UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EVALUACIÓN DE LA ELECTROCOAGULACIÓN SOBRE EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE ACEITUNA DE MESA EN TACNA, 2023

TESIS

Presentada por:

Bach. YOHAN JIMY RODRIGUEZ HUARCAYA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS

EVALUACIÓN DE LA ELECTROCOAGULACIÓN SOBRE EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE ACEITUNA DE MESA EN TACNA, 2023

SUSTENTADA Y APROBADA EL 12 DE MARZO DEL 2025, SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE: .....
Dra. Nelly Arévalo Solsol

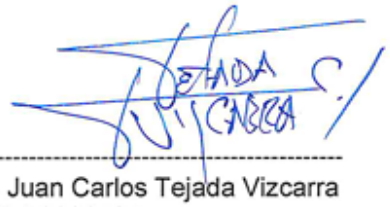
SECRETARIO: .....
Dr. Efren Eugenio Chaparro Montoya

VOCAL: .....
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

ASESOR: .....
Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad 7323-2022-FCAG de la tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA ELECTROCOAGULACIÓN SOBRE EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE ACEITUNA DE MESA EN TACNA, 2023". Presentado por el Bachiller YOHAN JIMY RODRIGUEZ HUARCAYA, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del Software de similitud textual TURNITIN cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 8 %. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis enunciado líneas arriba, la cual esta expedita para continuar con los trámites correspondientes para la obtención de título profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.



Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra
DNI: 30820494

Yohan Jimy Rodriguez Huarcaya
DNI: 70853573

DEDICATORIA

A mi familia, compañeros y jefes de trabajo, a mi asesor, profesores, que me apoyaron de manera constante en el presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A dios.

A mi familia, mi madre y hermanos.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNJBG, por el conocimiento brindado hacia mi persona y la ayuda incondicional constante durante este camino.

A la Universidad Privada de Tacna, por brindarme facilidades del uso de laboratorio.

A mis compañeros y jefes de trabajo por darme la ayuda necesaria y consejos que han sido determinantes para el presente trabajo.

CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA iv

AGRADECIMIENTOS v

CONTENIDO vi

ÍNDICE DE TABLAS xii

ÍNDICE DE FIGURAS xvii

ÍNDICE DE ANEXOS xviii

RESUMEN xix

ABSTRACT xx

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema 5

1.2 Formulación del problema 7

1.2.1 Formulación del problema general 7

1.2.2 Formulación de los problemas específicos 7

1.3 Delimitación de la investigación 7

1.3.1 Delimitación temporal 7

1.3.2 Delimitación espacial 8

1.3.3 Delimitación teórica 8

1.4 Justificación de la investigación 8

1.4.1 Justificación social..... 8

1.4.2 Justificación económica 9

1.4.3 Justificación ambiental 9

1.5 Limitaciones……..…..... 9

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos……..... 10

2.1.1 Objetivo general 10

2.1.2 Objetivos específicos 10

2.2 Hipótesis……..... 10

2.2.1 Hipótesis general 10

2.2.2 Hipótesis específicas..... 11

2.3 Variables……..... 11

2.3.1 Variable independiente..... 11

2.3.2 Variable dependiente 11

2.3.3 Operacionalización de las variables 11

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes……..... 13

3.1.1 Antecedentes del análisis los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa 13

3.1.2 Antecedentes de la influencia de la intensidad de corriente y tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa 17

3.2 Bases teóricas……..... 23

3.2.1 Electrocoagulación..... 23

3.2.2 Celda de electrocoagulación..... 24

3.2.3 Características fisicoquímicas de agua residual del proceso de aceituna de mesa..... 26

3.2.4 Intensidad de corriente y tiempo de reacción del proceso de electrocoagulación 27

3.3 Definición de términos..... 28

3.3.1 Aceituna de mesa 28

3.3.2 Aguas residuales industriales..... 28

3.3.3 Tratamiento de aguas residuales 28

3.3.4 pH 29
3.3.5 Temperatura 29
3.3.6 Conductividad eléctrica (CE) 29
3.3.7 Oxígeno Disuelto (OD) 29
3.3.8 Salinidad 30
3.3.9 Sólidos disueltos totales (SDT) 30
3.3.10 Turbidez 30
3.3.11 Demanda química de oxígeno (DQO) 31
3.3.12 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) 31
3.3.13 Valores Máximos Admisibles (VMA) 31

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación 33
4.1.1 Tipo de investigación 33
4.1.2 Nivel de investigación 33
4.1.3 Diseño de investigación 33
4.2 Población y muestra de estudio 34
4.4.1 Población 34
4.4.2 Muestra 35

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos..... 36

4.5.1 Metodología para el análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua residual de procesamiento de aceituna de mesa…... 36

4.5.2 Metodología para determinar la influencia de la intensidad de corriente y el tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa. 39

