el rango de valor de la disminución de la DQO de la presente investigación, ya que contrasta con lo disminuido en el tratamiento de aguas residuales de la curtiembre de piel paiche (*Arapaima gigas*) usando el prototipo SETAR; A pesar de ser diferentes las concentraciones iniciales aguas residuales el tiempo de tratamiento no varía para la remoción lo que no concuerda con lo dicho por Khandegar & Saroha (2013), que de acuerdo con la literatura, un aumento en la concentración inicial de contaminantes (manteniendo constantes otros parámetros) reduce la eficiencia de eliminación de contaminantes del proceso EC.

Y con respecto a lo encontrado por Rodríguez, et al (2019), que concluye que la aplicación del policloruro de aluminio como coagulante es eficiente para la remoción de la DQO, con un porcentaje de remoción de 75.79% de efluentes pretratados una planta industrial de producción de aceite vegetal logrando estar dentro de sus límites máximos permisibles. Con estos resultados el policloruro de aluminio resulta una alternativa útil como post tratamiento para estos efluentes pretratados, teniendo una disminución no tan significativa en su valor inicial, sin embargo, con la electrocoagulación se logró disminuir en un 98% de su valor inicial de 3500 mg/L para DQO en 35 minutos de tratamiento que difiere a los 62 minutos aplicados y a sus valores disminuidos por la investigación en discusión. Además según Restrepo, et al (2006), nos dicen que durante el proceso de electrocoagulación no se necesita la adición de ningún producto químico para la depuración del agua contaminada y esto también lo dice Chen (2004) que la electrocoagulación implica la generación de coagulantes in situ.

- El comportamiento de la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) según el tiempo de tratamiento evidenciado en la tabla 6, nos demuestra cómo descendiendo desde el minuto 10 con 557 mg/L, en el minuto 15 con 110 mg/L y hasta el minuto 20 con 40 mg/L, posteriormente se mantiene constante hasta el minuto 35.

Comportamiento que al ser comparado con lo encontrado por Perez & Rodriguez (2015), en su estudio “Remoción de DQO y DBO del lactosuero ácido mediante el una celda de electrocoagulación”, se encuentran similitudes en el comportamiento de la DBO, donde indica que en el minuto 10 presentaba una concentración de 710.63 mg/L, al minuto 20 una concentración de 100.70 mg/L y al llegar al minuto 30 presentaba una concentración de 159.53 mg/L; Del mismo modo que Villacorta & Rios (2019), que presenta un comportamiento descendente ya que al llegar al minuto 10 tenía 869.3 mg/L, al minuto 15 con 708.1 mg/L y al minuto 20 presenta uno valores óptimos de tratamiento con 674.4 mg/L. A partir del minuto 25 comienza a ascender con 724.5 mg/L, llegando al minuto 30 a estabilizarse con valor de 741.8 mg/L, un poco elevado de lo encontrado en el tiempo óptimo de 20 minutos.

Se está de acuerdo con Perez & Rodriguez (2015) y Villacorta & Rios (2019) en la disminución de los valores de concentración de la DBO ya que tiene la misma tendencia a descender, sin embargo a partir de los siguientes minutos posteriores al tiempo óptimo comienza a subir sus concentraciones. Esto se debe a lo explicado por Liu, Zhao, & Qu (2010), refiere que a partir de los 30 minutos vuelve a incrementar gradualmente el DBO debido a la saturación de electrodos conforme aumenta el tiempo, algo que no concuerda con el presente estudio, pero si por lo dicho por Restrepo, et al (2006). que la mayor eficiencia de remoción de un contaminante se da en pH cercanos a 7, ya que los valores del pH de los estudios en discusión están dentro de este rango incluyendo de la presente investigación, evidenciado en la tabla 8.

Sin embargo, Macedo & Zavala (2021) en su estudio aplicando 24 V de energía en el minuto 40 la concentración de DBO reduce hasta 204 mg/L y en el minuto 60 tiene 150 mg/L. Resultados que difieren con lo dicho por Liu, Zhao, & Qu (2010). Esto da entender que no necesariamente el valor de la concentración se eleva a partir del minuto 30 de tratamiento, sino que depende también de la concentración inicial que presenta las aguas residuales, según Bharath, Krishna, & Manoj (2018) se requiere un tiempo de electrólisis más largo para reducir la concentración de contaminantes residuales hasta el rendimiento de eliminación deseado. Y esto representa un impacto negativo en el costo de tratamiento debido al consumo de energía por tiempos de electrólisis más largos, refiere Khandegar & Saroha (2013)

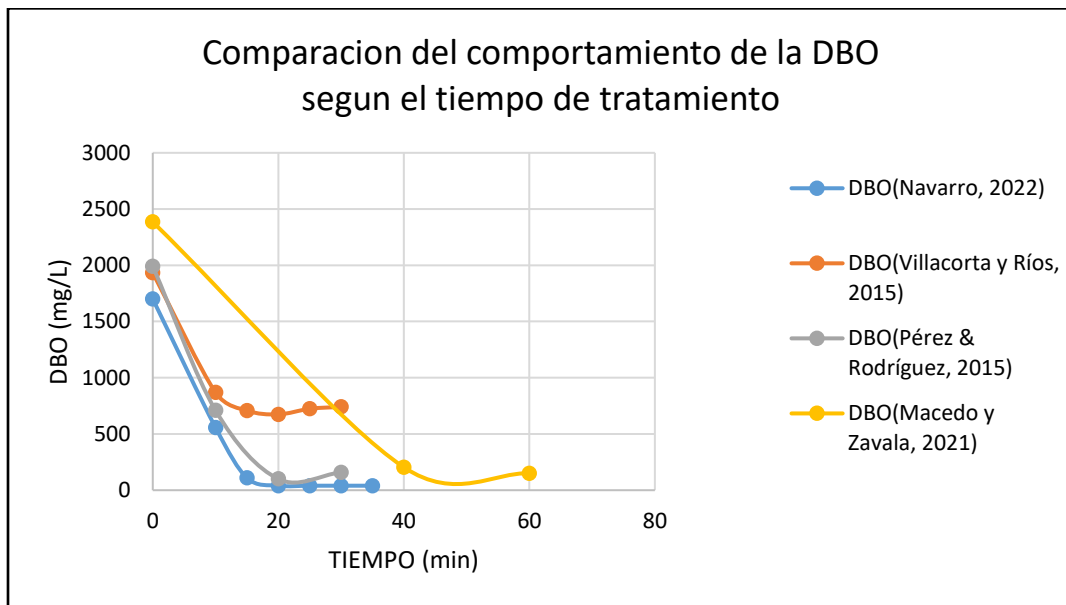


Figura 18. Comparación del comportamiento de la DBO. (Fuente: Elaboración propia)

- El comportamiento de la concentración de la demanda química de oxígeno (DQO) según el tiempo de tratamiento evidenciado en la tabla 7, se aprecia la tendencia a descender conforme avanza el tiempo de igual forma que sucedió con la DBO, al minuto 10 con 823 mg/L, al minuto 15 con 230 mg/L, al minuto 20 con 73 mg/L, al minuto 25 con 70 mg/L, al minuto 30

con 67 mg/L y al 35 con 63 mg/L, la diferencia es que no se estabilizo en el minuto 20 sino que sigue disminuyendo hasta el minuto 35.

Estos resultados al ser comparados por lo encontrado por Morales (2018) en su estudio “Remoción de aceites y grasas de un efluente industrial del sector lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio”, el comportamiento de la DQO según el tiempo de tratamiento tiene una tendencia a disminuir mediante avanza el tiempo, teniendo en cuenta su valor inicial de 2860 mg/L, a los 15 minutos con 1642 mg/L, al minuto 20 con 1065 mg/L y al minuto 25 con 704 mg/L; del mismo modo que Villacorta & Rios (2019), el comportamiento de la DQO tiene la misma tendencia a disminuir con una concentración inicial de 7547 mg/L, al minuto 15 con 3781.63 mg/L, al minuto 20 con 2658.75 mg/L, con la única diferencia que asciende a partir del minuto 25 con 4056.45 mg/L, 30 con 4314.86 mg/L y en los siguientes minutos sigue ascendiendo hasta llegar al minuto 45 con 5180.46 mg/L. Este comportamiento al igual que la DBO se debe a lo explicado por Liu, Zhao, & Qu (2010).

Se concuerda con Morales (2018) y Villacorta & Rios (2019), que el tiempo adecuado para el tratamiento según el comportamiento de la DQO es en el rango de 20 a 25 minutos, porque exigir más allá de ese tiempo de tratamiento se considera como un gasto energético que conlleva un costo, según lo que refiere Khandegar & Saroha (2013), un aumento en el tiempo de electrólisis hasta el nivel óptimo aumenta la eficiencia de eliminación de contaminantes, pero no aumenta más allá del nivel óptimo. Además de tener valores similares de pH durante el tratamiento, valores cercanos al pH neutro que produce un óptimo tratamiento según lo mencionado por Restrepo, Et al, (2006).

Ahora, en lo encontrado por Cardona & Monsalve (2014), en su estudio “Electrocoagulación para reúso de aguas residuales del proceso de impresión en la industria

papelera”, la DQO tiene un comportamiento descendente y en un menor tiempo de tratamiento con un valor inicial de 7075.9 mg/L, disminuyendo en 5 minutos a 4501.80 mg/L, al minuto 10 con 2295.33 mg/L y al minuto 15 con 2054.03 mg/L. Solo tratando sus efluentes hasta 15 minutos con 15 V, encontrando su tiempo optimo en 10 minutos. Comportamientos similares a los resultados y valores de la DQO de Villacorta & Rios (2019) y a la presente investigación en la reducción de la concentración. Posiblemente si Cardona & Monsalve (2014) hubieran seguido ampliando el rango del tiempo de tratamiento no podrían haber disminuido su concentración más allá del tiempo optimo, dicho por Khandegar & Saroha (2013).

Siendo objetivos la presente investigación alcanza el tiempo optimo al minuto 15, momento que se encuentra al límite de los valores máximos admisibles presentes en lo mencionado por (GRUPO BANCO MUNDIAL, 2015) es de 250 mg DQO/L. De igual manera la investigación de Cardona & Monsalve (2014) al minuto 10 está dentro de sus valores máximos admisibles a excepción de (Villacorta & Rios, 2019) que sigue superando los LMP de su legislación para el tipo de efluente industrial que está tratando.

Macedo & Zavala (2021), al contrario, prolonga su tiempo de tratamiento de 40 a 60 minutos con 24 V para mejorar su eficiencia, disminuyendo de 6517 mg/L de DQO hasta 302 mg/L y 175 mg/L respectivamente. Siendo el mismo tipo de agua residual que trata el prototipo SETAR, logra tener una disminución considerable en la concentración del DQO que está dentro de los valores máximos admisibles para efluentes industriales del procesamiento del aceite vegetal.

Sin embargo, si Macedo & Zavala (2021) hubieran ampliado el número de las placas de electrodos hubieran podido aumentar su eficiencia, porque el prototipo SETAR presenta 26 electrodos lo que lo hace más eficiente. Esto concuerda con lo mencionado por Restrepo, Arango,

& Garces (2006), Si se quiere optimizar el tratamiento de electrocoagulación se tiene que aumentar el área superficial de los electrodos, y esto se obtiene aumentando el número de placas.

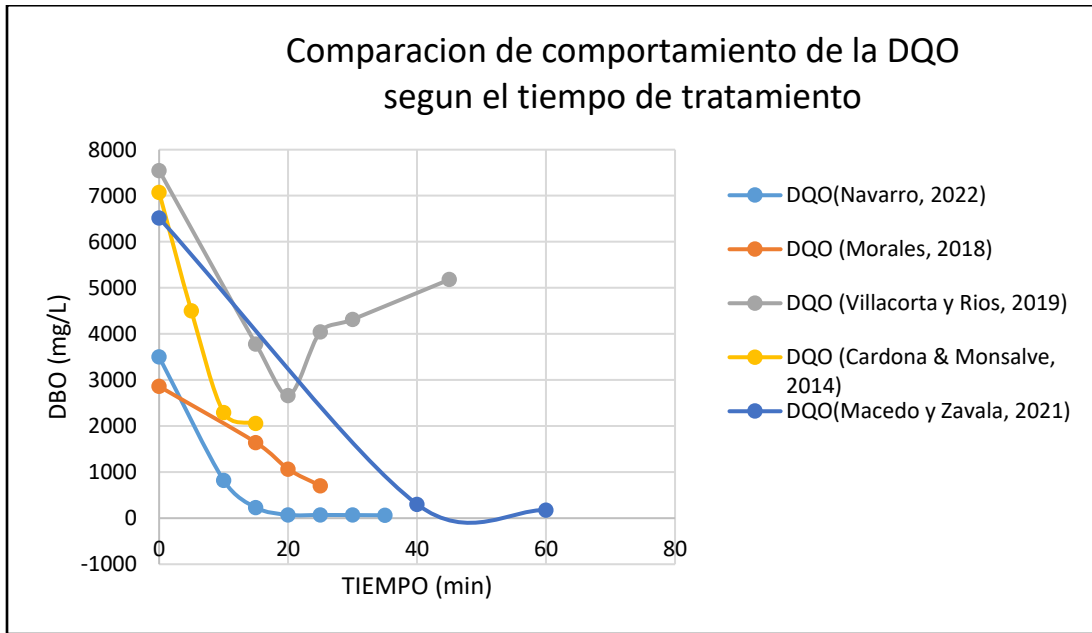


Figura 19. Comparación del comportamiento de la DQO. (Fuente: Elaboración propia)

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.3. CONCLUSIONES

A. Se determinó el tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación para la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L., siendo el tiempo de tratamiento de 20 minutos para la DBO y DQO, con un 98% de remoción y con valores de 40 ml DBO/L y 73 mg DQO/L. Valores que están los valores máximos admisibles para efluentes del procesamiento de aceite vegetal en la guía sobre el medio ambiente y seguridad establecidos por (GRUPO BANCO MUNDIAL, 2015). De esta manera se acepta la hipótesis alterna (Hi) planteada en la presente investigación.

B. Se determinó el comportamiento de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del efluente generado en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L según el tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación, siendo un comportamiento descendente con una baja concentración hasta el minuto 20 con 40 ml DBO/L para mantenerse estabilizado en esa misma concentración hasta el minuto 35.

C. Se determinó comportamiento de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria ROSSEL S.R.L según el tiempo de tratamiento del sistema de electrocoagulación., siendo el comportamiento descendente con una baja concentración hasta el último minuto de tratamiento con 63 mg DQO/L

4.4.RECOMENDACIONES

- A. A la empresa Agropecuaria Rossel S.R.L., promover la aplicación de la electrocoagulación a través de prototipo SETAR ya que es un método viable para el tratamiento de sus efluentes de PTARI.
- B. A la empresa Agropecuaria Rossel S.R.L, según los resultados obtenidos por la presente investigación, estas aguas tratadas pueden ser usadas para el riego de sus plantaciones de palma aceitera.
- C. Del prototipo SETAR, antes de su uso verificar las conexiones eléctricas a fin de tener un mejor rendimiento en el tratamiento.
- D. Del prototipo SETAR, verificar el transformador AC/DC antes de su uso, para evitar complicación durante el tratamiento.
- E. Del prototipo SETAR, promover investigaciones con diferente tipo de agua residual enfocados en el voltaje y tiempo de tratamiento.
- F. Para tener un mayor porcentaje de remoción de la concentración de la DBO y DQO para aguas residuales de una planta extractora de aceite vegetal, las aguas deben estar previamente tratadas. Y con una concentración aproximada de 4000 mg/L para DQO y 2000 mg/ de DBO.
- G. Usar electrodos nuevos o cambiar constantemente los electrodos después de varios usos del sistema de electrocoagulación.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- AGROPECUARIA-ROSSEL. (2020).** Programa de Adecuacion Ambiental 2020. Pucallpa.
- Arias, K. (2021).** Evaluación de tratamiento para los efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (*Elaeis guineensis*) en el Cantón la Concordia. Guayaquil, Ecuador.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. (marzo de 2016).** Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad del agua de los recurso hidricos superficiales. Lima, Peru. Recuperado el Marzo de 2016
- Azniidris, & Aukay, S. (1995).** Manejo de efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma - proceso de la más avanzada tecnología. Obtenido de <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/viewFile/509/509>
- Bharath, M., Krishna, B., & Manoj, K. (2018).** Una revisión del proceso de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales. Vol.11, 289-302.
- Butler, E., Hung, Y., Yeh, R., & Al-Ahmad, M. (2011).** Electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales (Vol. 3). Water. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4441/3/2/495>
- Calzada, F., & Martínez del pozo, J. (2012).** Diseño de un sistema industrial de enfriamiento con agua de refrigeración para un complejo industrial en lima, Perú. Madrid.
- Cardona, S., & Monsalve, J. (2014).** Electrocoagulación para reúso de aguas residuales del proceso de impresión en la industria papelera. Medellin, Colombia.
- Chen, G. (2004).** Tecnologías electroquímicas en el tratamiento de aguas residuales. Tecnología de separación y purificación (Vol. 38). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586604001315>
- Comninellis, C., & Chen, G. (2010).** Electroquímica para el medio ambiente (Vol. 15). Nueva York: Springer.
- CORREA, G. (2008).** Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de santa fé de Antioquia - Colombia. Medellin.
- Dagoberto, E. (2005).** EL BIODIGESTOR. COSTA RICA: ACCS.
- Del Angel, M. (1994).** Contribucion al estudio de la Demanda Bioquimica de Oxigeno. Monterrey.
- DGCA, (. G. (2012).** Estudio sobre la potencialidad de la palma aceitera para reducir la dependencia de oleaginosas importadas en el Perú.