4.6 Materiales, reactivos y equipos 42

4.6.1 Materiales..... 42

4.6.2 Equipos 43

4.6.3 Reactivos 43

4.7 Análisis estadístico 44

CAPÍTULO V

TRATAMIENTO DE RESULTADOS

5.1 Resultados……. 46

5.1.1 Análisis de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa. 46

5.1.2 Análisis de la influencia de la intensidad de corriente y el tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el

tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa. 47

5.2 Discusiones……..... 76

5.2.1 Discusión del análisis los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa 76

5.2.2 Discusiones de la influencia de la intensidad de corriente y tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa. 79

CONCLUSIONES 84

RECOMENDACIONES..... 86

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 87

ANEXOS..... 98

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Operacionalización de variables 12

Tabla 2. VMA para las descargas de las aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario 32

Tabla 3. Modelo de diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones..... 34

Tabla 4. Métodos de ensayo para el análisis de los parámetros fisicoquímicos 38

Tabla 5. Modelo del ANOVA para determinar diferencias significativas..... 44

Tabla 6. Modelo de la prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$)..... 45

Tabla 7. Análisis fisicoquímico de aguas residuales del procesamiento de aceituna 47

Tabla 8. Nivel de eficacia de remoción de los parámetros fisicoquímicos para cada tratamiento y repetición..... 48

Tabla 9. Valores de pH mediante el tratamiento por electrocoagulación 49

Tabla 10. ANOVA del porcentaje de incremento de pH..... 49

Tabla 11. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje del incremento del pH a diferentes intensidades de corriente. 50

Tabla 12. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje del incremento del pH a diferentes tiempos de reacción 51

Tabla 13. Concentración de la CE mediante el tratamiento por electrocoagulación 52

Tabla 14. ANOVA del porcentaje de reducción de la CE..... 52

Tabla 15. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la reducción de la CE a diferentes intensidades de corriente 53

Tabla 16. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la reducción de la CE a diferentes tiempos de reacción 54

Tabla 17. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de reducción de la CE en la interacción a diferentes intensidades de corriente y tiempos de reacción 55

Tabla 18. Concentración del OD mediante el tratamiento por electrocoagulación 56

Tabla 19. ANOVA del porcentaje de incremento del OD 56

Tabla 20. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje del incremento del OD a diferentes intensidades de corriente 57

Tabla 21. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje del incremento del OD a diferentes tiempos de reacción 58

Tabla 22. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de incremento del OD en la interacción de la intensidad de corriente y tiempo de reacción..... 59

Tabla 23. Concentración de la salinidad mediante el tratamiento por electrocoagulación 60

Tabla 24. ANOVA del porcentaje de reducción de la salinidad..... 60

Tabla 25. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la reducción de la salinidad a diferentes intensidades de corriente 61

Tabla 26. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la reducción de la salinidad a diferentes tiempos de reacción 62

Tabla 27. Concentración de los SDT mediante el tratamiento por electrocoagulación 63

Tabla 28. ANOVA del porcentaje de remoción de los SDT..... 63

Tabla 29. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la remoción de los SDT a diferentes intensidades de corriente 64

Tabla 30. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la remoción de los SDT a diferentes tiempos de reacción 65

Tabla 31. Concentración de la turbidez mediante el tratamiento por electrocoagulación 66

Tabla 32. ANOVA del porcentaje de remoción de la turbidez 66

Tabla 33. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la remoción de la turbidez a diferentes intensidades de corriente 67

Tabla 34. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la remoción de la turbidez a diferentes tiempos de reacción 68

Tabla 35. Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de remoción de la turbidez en la interacción a diferentes intensidades de corriente y tiempos de reacción 69

Tabla 36. Concentración de la DBO_5 mediante el tratamiento por electrocoagulación 70

Tabla 37. ANOVA del porcentaje de remoción de la DBO_5 70

Tabla 38. Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de la remoción de la DBO_5 a diferentes intensidades de corriente 71

Tabla 39. Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de la remoción de la DBO_5 a diferentes tiempos de reacción 72

Tabla 40. Concentración de la DQO mediante el tratamiento por electrocoagulación 73

Tabla 41. ANOVA del porcentaje de remoción de la DQO 73

Tabla 42. Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de la remoción de la DQO a diferentes intensidades de corriente 74

Tabla 43. Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de la remoción de la DQO a diferentes tiempos de reacción 75

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Zonas de la celda para el proceso de electrocoagulación .. 26

Figura 2. Ubicación de la planta de procesamiento de aceituna de mesa 35

Figura 3. Ingreso a la planta para la recolección y muestreo de agua residual no doméstica 101

Figura 4. Muestras almacenadas y acondicionadas en la vivienda para su posterior tratamiento 102

Figura 5. Construcción del reactor tipo Bach para el proceso de electrocoagulación 103

Figura 6. Recojo de frascos del laboratorio ALAB E.I.R.L. para el análisis de los parámetros de la DBO y DQO 104

Figura 7. Tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna con el reactor tipo Bach por el método de electrocoagulación 105

Figura 8. Tratamiento de aguas residuales y análisis de parámetros fisicoquímicos en el laboratorio 106

Figura 9. Envío de muestras al laboratorio acreditado ALAB E.I.R.L. para la medición de los parámetros fisicoquímicos 107