- Diaz, R., & Vega, J. (2013).** *Efecto de la variación de la carga orgánica en el desempeño de un reactor uasb (upflow anaerobic sludge blanket) tratando efluentes de una planta extractora de aceite de palma. Revista ambiental agua aire y suelo.*
- DIRECCION GENERAL DE SALUD AMBIENTAL. (2015).** *protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservacion, conservacion, transporte, almacenamiento y recepcion de agua para consumo humano. Lima, Peru.*
- Espigares, M., & Perez, J. (s.f.).** *Aguas Residuales. Composicion. Salamanca, España.*
- FEDEPALMA. (2010).** *Anuario estadístico 2010: La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo 2005-2009. ANUARIO ESTADISTICO.*
- GRUPO BANCO MUNDIAL. (2015).** *Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la producción y el procesamiento de aceite vegetal.*
- HANNA. (2005).** *Demanda química de oxígeno y materia orgánica. ARGENTINA. Obtenido de http://www.hannaarg.com/pdf/002DQO_nota_tecnica.pdf*
- Igwe, J., & Onyegbado, C. (2007).** *Una revisión del tratamiento de agua de efluentes de molinos de aceite de palma (POME).*
- Khandegar, V & Saroha, A. (2012).** *Electrochemical treatment of distillery spent wash using aluminum and iron electrodes. vol. 20, 439–443.*
- Khandegar, V., & Saroha, A. (2013).** *Electrocoagulación para el tratamiento de efluentes de la industria textil. 949–963. doi:10.1016/j.jenvman.2013.06.043.*
- Lekhlif, B., Oudrhiri, L., Zidane, F., Drogui, P., & Blais, J. (2014).** *Estudio de la electrocoagulación de aguas industriales de galvanoplastia cargadas de Niquel (II) y Como (VI) (Vol. 5). Mater. Environ. Sci. Obtenido de http://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol5/vol5_N1/13-JMES-510-2014-Lekhlif.pdf*
- Lian Pin, K., & Wilcove, D. (2008).** *Is oil palm agriculture really destroying tropical biodiversity? Conservation Letters.*
- Liu, H., Zhao, X., & Qu, J. (2010).** *Electrocoagulación en el tratamiento de aguas. Springer, Nueva York: Electroquímica para el Medio Ambiente.*
- Lopez, P., & Harnist, A. (2016).** *Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. QUITO. Obtenido de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v7n1/1390-6542-enfoqueute-7-01-00013.pdf>*

- Lovato, E. G. (2018).** *Diseño de jardín depurador piloto para tratamiento de aguas residuales en la hostería Garceta-Sol. Quito.*
- Macedo, C., & Zavala, B. (2021).** *Eficiencia de la electrocoagulación para tratar materia orgánica en agua residual de la extracción de aceite de palma, San Martín 2021. Tarapoto, Peru.*
- Mansouri, K., Ibrik, K., Bensalah, N., & Abdel-Wahab, A. (2011).** *Anodic Dissolution of Pure Aluminum during Electrocoagulation Process: Influence of Supporting Electrolyte, Initial pH, and Current Density (Vol. 50). Industrial & Engineering Chemistry Research. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie201206d>*
- Martinez, F. (2008).** *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Tesis para Doctor en Ingeniería Química. Universidad Castilla - La Mancha, Castilla. Obtenido de <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251%20Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20industriales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>*
- Maystre, L., & Jerry, S. (2012).** *Control de la Contaminación Ambiental. Ecuador: ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.*
- Medina, E., & Acosta, A. (2009).** *Evaluación del efecto de la electrocoagulación en a disminución de la carga contaminante en aguas residuales. Maracaibo, Venezuela .*
- METCALF, E. (1985).** *Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, Evacuación y Reutilización de las Aguas Residuales. Madrid: Labor S.A.*
- MINAG. (2001).** *Plan Nacional de Promoción de la Palma Aceitera. Obtenido de <http://www.biofuelobservatory.org/Documentos/Normativa/Resoluciones-Ministeriales/RM-0155-2001-AG.pdf>.*
- Mollah, M., Morkovsky, P., Gomes, J., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. (2004).** *Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials, 199–210.*
- Mollah, M., Yousuf, A., Schennach, R., Parga, J., & Cocke, D. (2001).** *Electrocoagulation (EC) - Science and applications. 84, 29-41. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389401001765>*
- Morales, S. (2018).** *Remoción de aceites y grasas de un efluente industrial del sector lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio. Lima.*

- Narvaez, E. (2015).** *Estudio sobre la recirculación de agua de producción utilizada para la extracción del aceite crudo de palma. San Francisco de Quito.*
- Pechsuth, M., Prasertsan, P., & Ukita, M. (2001).** *Tratamiento anaeróbico de alta tasa de efluentes de molinos de aceite de palma.*
- Perez, J., & Gardey, A. (2017).** «Definición de efluente». Obtenido de <https://definicion.de/efluente/>.
- Perez, J., & Rodriguez, R. (2015).** *Remoción de DQO y DBO del lactosuero ácido mediante el uso de una celda de electrocoagulación. Huancayo, Peru.*
- Perez, L. (2017).** *Uso de la electrocoagulación para reducir la carga de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales Ajeper-Huachipa 2017 II. Lima.*
- Prieto, F., Callejas, J., & Reyes, V. (2012).** *Electrocoagulación: una alternativa para depuración de lactosuero residual. AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, 5(3), 51-77. Obtenido de <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/34727>*
- Restrepo, A., Arango, A., & Garces, L. (2006).** *Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas (Vol. 1). Producción más limpia. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Luis-Garces-Giraldo/publication/277035194_La_Electrocoagulation_retos_y_oportunidades_en_el_tratamiento_de_aguas/links/5ef25e06458515ceb2046e5f/La-Electrocoagulation-retos-y-oportunidades-en-el-tratamiento-de-aguas.pdf*
- Rivas, J. (2016).** *Rediseño del sistema de tratamiento del agua residual para la Extractora de Palma Aceitera La Sexta. Riobamba.*
- Rodrigo, M., Gomez, J., Lobato, J., & Cañizares, P. (2004).** *El tratamiento electroquímico en la depuración de efluentes industriales líquidos: como alternativa a tratamientos convencionales. Ingeniería Química. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1010908>*
- Rodríguez, Y., Torregroza, A., Mejía, F., Atencia, J., & Villero, A. (2019).** *Eficiencia de la aplicación de policloruro de aluminio en post-tratamiento de aguas industriales en palma de aceite. TEMAS AGRARIOS.*
- Romero, A. (1999).** *Tratamiento de Aguas Residuales por lagunas de estabilización. Mexico: Alfaomega.*

- Ruiz, A., & Giraldo, F. (2007).** *Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Medellín, Colombia.*
- Serrano Santa Maria, A. (2017).** *Influencia de la densidad de corriente y la distancia entre electrodos en la remoción de del color y la demanda química de oxígeno de efluentes de recurtido usando la electrocoagulación-ozonificación. TRUJILLO.*
- UNESCO. (2003).** *AGUA PARA TODOS. PARIS: WORLD WATER.*
- Vazques, L. (2017).** *Efecto de dos biodigestores en la variación de la carga orgánica del efluente de la planta extractora de aceite de palma, Ucayali 2017. Pucallpa.*
- Vera, J. (2016).** *comparación de la coagulación química y la electrocoagulación en la eficiencia de remoción de turbidez de agua del río rímac. Lima, Peru.*
- Vidales. (2010).** *Waste Treatment in the Food Processing Industry. Taylor Y Francis.*
- Villacorta, Z. Z., & Rios, D. A. (2019).** *Sistema de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la curtiembre de piel de Paiche (Arapaima gigas) en el CITE Pesquero, región Ucayali. Tesis de pre grado. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Ucayali. Obtenido de <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4290>*
- Wang, L., Hung, Y., Lo, H., & Yapijakis, C. (2007).** *Tratamiento de residuos industriales peligrosos. Taylor And Frnacis.*

ANEXOS

Anexo A. Operacionalización de las variables

DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Variable independiente: Sistema de electrocoagulación				
Según Vera (2016), están conformados por un conjunto de elementos que trabajan bajo ciertas condiciones para oxidar compuestos presentes en el agua alterando su polaridad.	La electrocoagulación es un método de tratamiento de agua no convencional que consiste en inducir energía eléctrica a través de electrodos metálicos y desestabilizar la partícula coloidal contaminante en un medio acuoso	Intensidad de corriente eléctrica	Voltaje de energía eléctrica = 12 V	Voltios
		Tiempo de retención hidráulica	T1: 10; T2: 15; T3: 20; T4: 25; T5: 30; T6: 35	Minutos
Variable dependiente: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)				
Según HANNA (2005), DBO, es la cantidad de oxígeno en mg/l necesaria para descomponer la materia orgánica presente mediante acción de los microorganismos aerobios presentes en el agua, y la Demanda Química de Oxígeno, DQO, es la cantidad de oxígeno en mg/l consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en un agua. Se emplean oxidantes químicos, como el dicromato de potásico	La materia orgánica se evalúa indirectamente en función a ciertos parámetros indicadores como son la DQO, DBO, DBO5, SST, etc	Valor de la DBO	Alta y baja concentración de DBO	mg DBO/L
		Valor de la DQO	Alta y baja concentración de DQO	mg DQO/L

Figura 20. Operacionalización de las variables

Anexo B. Cadenas de custodia para DBO y DQO

CADENA DE CUSTODIA DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUA

LOGO AQUAS

CLIENTE: **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA** R.E.D. Nº: **048/22**
 PROCEDENCIA: **LABORATORIO MUNICIPAL DE AGENCIA N.º 6 - SUT. PARROQUIA DE SAN AUGUSTIN DE LOS RIOS (PROV. BUENOS AIRES)** ORDEN DE TRABAJO Nº: **L.0449/22**
 PUESTO: **CUBELERA** PRECISO: **LABORAL (DIURNO)** DEPARTAMENTO: **LABORAL** CÓDIGO INTERNO Nº: **L.0449/22**
 CONTACTO: **ANDRÉS DEL POZO** TELÉFONO: **0350 541333** CORREO:

ESTADO: EN PROCESO CERRADO

Código de Laboratorio	Código de muestra	Fecha	Hora	Número [°]	Tipo de muestra	Método	Resultado	Observaciones
0747-1	TPA-000	11/01/22	10:30					
0747-2	TPA-001	11/01/22	10:35					
0747-3	TPA-002	11/01/22	10:40					
0747-4	TPA-003	11/01/22	10:50					
0747-5	TPA-004	11/01/22	10:55					
0747-6	TPA-005	11/01/22	11:00					
0747-7	TPA-006	11/01/22	11:05					
0747-8	TPA-007	11/01/22	11:10					
0747-9	TPA-008	11/01/22	11:20					

Observaciones:
 Puntuación:
 Los parámetros están siendo analizados a solicitud del cliente.

Responsable: **YONÉ MONTEZ** Fecha: **11/02/22**
 Muestreado por: **YONÉ MONTEZ** Fecha: **11/01/22**
 Cliente / Campo: **YONÉ MONTEZ** Fecha: **11/01/22**
 Inventario de Laboratorio: **Montes** Fecha: **05/05/21**
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

LOGO AQUAS

Código: 104-P.3031.01
 Versión: 17/09
 Fecha: 06/08/2021

Figura 21. Cadena de custodia para DQO formato 1

CADENA DE CUSTODIA DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUA

LOGO AQUAS

CLIENTE: **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA** R.E.D. Nº: **048/22**
 PROCEDENCIA: **LABORATORIO MUNICIPAL DE AGENCIA N.º 6 - SUT. PARROQUIA DE SAN AUGUSTIN DE LOS RIOS (PROV. BUENOS AIRES)** ORDEN DE TRABAJO Nº: **L.0449/22**
 PUESTO: **CUBELERA** PRECISO: **LABORAL (DIURNO)** DEPARTAMENTO: **LABORAL** CÓDIGO INTERNO Nº: **L.0449/22**
 CONTACTO: **ANDRÉS DEL POZO** TELÉFONO: **0350 541333** CORREO:

ESTADO: EN PROCESO CERRADO

Código de Laboratorio	Código de muestra	Fecha	Hora	Número [°]	Tipo de muestra	Método	Resultado	Observaciones
0747-10	TPA-009	11/01/22	11:40					
0747-11	TPA-010	11/01/22	11:45					
0747-12	TPA-011	11/01/22	11:50					
0747-13	TPA-012	11/01/22	11:55					
0747-14	TPA-013	11/01/22	12:00					
0747-15	TPA-014	11/01/22	12:05					
0747-16	TPA-015	11/01/22	12:30					
0747-17	TPA-016	11/01/22	12:35					
0747-18	TPA-017	11/01/22	12:40					

Observaciones:
 Puntuación:
 Los parámetros están siendo analizados a solicitud del cliente.

Responsable: **YONÉ MONTEZ** Fecha: **11/02/22**
 Muestreado por: **YONÉ MONTEZ** Fecha: **11/01/22**
 Cliente / Campo: **YONÉ MONTEZ** Fecha: **11/01/22**
 Inventario de Laboratorio: **Montes** Fecha: **05/05/21**
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

LOGO AQUAS

Código: 104-P.3031.01
 Versión: 17/09
 Fecha: 06/08/2021

Figura 22. Cadena de custodia para DQO formato 2.

CADENA DE CUSTODIA DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUA

LOGO AQUAS

CLIENTE: **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA** R.E.D. Nº: **048/22**
 PROCEDENCIA: **LABORATORIO MUNICIPAL DE AGENCIA N.º 6 - SUT. PARROQUIA DE SAN AUGUSTIN DE LOS RIOS (PROV. BUENOS AIRES)** ORDEN DE TRABAJO Nº: **L.0449/22**
 PUESTO: **CUBELERA** PRECISO: **LABORAL (DIURNO)** DEPARTAMENTO: **LABORAL** CÓDIGO INTERNO Nº: **L.0449/22**
 CONTACTO: **ANDRÉS DEL POZO** TELÉFONO: **0350 541333** CORREO:

ESTADO: EN PROCESO CERRADO

Código de Laboratorio	Código de muestra	Fecha	Hora	Número [°]	Tipo de muestra	Método	Resultado	Observaciones
0747-19	TPA-018	11/01/22	12:45					

Observaciones:
 Puntuación:
 Los parámetros están siendo analizados a solicitud del cliente.

Responsable: **YONÉ MONTEZ** Fecha: **11/02/22**
 Muestreado por: **YONÉ MONTEZ** Fecha: **11/01/22**
 Cliente / Campo: **YONÉ MONTEZ** Fecha: **11/01/22**
 Inventario de Laboratorio: **Montes** Fecha: **05/05/21**
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

LOGO AQUAS

Código: 104-P.3031.01
 Versión: 17/09
 Fecha: 06/08/2021

Figura 23. Cadena de custodia para DQO formato 3.