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Matriz de Consistencia..... 99

Anexo 2. Resumen de los resultados..... 100

Anexo 3. Registro Fotográfico..... 101

Anexo 4. Cadena de Custodia 108

Anexo 5. Informe de ensayo de Laboratorio 110

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el método de electrocoagulación para el tratamiento de las aguas residuales generadas del proceso de aceituna de mesa. La metodología se basó en la construcción de un sistema reactor de 3 litros de capacidad, las variables de estudio fueron la intensidad de corriente de 3 y 5 amperios, y el tiempo de reacción de 15 y 30 minutos. Para determinar la remoción de contaminantes se usó un Diseño de Bloques Completamente Aleatorizados, donde se trabajó con una muestra de agua residual del proceso de aceituna. Los resultados indican que se tuvo una remoción máxima de 95,92% para la turbidez, la DQO de 66,24%, la DBO de 62,81% y los sólidos disueltos totales de 43,48%; la conductividad eléctrica y la salinidad se tuvo una reducción máxima del 7,48% y 3,51% respectivamente, sin embargo, el pH y el oxígeno disuelto se presentaron incrementos del 20,64% y 57,41% respectivamente. En conclusión, la electrocoagulación demostró que a niveles altos de intensidad de corriente y tiempo de reacción resultaron mayores remociones de los contaminantes, siendo un método efectivo para la reducción de contaminantes presentes en las aguas residuales del proceso de aceituna de mesa.

Palabras clave: Electrocoagulación, tratamiento de aguas residuales, remoción de contaminantes, tiempo de reacción e intensidad de corriente.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the electrocoagulation method for the treatment of wastewater generated from the table olive processing. The methodology was based on the construction of a 3-liter reactor system; the study variables were current intensity of 3 and 5 amps, and reaction times of 15 and 30 minutes. A Completely Randomized Block Design was used to determine contaminant removal, working with a sample of wastewater from the olive processing. The results indicate a maximum removal of 95,92% for turbidity, 66,24% for COD, 62,81% for BOD, and 43,48% for total dissolved solids. Electrical conductivity and salinity showed maximum reductions of 7,48% and 3,51%, respectively; however, pH and dissolved oxygen showed increases of 20,64% and 57,41%, respectively. In conclusion, electrocoagulation demonstrated that high levels of current intensity and reaction time resulted in greater removal of contaminants, making it an effective method for reducing contaminants present in wastewater from the table olive process.

***Keywords*:** Electrocoagulation, wastewater treatment, contaminant removal, reaction time and current intensity.

INTRODUCCIÓN

La electrocoagulación es un método para tratar las aguas residuales industriales, especialmente en contextos de la región de Tacna, conocida por su alta producción de aceituna de mesa (Rodríguez et al., 2021). Las industrias de procesamiento de aceituna de mesa generan grandes cantidades de efluentes contaminantes que afectan negativamente la calidad del suelo y los cuerpos de agua si son vertidos directamente, asimismo estos efluentes generan un deterioro de las redes de alcantarillado si no se tratan adecuadamente antes de su vertimiento, logrando aumentar la carga de contaminantes en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la ciudad. (Miranda & Fernández, 2024). De allí la necesidad de emplear tecnologías limpias y eficientes que mitiguen estos impactos.

Al respecto, la electrocoagulación, es aceptado sobre otros procesos fisicoquímicos debido al diseño del proceso y al material de bajo costo para su operatividad, siendo una solución viable para abordar la problemática, considerando la sostenibilidad ambiental, y por ende el cumplimiento de las normativas nacionales vigentes (Ramón, 2021).

La presente investigación tiene como objetivo la evaluación de la electrocoagulación sobre el tratamiento de las aguas residuales del proceso de aceituna de mesa en la ciudad de Tacna; considerando evaluar su efectividad a través de la remoción de los parámetros fisicoquímicos priorizados.

Para el Capítulo I, se plantea el problema, detallando el contexto ambiental y socioeconómico, los retos asociados al manejo de las aguas residuales del proceso de aceituna de mesa, y la relevancia de adoptar soluciones innovadoras. Asimismo, se presentan las delimitaciones de la investigación y las justificaciones que sustentan su importancia desde perspectivas sociales, económicas y ambientales.

Para el Capítulo II, se detallan los objetivos y las hipótesis que guían el estudio, siendo que el objetivo general se centra en evaluar la eficacia de la electrocoagulación, mientras que los objetivos específicos abordan aspectos como las características fisicoquímicas del agua residual y la influencia de los factores priorizados en el presente trabajo; tales como, la intensidad de corriente y el tiempo de reacción.

Para el Capítulo III, se expone el marco teórico y conceptual, incluyendo antecedentes relevantes y las bases científicas del método de electrocoagulación. Aquí se discuten aspectos técnicos como el diseño de celdas, las propiedades fisicoquímicas del agua tratada y las variables que influyen en el proceso.