CADENA DE CUSTODIA DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUA

EQUAS S.A. - Calle 100 No. 100 - Bogotá D.C. - Colombia
Teléfono: (57) 1 261 2000

Cliente: JOSÉ IVÁN GARCÍA MORALES PEZO
Procedimiento: LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DEL AGUA - SISTEMA ELECTROCONDUCTIVIDAD AGUAS RESIDUALES
Direccion: CALLE 69
Contacto: MARIANO PEZO
Departamento: URBANO
Ciudad: BOGOTÁ

P.A.S. N°: 048/22
ORDEN DE TRABAJO N°: L.O.150/22

Lab	Col	Fecha	Hora	Temperatura (°C)	PH	Conductividad (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Color (Pt-Co)	Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/l)	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) (mg/l)	Cloro residual libre (mg/l)	Cloro residual total (mg/l)	Cloro residual combinado (mg/l)	Cloro residual libre (mg/l)	Cloro residual total (mg/l)	Cloro residual combinado (mg/l)	Cloro residual libre (mg/l)	Cloro residual total (mg/l)	Cloro residual combinado (mg/l)	
0150-1	NT-DBO	11/04/22	10:35																	

RECIBIDO

CONTROL DE CALIDAD DE MUESTRAS
EQUAS S.A.

Responsable	Fecha	Fecha y Hora
Muestreado por: JOSÉ IVÁN GARCÍA MORALES PEZO	[Firma]	11/04/22 10:35
Obtenido / Cargado por: JOSÉ MORALES PEZO	[Firma]	11/04/22 11:05
Responsable Laboratorio: Mariana Pezo	[Firma]	11/04/22 05:45 h

VINCULACIONES Pág. 3 de 3

Figura 24. Cadena de custodia para DBO formato 1.

CADENA DE CUSTODIA DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUA

EQUAS S.A. - Calle 100 No. 100 - Bogotá D.C. - Colombia
Teléfono: (57) 1 261 2000

Cliente: JOSÉ IVÁN GARCÍA MORALES PEZO
Procedimiento: LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DEL AGUA - SISTEMA ELECTROCONDUCTIVIDAD AGUAS RESIDUALES
Direccion: CALLE 69
Contacto: MARIANO PEZO
Departamento: URBANO
Ciudad: BOGOTÁ

P.A.S. N°: 048/22
ORDEN DE TRABAJO N°: L.O.150/22

Lab	Col	Fecha	Hora	Temperatura (°C)	PH	Conductividad (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Color (Pt-Co)	Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/l)	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) (mg/l)	Cloro residual libre (mg/l)	Cloro residual total (mg/l)	Cloro residual combinado (mg/l)	Cloro residual libre (mg/l)	Cloro residual total (mg/l)	Cloro residual combinado (mg/l)	Cloro residual libre (mg/l)	Cloro residual total (mg/l)	Cloro residual combinado (mg/l)	
0150-2	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-3	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-4	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-5	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-6	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-7	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-8	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-9	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-10	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	

Responsable	Fecha	Fecha y Hora
Muestreado por: JOSÉ IVÁN GARCÍA MORALES PEZO	[Firma]	11/04/22 10:45
Obtenido / Cargado por: JOSÉ MORALES PEZO	[Firma]	11/04/22 11:05
Responsable Laboratorio: Mariana Pezo	[Firma]	11/04/22 05:45 h

VINCULACIONES Pág. 3 de 3

Figura 25. Cadena de custodia para DBO formato 2.

CADENA DE CUSTODIA DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUA

EQUAS S.A. - Calle 100 No. 100 - Bogotá D.C. - Colombia
Teléfono: (57) 1 261 2000

Cliente: JOSÉ IVÁN GARCÍA MORALES PEZO
Procedimiento: LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DEL AGUA - SISTEMA ELECTROCONDUCTIVIDAD AGUAS RESIDUALES
Direccion: CALLE 69
Contacto: MARIANO PEZO
Departamento: URBANO
Ciudad: BOGOTÁ

P.A.S. N°: 048/22
ORDEN DE TRABAJO N°: L.O.150/22

Lab	Col	Fecha	Hora	Temperatura (°C)	PH	Conductividad (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Color (Pt-Co)	Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/l)	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) (mg/l)	Cloro residual libre (mg/l)	Cloro residual total (mg/l)	Cloro residual combinado (mg/l)	Cloro residual libre (mg/l)	Cloro residual total (mg/l)	Cloro residual combinado (mg/l)	Cloro residual libre (mg/l)	Cloro residual total (mg/l)	Cloro residual combinado (mg/l)	
0150-11	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-12	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-13	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-14	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-15	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-16	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-17	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-18	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-19	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	
0150-20	TUR-DBO	11/04/22	10:45																	

Responsable	Fecha	Fecha y Hora
Muestreado por: JOSÉ IVÁN GARCÍA MORALES PEZO	[Firma]	11/04/22 10:45
Obtenido / Cargado por: JOSÉ MORALES PEZO	[Firma]	11/04/22 11:05
Responsable Laboratorio: Mariana Pezo	[Firma]	11/04/22 05:45 h

VINCULACIONES Pág. 3 de 3

Figura 26. Cadena de custodia para DBO formato 3.

Anexo C. Informes de ensayos



**Environmental Quality
Analytical Services S.A.**
Compromiso de Calidad en la Protección y Mejoramiento Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON
REGISTRO N° LE - 030



INACAL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN

INFORME DE ENSAYO N° A0150/22

Solicitante : JOSUE IVES CALEB NAVARRO PEZO
Dirección : Jr. Hortencia Pardo Mz 15 Lt 28 - Distrito de Manantay
 Provincia de Coronel Portillo, Pucallpa - Ucayali

Procedencia : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI KM. 5 – SIS.
 ELECTROCOAGULACIÓN – AGUAS RESIDUALES
 Distrito: Calleria - Provincia: Coronel Portillo -
 Departamento: Ucayali

Matriz de la Muestra : Agua Residual Industrial

Fecha de Muestreo : 11 - Febrero - 2 022
 Responsable del Muestreo : Personal técnico – Empresa solicitante
 Fecha y Hora de Recepción : 12 - Febrero - 2 022 / 08:45 h
 Fecha de Ejecución del Ensayo : 12 al 19 - Febrero - 2 022

Código Interno: L0150/22

PARÁMETROS	0150 - 1 SM MT - DBO ^{5H} (10-3 h)	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
Demanda bioquímica de Oxígeno	1/00	mg DBO/L	APHA 5210 B
(*) Código de Laboratorio	(*) Código del Solicitante y hora de muestreo		

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS –
 Standard Methods for the Examination of Water And Wastewater, 23 ed Ed. APHA, AWWA WEF, 2017

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA –
 Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES –
 Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 19 de Febrero de 2 022.



Ing. Eusebio Víctor Córdor Evaristo
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.
 Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.
 Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra proveniente para los ensayos de metales, la solicitud de devolución ante la comisión debe realizarse diez días hábiles antes de su vencimiento.

Código F01-PI-08-04 Dirección de Laboratorio: MZ I Lote 74, Urb. Naranjillo – Puente Piedra, alt. del Km.28.5 de la Pan. Norte
 División 01 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e-mail: info@equas.com.pe
 Fecha: 02-11-2021 Página 1 de 7

Figura 27. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 1 de 7)



**Environmental Quality
Analytical Services S.A.**
Compromiso de Calidad en la Protección y Mejoramiento Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON
REGISTRO N° LE - 030



INACAL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN

INFORME DE ENSAYO N° A0150/22

Solicitante : JOSUE IVES CALEB NAVARRO PEZO
Dirección : Jr. Hortencia Pardo Mz 15 Lt 28 - Distrito de Manantay
 Provincia de Coronel Portillo, Pucallpa - Ucayali

Procedencia : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI KM. 5 – SIS.
 ELECTROCOAGULACIÓN – AGUAS RESIDUALES
 Distrito: Calleria - Provincia: Coronel Portillo -
 Departamento: Ucayali

Matriz de la Muestra : Agua Residual Industrial

Fecha de Muestreo : 11 - Febrero - 2 022
 Responsable del Muestreo : Personal técnico – Empresa solicitante
 Fecha y Hora de Recepción : 12 - Febrero - 2 022 / 08:45 h
 Fecha de Ejecución del Ensayo : 12 al 19 - Febrero - 2 022

Código Interno: L0150/22

PARÁMETROS	0150 - 2 SM TIR1 - DBO ^{5H} (10-43 h)	0150 - 3 SM TIR2 - DBO ^{5H} (10-48 h)	0150 - 4 SM TIR3 - DBO ^{5H} (10-53 h)	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
Demanda bioquímica de Oxígeno	5/0	1/0	4/0	mg 13KH	APHA 5210 B
(*) Código de Laboratorio	(*) Código del Solicitante y hora de muestreo				

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS –
 Standard Methods for the Examination Of Water And Wastewater, 23 rd ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA –
 Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES –
 Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 19 de Febrero de 2 022.