Para el Capítulo IV, se describe la metodología de la investigación, destacando el enfoque experimental utilizado. Se detallan los procedimientos de recolección, análisis y tratamiento de las muestras, así como el diseño experimental empleado para la evaluación de la influencia de las variables independientes sobre la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual del proceso de aceituna de mesa.

Para el Capítulo V, se presentan los resultados, con análisis estadísticos detallados que evidencian la influencia del tiempo de reacción y la intensidad corriente sobre el tratamiento de las aguas residuales de aceituna de mesa mediante el proceso de electrocoagulación. Además, se presentan las discusiones que contextualizan los reportes en relación con los resultados de otras investigaciones.

El presente trabajo termina con las Conclusiones y Recomendaciones, seguido de la bibliografía consultada y los anexos correspondientes a la investigación realizada.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El departamento de Tacna se caracteriza por ser líder en la producción de aceitunas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022), considerándose como una de las ciudades pioneras en la exportación de aceituna de mesa conformado por 66 empresas durante el periodo 2016 al 2018 (Garcia, 2021). Sin embargo, las industrias que procesan aceituna de mesa generan volúmenes altos de efluentes durante las etapas de tratamiento alcalino, fermentación y lavado de las aceitunas (Huertas et al., 2022), con altos niveles de sustancias inorgánicas y orgánicas, caracterizado por tener un olor similar al aceite de oliva y ser de color marrón oscuro (Rincón et al., 2018).

Actualmente las empresas que procesan aceituna de mesa en zonas agrícolas de Tacna generan efluentes industriales que son vertidos a los suelos desnudos generando impactos negativos en la calidad de suelo; y en otros casos son dispuestos parcialmente en balsas impermeables como medidas transitorias; siendo sistemas convencionales no sostenibles por problemas de malos olores, proliferación de insectos, reboses, filtraciones

o evaporación que afectan directamente al ambiente. Asimismo, las plantas ubicadas en zonas urbanas o mixtas vierten sus efluentes a las redes de alcantarillado sanitario, con elevadas concentraciones de contaminantes que estén por encima de los Valores Máximos Admisibles (VMA). Por lo que se requiere una tecnología adecuada que permita remover los contaminantes presentes en las aguas residuales del proceso de aceituna de mesa, afín de mitigar los impactos ambientales.

A lo largo de los años se han realizado diferentes métodos aplicados para el tratamiento de las laguas residuales industriales y domésticas. Siendo uno de ellos la electrocoagulación, una técnica que ha recibido atención significativa para la depuración de diferentes contaminantes provenientes de efluentes industriales (Das et al., 2022).

En tal sentido la presente investigación se empleará la tecnología de electrocoagulación a un nivel de escala de laboratorio para remover los contaminantes presentes en las aguas del proceso de aceituna de mesa de Tacna.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Formulación del problema general

¿La electrocoagulación es eficiente sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa de la ciudad de Tacna?

1.2.2 Formulación de los problemas específicos

¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas residuales del proceso de aceituna de mesa?

¿Cuál es la influencia de la intensidad de corriente y el tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación temporal

El presente trabajo tuvo un periodo de dos (02) meses aproximadamente, donde se presentó una solicitud de acceso a la planta de procesamiento de aceituna OLIVA PERÚ S.A.C., a fin de realizar el muestreo de campo para la recolección de la muestra, tratamiento mediante la electrocoagulación y el análisis de los parámetros fisicoquímicos. De la misma manera se realizaron coordinaciones previas

con el laboratorio acreditado Analytical Laboratory E.I.R.L. (ALAB) para el servicio de análisis de ensayo. Asimismo, se presentaron solicitudes de espacio, equipos y materiales del laboratorio de calidad de agua de la Universidad Privada de Tacna, donde se realizaron las mediciones de los parámetros fisicoquímicos.

1.3.2 Delimitación espacial

El desarrollo del presente trabajo se desarrolló en el departamento de Tacna, provincia de Tacna, distrito de Tacna.

1.3.3 Delimitación teórica

El enfoque del trabajo de tesis es la remoción de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales industriales del procesamiento de aceituna mediante el método de electrocoagulación.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación social

Se plantea solucionar el impacto negativo que se genera al verter el agua residual de este tipo de industria con concentraciones elevadas de contaminantes a las redes de alcantarillados, provocando problemas de tratamiento y afectando la calidad de vida de las personas.

1.4.2 Justificación económica

Se pretende usar esta alternativa ya que no requiere de compra de sustancias químicas, reduciendo los costos por el tratamiento mediante la electrocoagulación.

1.4.3 Justificación ambiental

Desde el punto de vista ambiental, esta tecnología es fundamental para reducir los contaminantes y obtener una mejor calidad de agua tratada para su vertimiento a las redes de alcantarillado y cumplir con los VMA conforme a la norma vigente, a fin de minimizar los impactos ambientales.

1.5 Limitaciones

La presente investigación, tuvo una limitante en relación a la disponibilidad de laboratorios a nivel local que tengan equipos adecuados para el desarrollo de manera continua y eficaz, a fin de tener resultados representativos y de confiabilidad en un periodo corto.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del procesamiento de aceituna de mesa en la ciudad de Tacna.

2.1.2 Objetivos específicos

Analizar los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa.

Determinar la influencia de la intensidad de corriente y el tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

La evaluación de la electrocoagulación es eficiente sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa en la ciudad de Tacna.

2.2.2 Hipótesis específicas

El análisis del agua residual del procesamiento de aceituna de mesa permite determinar sus características fisicoquímicas.

La intensidad de corriente y el tiempo de reacción influye significativamente de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa.

2.3 Variables

2.3.1 Variable independiente

Electrocoagulación.

2.3.2 Variable dependiente

Tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa.

2.3.3 Operacionalización de las variables

En la Tabla 1, se muestra la operacionalización de variables donde se detalla las variables de estudio, las dimensiones e indicadores.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores
Independiente X_1: Electrocoagulación	Efecto del tiempo e intensidad de corriente	Intensidad de corriente (A) Tiempo de reacción (minutos)
Dependiente Y_1: Tratamiento de aguas residuales	Características fisicoquímicas	DBO_5 DQO Turbiedad Oxígeno disuelto Conductividad eléctrica pH SDT Salinidad

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes del análisis de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa

Çokay et al. (2024) en su investigación denominada: “Treatment of table olive processing wastewater with US/UV processes”, realizaron la caracterización de procesamiento de la aceituna de mesa donde obtuvieron concentraciones elevadas de la DQO, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos con valores 4 000 mg/L, 22,6 mS/cm y 2 800 mg/L respectivamente, además de presentar un pH moderadamente ácido (5,5 de pH), carbono orgánico toral de 1 000 mg/L y fenol de 4,6 mg/L.

Aldana et al. (2021) en su investigación denominada: “Membrane filtration, activated sludge and solar photocatalytic technologies for the effective treatment of table olive processing wastewater”, realizaron la caracterización de las aguas residuales del proceso de aceituna de mesa (TOPW) tomadas del tanque de almacenamiento de una planta industrial de aceituna, donde mostraron un carácter ligeramente ácido (6,3 de pH), niveles altos de conductividad eléctrica (9 000 uS/cm), DQO (10 600 mg/L),

DBO5 (6 890 mg/L) y polifenoles totales (293 mg/L), además el agua residual se caracteriza por tener una turbiedad de 58 NTU, sólidos sedimentables totales de 2,5 g/L, nitrógeno total de 47 g/L, aceite y grasas de 30 mg/L.

Aldana (2020) en su investigación denominada: “Estrategias de tratamiento de aguas residuales procedentes de una industria de aceitunas de mesa”, determinó las características del agua residual procedentes de una industria de aceituna de mesa con valores de 6,33 de pH, conductividad eléctrica de 11 500 uS/cm, DQO de 10 600 mg/L, DBO_5 de 6 890 mg/L y polifenoles totales de 329,9 mg/L.

Tatoulis et al. (2016) en su investigación denominada: “A hybrid system comprising an aerobic biological process and electrochemical oxidation for the treatment of black table olive processing wastewaters” realizaron el tratamiento de las aguas residuales del procesado de la aceituna mediante procesos biológicos aeróbicos y por oxidación electroquímica, cuyas características del agua residual fueron las siguientes; DQO disuelto de 5 – 23 g/L, DBO5 0,9 – 11 g/L, compuestos fenólicos totales de 2,9 – 6,7 g/L, pH de 4 – 6, conductividad de 90 – 120 mS/cm y salinidad de 58,5 – 84 g/L.

El-Abbassi et al. (2014) en su investigación denominada: “Application of ultrafiltration for olive processing wastewaters treatment” reportó los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del procesamiento de aceituna, siendo que, para las muestras de agua residual de la aceituna de mesa (TOW) donde se caracteriza por un pH ácido (4 de pH), alta conductividad eléctrica (84,2 mS/cm), DBO moderada (6,4 gO2/L), sólidos totales 73,5 g/L y contenido fenólico de 4,8 gTYE/L. Para las muestras de aguas residuales de almazara (OMW) tienen un pH medianamente ácido (5,2 de pH), con elevada carga orgánica de 173 g/L de DQO, sólidos totales elevados que llegan a 160 g/L y compuestos fenólicos de 8,8 gTYE/L.

Cifuentes (2014) en su investigación denominada: “Recuperación de polifenoles de aguas residuales del proceso de aceitunas de mesa mediante membranas” reportó las características del agua residual del proceso de fermentación de aceitunas por una industria de envasado de aceituna de mesa estilo español, cuyos valores son de 4,45 de pH, 45,43 mS/cm de conductividad, 0,44 de color, 378,5 NTU de turbidez, 734,2 mg/L de sólidos suspendidos totales, DQO de 10 834 mgO_2/L, concentración salina de 21 750 mg/L y compuestos fenólicos de 916,36 mg/L.