Ing. Eusebio Víctor Córdor Evaristo
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.
 Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.
 Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra proveniente para los ensayos de metales, la solicitud de devolución ante la comisión debe realizarse diez días hábiles antes de su vencimiento.

Código F01-PI-08-04 Dirección de Laboratorio: MZ I Lote 74, Urb. Naranjillo – Puente Piedra, alt. del Km.28.5 de la Pan. Norte
 División 01 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e-mail: info@equas.com.pe
 Fecha: 02-11-2021 Página 2 de 7

Figura 28. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 2 de 7)

INFORME DE ENSAYO N° A0150/22

Solicitante : JOSUE IVES CALEB NAVARRO PEZO
Dirección : Jr. Hortencia Pardo Mz 15 Lt 28 - Distrito de Manantay
 Provincia de Coronel Portillo, Pucallpa - Ucayali

Procedencia : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI KM. 5 - SIS.
 ELECTROCOAGULACIÓN - AGUAS RESIDUALES
 Distrito: Calleria - Provincia: Coronel Portillo -
 Departamento: Ucayali

Matriz de la Muestra : Agua Residual Industrial

Fecha de Muestreo : 11 - Febrero - 2 022
Responsable del Muestreo : Personal Técnico - Empresa solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 12 - Febrero - 2 022 / 08:45 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 12 al 19 - Febrero - 2 022

Código Interno: L0150/22

PARÁMETROS	0150 - 6 ⁽¹⁾	0150 - 6 ⁽²⁾	0150 - 7 ⁽¹⁾	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	T1R4 - DBO ⁽³⁾ (10:55 h)	T1R5 - DBO ⁽³⁾ (11:03 h)	T1R6 - DBO ⁽³⁾ (11:08 h)		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	40	40	40	mg DBO/L	APHA 5210 B
(1) Código de Laboratorio		(2) Código del Solicitante y hora de muestreo			

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS -
 Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 23 rd Ed. APHA, AWWA WPCF, 2017

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA -
 Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES -
 Los resultados no aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 19 de Febrero de 2 022.

EQUAS S.A.
 Ing. Eusebio Víctor Córdar Evaristo
 Gerente General

Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General - EQUAS S.A.
 Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra destinada para los ensayos de metales, la solicitud de dimensión ante la comisión debe realizarse diez días antes de su vencimiento.

Código: P01-P-DR-04 Dirección del Laboratorio: Mz 1 Lt 28, Urb. Naranjillo - Puente Piedra, all. del Km 29,5 de la Pan. Norte
 Revisión: 01 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e-mail: info@equas.com.pe
 Fecha: 02-11-2021

Figura 29. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 3 de 7)

INFORME DE ENSAYO N° A0150/22

Solicitante : JOSUE IVES CALEB NAVARRO PEZO
Dirección : Jr. Hortencia Pardo Mz 15 Lt 28 - Distrito de Manantay
 Provincia de Coronel Portillo, Pucallpa - Ucayali

Procedencia : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI KM. 5 - SIS.
 ELECTROCOAGULACIÓN - AGUAS RESIDUALES
 Distrito: Calleria - Provincia: Coronel Portillo -
 Departamento: Ucayali

Matriz de la Muestra : Agua Residual Industrial

Fecha de Muestreo : 11 - Febrero - 2 022
Responsable del Muestreo : Personal Técnico - Empresa solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 12 - Febrero - 2 022 / 08:45 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 12 al 19 - Febrero - 2 022

Código Interno: L0150/22

PARÁMETROS	0150 - 8 ⁽¹⁾	0150 - 9 ⁽¹⁾	0150 - 10 ⁽¹⁾	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	T2R1 - DBO ⁽³⁾ (11:30 h)	T2R2 - DBO ⁽³⁾ (11:35 h)	T2R3 - DBO ⁽³⁾ (11:40 h)		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	50	110	40	mg DBO/L	APHA 5210 B
(1) Código de Laboratorio		(2) Código del Solicitante y hora de muestreo			

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS -
 Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 23 rd Ed. APHA, AWWA WPCF, 2017

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA -
 Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES -
 Los resultados no aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 19 de Febrero de 2 022.

EQUAS S.A.
 Ing. Eusebio Víctor Córdar Evaristo
 Gerente General

Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General - EQUAS S.A.
 Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra destinada para los ensayos de metales, la solicitud de dimensión ante la comisión debe realizarse diez días antes de su vencimiento.

Código: P01-P-DR-04 Dirección del Laboratorio: Mz 1 Lt 28, Urb. Naranjillo - Puente Piedra, all. del Km 29,5 de la Pan. Norte
 Revisión: 01 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e-mail: info@equas.com.pe
 Fecha: 02-11-2021

Figura 30.. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 4 de 7)



Figura 31. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 5 de 7)



Figura 32. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 6 de 7)



Environmental Quality Analytical Services S.A.
Instituto de Servicios de Ingeniería y Laboratorio Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-030



INFORME DE ENSAYO N° A0150/22

Solicitante : JOSUE IVES CALEB NAVARRO PEZO
Dirección : Jr. Hortencia Pardo Mz 15 Lt 28 - Distrito de Manantay
Provincia de Coronel Portillo, Pucallpa - Ucayali

Procedencia : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI KM. 5 – SIS.
ELECTROCOAGULACIÓN – AGUAS RESIDUALES
Distrito: Calleria - Provincia: Coronel Portillo - Departamento: Ucayali

Matriz de la Muestra : Agua Residual Industrial

Fecha de Muestreo : 11 - Febrero - 2 022
Responsable del Muestreo : Personal técnico – Empresa solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 12 - Febrero - 2 022 / 08:45 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 12 al 19 - Febrero - 2 022

Código Interno: L0150/22

PARÁMETROS	0150 - 17 ^(*)	0150 - 18 ^(*)	0150 - 19 ^(*)	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	TSR4 - DBO ^(**) (12-35 h)	TSR5 - DBO ^(**) (12-45 h)	TSR6 - DBO ^(**) (12-45 h)		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	40	40	20	mg DBO/L	APHA 5210 B
(*) Código de Laboratorio		(*) Código del Solicitante y hora de muestreo			

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS –
 Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA –
 Las muestras cumplieron con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES –
 Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 19 de Febrero de 2 022.



Ing. Eusebio Victor Córdor Evaristo
Gerente General




Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.
Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dimitiendo para los ensayos de metales, la solicitud de dimitencia ante la comisión debe realizarse diez días hábiles antes de su vencimiento.

Código: R01-P-DIR-04 Dirección de Laboratorio: MZ I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km 28,5 de la Pan. Norte
Revisión: 01 Teléfonos: 540-4976 / 340-4000 e-mail: info@equas.com.pe
Fecha: 02-11-2021 Página 7 de 7


Figura 33. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 7 de 7)

Anexo D. Informe de ensayo para DQO



Environmental Quality Analytical Services S.A.
Instituto de Servicios de Ingeniería y Laboratorio Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-030



INFORME DE ENSAYO N° A0149/22

Solicitante : JOSUE IVES CALEB NAVARRO PEZO
Dirección : Jr. Hortencia Pardo Mz 15 Lt 28 - Distrito de Manantay
Provincia de Coronel Portillo, Pucallpa - Ucayali

Procedencia : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI KM. 5 – SIS.
ELECTROCOAGULACIÓN – AGUAS RESIDUALES
Distrito: Calleria - Provincia: Coronel Portillo - Departamento: Ucayali

Matriz de la Muestra : Agua Residual Industrial

Fecha de Muestreo : 11 - Febrero - 2 022
Responsable del Muestreo : Personal técnico – Empresa solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 12 - Febrero - 2 022 / 08:45 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 12 al 19 - Febrero - 2 022

Código Interno: L0149/22

PARÁMETROS	0149 - 1 ^(*)	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	MT - DQO ^(**) (10:33 h)		
Demanda Química de Oxígeno	3500	mg DQO/L	APHA 5220 D
(*) Código de Laboratorio		(*) Código del Solicitante y hora de muestreo	

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS –
 Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA –
 Las muestras cumplieron con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES –
 Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 19 de Febrero de 2 022.