Nieto & Hodaifa (2007) en su investigación denominada: “Depuración de las aguas de lavado de aceite y aceitunas por oxidación química a escala piloto - industrial” realizaron la caracterización de las aguas residuales de una planta industrial que producen elevadas cantidades de efluentes de lavado de aceite y aceitunas que son depositadas en balsas separadas para su acumulación, donde las aguas residuales de lavado de aceitunas obtuvieron un pH de 6,64, una conductividad eléctrica de 2,28 mS/cm, la DQO de 2 202,1 gO2/L y fenoles totales de 163,2 ,g/L.

Kopsidas (1992) en su investigación denominada: “Wastewater from the preparation of table olives” realizó el análisis de los efluentes procedentes del procesamiento de aceitunas de mesa, donde concluye que las aguas residuales de la preparación de aceitunas verdes tienen las siguientes características fisicoquímicas; pH 3,6 - 13,2, sólidos suspendidos 0,03 - 0,4 g/L, sólidos disueltos 0,2-80,0 g/L, DBO 0,1-6,6 g/L, DQO 0,3 - 16,2 g/L, cloruro 0,0 - 48,5 g/L y cloruro de sodio 0,0-80,0 g/L. Mientras que para el agua residual de la preparación de aceituna negra presenta valores de pH 3,8 - 9,0, sólidos suspendidos 0,06 - 0,4 g/L, sólidos disueltos 0,2 - 72,0 g/L, DBO 5 0,1 6,0 g/L, DQO 0,3 - 18,2 g/L, cloruro 0,0 45,5 g/L y cloruro de sodio 0,0-75,1 g/L.

3.1.2 Antecedentes de la influencia de la intensidad de corriente y tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa

Aviles & Portilla (2021) en su investigación denominada: “Remoción de carga orgánica del agua residual de conservación de la aceituna mediante la electrocoagulación complementado con radiación ultravioleta”, caracterizó los valores del agua residual de conservación de aceituna encontrando valores iniciales de 75 179,3 mgO_2/L de DQO, 35 325 $mgDBO_5$/L de DBO, 45 NTU de turbidez y 79 700 µS/cm de conductividad eléctrica. Asimismo, empleo una celda electroquímica con dos litros de capacidad utilizando electrodos de hierro y aluminio haciendo que recircule la muestra por una fuente de radiación UV con un constante flujo de 1 L/min; encontrándose valores máximos de remoción de la turbidez y la carga orgánica de la DQO de 95,38 % y 65,94 % respectivamente; durante un tiempo de 180 minutos, voltaje de 8 voltios y 2 cm de distancia entre electrodos. Alcanzando un pH por encima de 8 de la solución tratada.

Ramón (2021) en su investigación denominada: “Aplicación de la electrocoagulación como alternativa de remoción de sólidos suspendidos totales presentes en las aguas residuales generadas en el distrito de San

Pedro de Saño, 2020", reportó una máxima remoción de los sólidos suspendidos totales al 89,43 % de las aguas residuales aplicando un tiempo de reacción de 20 minutos y una intensidad de corriente eléctrica de 3 A, siendo las condiciones óptimas de electrocoagulación.

Niazmand et al. (2019) en su investigación denominada: "Treatment of olive processing wastewater by electrocoagulation: An effectiveness and economic assessment", realizaron el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceitunas mediante la electrocoagulación encontrándose que el aluminio es el electrodo más eficiente en la reducción de la turbidez, DQO y SDT. Asimismo, se encontró que el método está altamente influenciado por el tiempo de reacción, la densidad de corriente y el pH inicial. El pH natural del agua residual de aceitunas de mesa fue adecuado para realizar el tratamiento, no requirieron de químicos para el acondicionamiento de la muestra, reportando una minimización rápida (en una hora) y eficaz de los contaminantes de demanda química de oxígeno al 78,51 %, compuestos polifenólicos totales al 90,44 % y una disminución de la turbidez al 97,93 % a una densidad de corriente de 15 mA/cm^2.

Aguilar & Bazan (2018) en su investigación denominada: "Efecto de la intensidad eléctrica y el tiempo en la disminución de la materia orgánica

y turbidez en la electrocoagulación de las aguas residuales de la ciudad universitaria UNT", diseñaron y construyeron una celda de capacidad de 3,375 litros, bajo las condiciones; 2 placas de aluminio y 2 placas de hierro de 146,6 cm^2 en forma monopolar en paralelo a una longitud de 10 cm entre electrodos, los niveles de intensidad y densidad de corriente variaron de 1 A, 2,5 A, 4 A y 34,10 A/m2, 85,27 A/m^2, 136,43 A/m^2 respectivamente, a una temperatura de 21 °C y pH de operación de 6,5 reportando un buen desempeño en el tratamiento de aguas residuales de la casa de estudios superiores.

Arango & Garcés (2007) en su investigación denominada: "Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea", diseñaron y construyeron un sistema de electrocoagulación que permitieron tratar las aguas residuales de la industria láctea conformada por, una celda de material acrílico con capacidad de tratar 2 litros, seis electrodos de placas rectangulares: tres de aluminio y tres de hierro dispuestas en forma alternada y conexión en paralelo con una separación de 10 mm, conectadas a una fuente de corriente máxima de 25 A y voltaje de 16 V.

Agudelo et al. (2021) en su investigación denominada: “Evaluación de la electrocoagulación con electrodos de grafito como alternativa para el tratamiento de aguas residuales en curtiembres”, determinó por medio de la electrocoagulación que el tiempo y la intensidad de corriente influye sobre la remoción de sulfuros y turbiedad, encontrándose que a condiciones de una intensidad de corriente de 24 A y una hora de tiempo de reacción, logró alcanzar una remoción de sulfuros y turbiedad del 41,67 % y 75,05 % respectivamente.

Niazmand et al. (2020) en su investigación denominada: “Optimization of Electrocoagulation Conditions for the Purification of Table Olive Debittering Wastewater Using Response Surface Methodology”, investigó la optimización de las condiciones de electrocoagulación (densidad de corriente de 3,0 – 30,0 mA/cm^2 y tiempo de reacción de 10 – 60 min) para la purificación de aguas residuales de desamargado de aceitunas. Las condiciones óptimas predichas de 21,14 mA/cm^2 y un tiempo de 58,93 min reportó una eficiencia de remoción de TPC del 82,57 %, y en condiciones de 19,9 mA/cm^2 y un tiempo de 58,4 se redujo el DQO al 78,6 %, también mostraron que en condiciones óptimas la turbidez se reduce a un nivel aceptable.

Benekos et al. (2019) en su investigación denominada: “Treatment of table olive processing wastewaters using electrocoagulation in laboratory and pilot-scale reactors”, aplicaron la electrocoagulación a escala laboratorio para tratar aguas residuales del procesamiento de aceitunas de mesa, empleando un reactor de 600 cm^3 y un agitador magnético a una temperatura interna de la celda de 27 °C a 30 °C, asimismo se empleó electrodos de aluminio y fierro de superficie de 12 cm^2, con una separación de 3mm entre electrodos en el reactor, conectado a una fuente poder cuyas densidades de corriente eléctrica ensayadas fueron de 41,7 mA/cm^2 83,3 mA/cm^2 y 166,7 mA/cm^2 (correspondientes a las intensidades de 0,5 A, 1 A y 2 A) durante un tiempo de 90 minutos, reportando que los electrodos de aluminio son más eficientes para reducir la Demanda Química de Oxígeno al 50 % y el color al 100 % aproximadamente, con una concentración inicial baja de DQO de 3 000 mg/L a 166,7 mA/cm^2. Asimismo, se registró un menor consumo de energía y de electrodos al trabajar con electrodos de aluminio.

Mecola (2019) en su investigación denominada: “Efecto de la electrocoagulación en la concentración de materia orgánica de aguas residuales de la Universidad Nacional de Trujillo”, concluye que las variables que más incidieron en el proceso de electrocoagulación son el

tipo de electrodos, intensidad de corriente, distancia de separación entre las placas, tiempo de reacción y pH, reportando una eficiencia al 66 % en la remoción de Demanda Química de Oxígeno, cuyos valores óptimos fueron con un pH de 7, una intensidad de corriente de 6 A y un tiempo de reacción de 30 minutos.

López & Harnisth (2016) en su investigación denominada: “Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea”, se determinó tres factores que influyen significativamente en el proceso de electrocoagulación que son; tiempo, número de placas del electrocoagulador y voltaje del sistema, evidenciándose la eficiencia de remoción por encima del 90 % de DQO, superior al 80 % de DBO_5 y más de 75 % de solidos suspendidos, asimismo la turbiedad inicial de 770 NTU, disminuyó aproximadamente a 19,9 NTU pos tratamiento.

Ojeda & Hing (2010) en su investigación denominada: “Estudio del proceso de electrocoagulación de la vinaza residual de las destilerías de alcohol etílico”, desarrolló un reactor a escala laboratorio compuesto por 2 electrodos planos de aluminio, dispuestos de forma vertical y conectados paralelamente, las dimensiones fueron de 68 mm, 40 mm y 1 mm de largo, ancho y espesor respectivamente, separados a 15 mm, alimentados por

una fuente de corriente directa, reportando una remoción de color de 87,41 %, siendo el tiempo de electrolisis y el pH de la solución factores que hacen posible una eficiencia superior en el tratamiento por electrocoagulación de la vinaza, a una densidad de corriente de 0,15912 A/cm^2 (I = 9A), con valor de 7 minutos y pH 4,57.