Ing. Eusebio Victor Córdor Evaristo
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.
Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dimitiendo para los ensayos de metales, la solicitud de dimitencia ante la comisión debe realizarse diez días hábiles antes de su vencimiento.

Código: I 01 P-LIK-04 Dirección de Laboratorio: MZ I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km 28,5 de la Pan. Norte
Revisión: 01 Teléfonos: 540-4976 / 340-4000 e-mail: info@equas.com.pe
Fecha: 02-11-2021 Página 1 de 7

Figura 34. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 1 de 7)

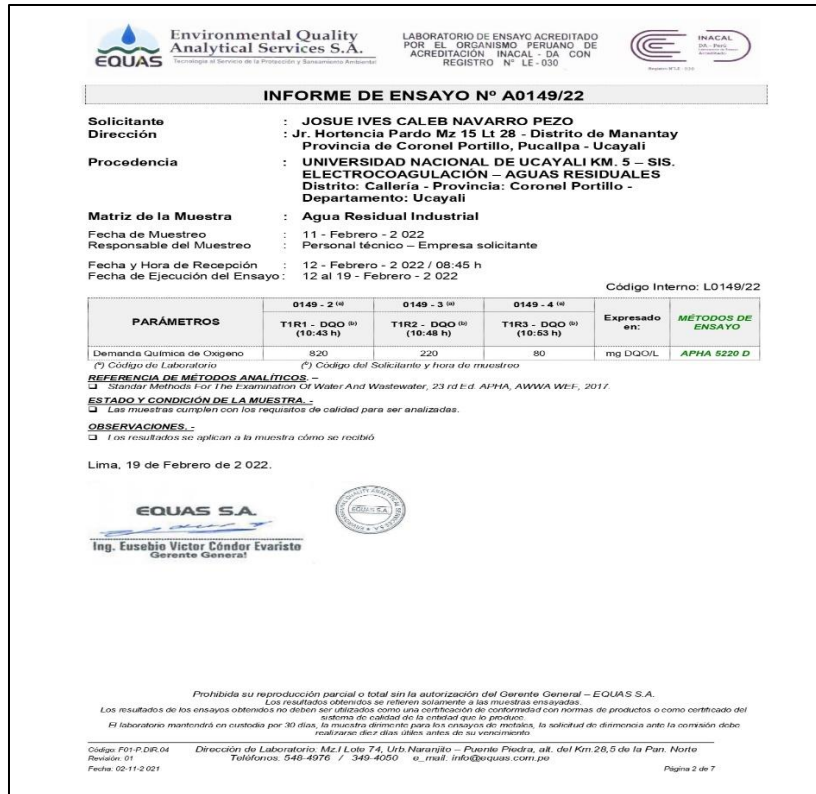


Figura 35. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 2 de 7)

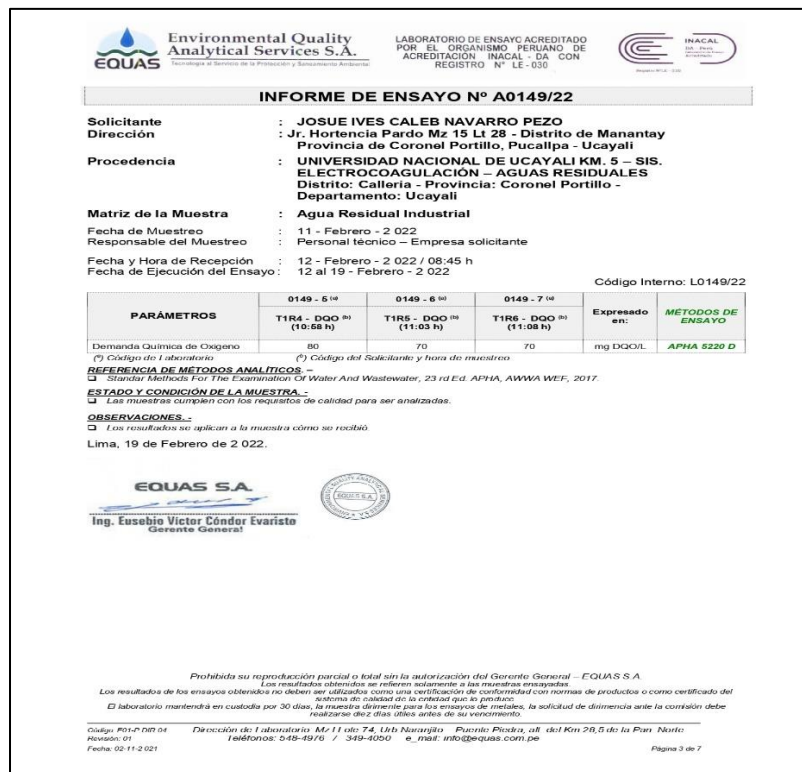


Figura 36. Resultados de laboratorio para muestras de DBO (Pág. 3 de 7)

INFORME DE ENSAYO N° A0149/22

Solicitante : JOSUE IVES CALEB NAVARRO PEZO
Dirección :
Procedencia : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI KM. 5 – SIS.
Distrito: Calleria - **Provincia:** Coronel Portillo -
Departamento: Ucayali

Matriz de la Muestra : Agua Residual
Fecha de Muestreo : 11 - Febrero - 2 022
Responsable del Muestreo : Personal técnico – Empresa solicitante
Fecha y Hora de Recepción : 12 - Febrero - 2 022 / 08:45 h
Fecha de Ejecución del Ensayo: 12 al 19 - Febrero - 2 022

Código Interno: L0149/22

PARÁMETROS	0149 - 8 ^(M) T2R1 - DQO ^(M) (11:30 h)	0149 - 9 ^(M) T2R2 - DQO ^(M) (11:35 h)	0149 - 10 ^(M) T2R3 - DQO ^(M) (11:40 h)	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
Demanda Química de Oxígeno	850	250	70	mg DQO/L	APHA 5220 D

(M) Código del Solicitante y hora de muestreo

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. –
 Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF., 2017.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. –
 Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES. –
 Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 19 de Febrero de 2 022.

EQUAS S.A.
 Ing. Eusebio Victor Córdar Evaristo
 Gerente General

Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.
 Los resultados obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra sujeta para los ensayos de metales, la solicitud de diferencia ante la comisión debe realizarse diez días antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DR.04 Dirección de Laboratorio: MZJ Lote 74, Urb. Naranjo – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte
 Revisión: 01 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e_mail: info@equas.com.pe
 Fecha: 02-11-2021

Figura 37. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 4 de 7)

INFORME DE ENSAYO N° A0149/22

Solicitante : JOSUE IVES CALEB NAVARRO PEZO
Dirección : Jr. Hortencia Pardo Mz 15 Lt 28 - Distrito de Manantay
Provincia de Coronel Portillo, Pucallpa - Ucayali

Procedencia : UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI KM. 5 – SIS.
EL ELECTROCOAGULACIÓN – AGUAS RESIDUALES
Distrito: Calleria - **Provincia:** Coronel Portillo -
Departamento: Ucayali

Matriz de la Muestra : Agua Residual Industrial
Fecha de Muestreo : 11 - Febrero - 2 022
Responsable del Muestreo : Personal técnico – Empresa solicitante
Fecha y Hora de Recepción : 12 - Febrero - 2 022 / 08:45 h
Fecha de Ejecución del Ensayo: 12 al 19 - Febrero - 2 022

Código Interno: L0149/22

PARÁMETROS	0149 - 11 ^(M) T2R4 - DQO ^(M) (11:45 h)	0149 - 12 ^(M) T2R5 - DQO ^(M) (11:50 h)	0149 - 13 ^(M) T2R6 - DQO ^(M) (11:55 h)	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
Demanda Química de Oxígeno	70	80	70	mg DQO/L	APHA 5220 D

(M) Código del Solicitante y hora de muestreo

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. –
 Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF., 2017.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. –
 Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES. –
 Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 19 de Febrero de 2 022.

EQUAS S.A.
 Ing. Eusebio Victor Córdar Evaristo
 Gerente General

Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.
 Los resultados obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra diferente para los ensayos de metales, la solicitud de diferencia ante la comisión debe realizarse diez días antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DR.04 Dirección de Laboratorio: MZJ Lote 74, Urb. Naranjo – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte
 Revisión: 01 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e_mail: info@equas.com.pe
 Fecha: 02-11-2021

Figura 38. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 5 de 7)

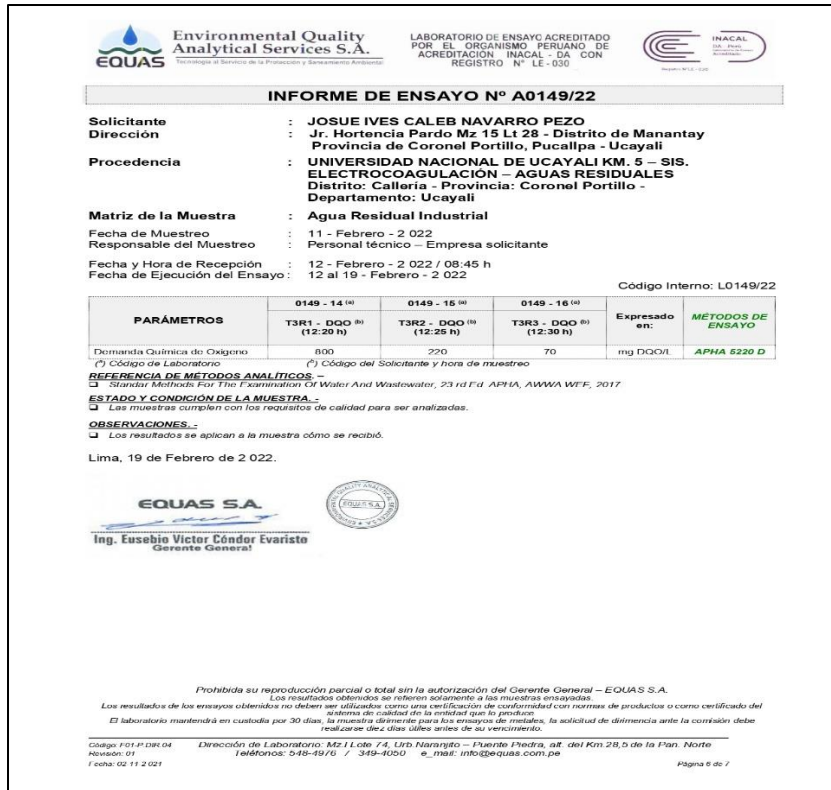


Figura 39. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 6 de 7)



Figura 40. Resultados de laboratorio para muestras de DQO (Pág. 7 de 7)

Anexo E. Resumen estadístico de la prueba Anova de un factor

Descriptivos									
		N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
DBO de efluente de PTARI	10	3	556,67	5,774	3,333	542,32	571,01	550	560
	15	3	106,67	5,774	3,333	92,32	121,01	100	110
	20	3	40,00	,000	,000	40,00	40,00	40	40
	25	3	40,00	,000	,000	40,00	40,00	40	40
	30	3	40,00	,000	,000	40,00	40,00	40	40
	35	3	40,00	,000	,000	40,00	40,00	40	40
	Total	18	137,22	194,658	45,881	40,42	234,02	40	560
DQO de efluente de PTARI	10	3	823,33	25,166	14,530	760,82	885,85	800	850
	15	3	230,00	17,321	10,000	186,97	273,03	220	250
	20	3	73,33	5,774	3,333	58,99	87,68	70	80
	25	3	70,00	10,000	5,774	45,16	94,84	60	80
	30	3	66,67	15,275	8,819	28,72	104,61	50	80
	35	3	63,33	11,547	6,667	34,65	92,02	50	70
	Total	18	221,11	284,023	66,945	79,87	362,35	50	850
PH de efluente de PTARI	10	3	6,500	,1000	,0577	6,252	6,748	6,4	6,6
	15	3	7,133	,1528	,0882	6,754	7,513	7,0	7,3
	20	3	7,500	,0000	,0000	7,500	7,500	7,5	7,5
	25	3	7,633	,0577	,0333	7,490	7,777	7,6	7,7
	30	3	7,667	,0577	,0333	7,523	7,810	7,6	7,7
	35	3	8,067	,1528	,0882	7,687	8,446	7,9	8,2
	Total	18	7,417	,5148	,1213	7,161	7,673	6,4	8,2
T° de efluente de PTARI	10	3	28,100	,1000	,0577	27,852	28,348	28,0	28,2
	15	3	29,467	,2517	,1453	28,842	30,092	29,2	29,7
	20	3	30,733	,1155	,0667	30,446	31,020	30,6	30,8
	25	3	31,567	,4933	,2848	30,341	32,792	31,0	31,9
	30	3	32,300	,2646	,1528	31,643	32,957	32,0	32,5
	35	3	32,733	,5686	,3283	31,321	34,146	32,1	33,2
	Total	18	30,817	16,871	,3976	29,978	31,656	28,0	33,2
Conductividad de efluente de PTARI	10	3	30,533	,01528	,00882	30,154	30,913	3,04	3,07
	15	3	28,967	,01155	,00667	28,680	29,254	2,89	2,91
	20	3	16,733	,03512	,02028	15,861	17,606	1,64	1,71
	25	3	,7100	,04359	,02517	,6017	,8183	,68	,76
	30	3	,5133	,03215	,01856	,4335	,5932	,49	,55
	35	3	,4600	,01000	,00577	,4352	,4848	,45	,47
	Total	18	15,511	111,621	,26309	,9960	21,062	,45	3,07

Figura 41. Análisis descriptivo de la DBO, DQO, PH, Temperatura y Conductividad

Anexo F. Formato de para recolección de datos de campo

Tratamiento 1			
Tiempo	T° °C	PH	Conductividad mS/cm
MT	30,2	5,8	3,6
T1R1 10	28,1	6,4	3,07
T1R2 15	29,2	7,1	2,89
T1R3 20	30,8	7,5	1,67
T1R4 25	31	7,6	0,69
T1R5 30	32,5	7,6	0,50
T1R6 35	33,2	8,2	0,45

Tratamiento 2			
Tiempo	T° °C	PH	Conductividad mS/cm
T2R1 10	28	6,5	3,04
T2R2 15	29,7	7	2,41
T2R3 20	30,8	7,5	1,64
T2R4 25	31,8	7,7	0,76
T2R5 30	32	7,7	0,49
T2R6 35	32,1	7,9	0,47

Tratamiento 3			
Tiempo	T° °C	PH	Conductividad mS/cm
T3R1 10	28,2	6,6	3,05
T3R2 15	29,5	7,3	2,89
T3R3 20	30,6	7,5	1,71
T3R4 25	31,9	7,6	0,68
T3R5 30	32,4	7,7	0,55
T3R6 35	32,9	8,1	0,46

Figura 42. Formato de recolección de datos para parámetros de campo

Anexo G. Panel fotográfico



Figura 43. Limpieza de celdas electroquímicas



Figura 44. Celdas electroquímicas limpias y ajuste de conexiones



Figura 45. Llenado de efluente pre tratado a tanque de 1100 L.



Figura 46. Ingreso de tanque a laboratorio.



Figura 47. Armado de tanque de captación del Prototipo SETAR



Figura 48. Envases para muestras y su Limpieza de envases de muestra



Figura 49. Llenado de reactores electroquímicos



Figura 50. Electrocoagulación en curso.



Figura 51. Monitoreo de amperaje y recolección de datos de campo



Figura 52. Adición de conservante para muestras de DQO



Figura 53. Muestra de aguas tratadas para análisis de laboratorio



Figura 54. Muestras de totales de DBO y DQO para análisis de laboratorio