Aguilar (2015) en su investigación denominada: “Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua”, reportó una alta eficiencia en la remoción de la DQO presentes en el agua residual de una planta industrial de pintura, en condiciones de un tiempo de reacción de 15 minutos, intensidad de corriente de 5 A y un pH de 7,12, permitiendo obtener un porcentaje de remoción del 87 %.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Electrocoagulación

El proceso de electrocoagulación es un método electroquímico utilizado para el tratamiento de aguas residuales (Ojeda & Hing, 2010), aplicado en diferentes industrias; tales como, la industria textil, procesamiento de alimentos, farmacéutica, petroquímica, (Patel et al., 2024) y del procesamiento de aceitunas verdes de mesa (García et al.,

2011), siendo un método de tratamiento eficiente (Perozo & Abreu, 2011) y muy trascendente para la remoción de contaminantes (Arango & Garcés, 2007) que involucra aplicar una corriente eléctrica directa a una solución de electrolito desencadenando reacciones químicas en los electrodos (Muvel et al., 2024), y los fundamentos de la coagulación y floculación haciendo posible reutilizar las aguas residuales, mediante un reactor eléctrico. (Rodríguez et al., 2021)

Su uso presenta ventajas sobre otros sistemas de tratamiento, tales como operación simple del sistema, tiempos cortos para el tratamiento, no requiere químicos y la producción de efluentes incoloros e inodoros (Fajardo et al., 2015; Garcia et al., 2017).

3.2.2 Celda de electrocoagulación

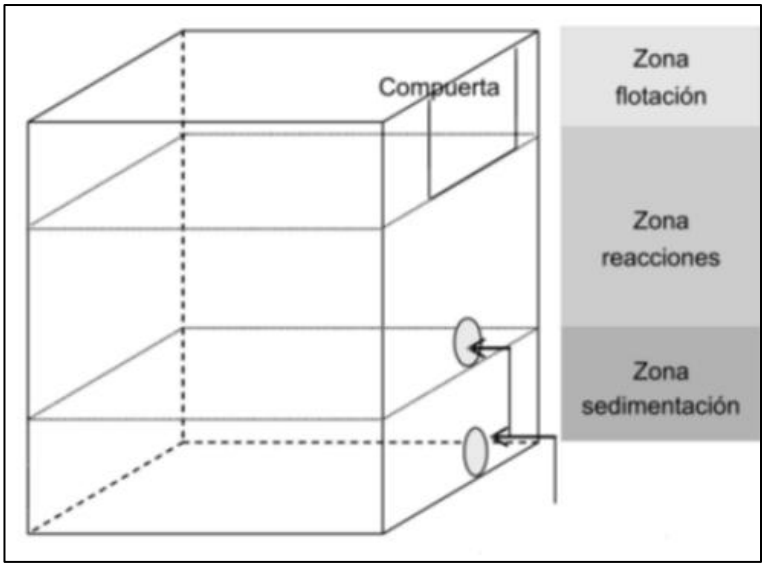
La celda de electrocoagulación puede ser de sistema continuo o tipo Bach, este último es un recipiente por el cual los electrodos de fierro o aluminio. Los electrodos se disponen en placas paralelas y se conecta en serie para proporcionar corriente eléctrica a través de una fuente de alimentación regulable (Mollah et al. 2004).

El material de la celda de electrocoagulación es de vidrio o acrílico transparente para tener una buena visibilidad de las reacciones y el tratamiento que se produce (Cahuantico, 2019). La geometría de la celda de electrocoagulación se da en forma de cilindro, cubo y rectangular, resultando que cada diseño de celda tiene un efecto despreciable sobre el rendimiento del proceso (Hakizimana et al., 2016), donde su diseño está relacionado con el control de factores o variables como; tipo de electrodos (ánodo y cátodo), distancia entre electrodos, tamaño y número de electrodos, el tipo de conexión empleada, el amperaje y voltaje de aplicación, tiempo de reacción y el tipo de flujo utilizado (Piña et al., 2011).

La distribución de la celda durante la operación del proceso contempla tres zonas; zona de flotación (parte superior) donde se depositan los lodos menos densos, zona de reacción (parte media) donde se producen las reacciones electroquímicas, y zona de sedimentación (región inferior) dónde se depositan los lodos más densos (Arango & Garcés, 2007), detallado en la Figura 1.

Figura 1

Zonas de la celda para el proceso de electrocoagulación



Fuente: Arango & Garcés (2007)

3.2.3 Características fisicoquímicas de agua residual del proceso de aceituna de mesa

El procesamiento de aceitunas de mesa genera volúmenes altos de efluentes contaminantes (Papadaki & Mantzouridou, 2016), que representan un importante problema ambiental debido a sus elevados niveles de contaminantes (Ayed et al., 2017), por su elevada materia orgánica, alto contenido fenólico, alta salinidad y conductividad; caracterizado por tener olores desagradables y ser de color marrón oscuro (Rincón et al., 2018).

3.2.4 Intensidad de corriente y tiempo de reacción del proceso de electrocoagulación

Existen diferentes componentes que intervienen durante el proceso de electrocoagulación; de los cuales influyen significativamente sobre el proceso, siendo las más representativas la intensidad de corriente y el tiempo de reacción (Prieto et al., 2012).

a) Intensidad de corriente

La intensidad de corriente es la cantidad de corriente eléctrica que circula en un material conductor (Piña et al., 2011). que influye en la eliminación de contaminantes de las aguas residuales mediante el proceso de electrocoagulación y están ligados a factores económicos (Arango, 2012)

b) Tiempo de reacción

El tiempo es un factor que afecta el tratamiento a través del proceso de electrocoagulación (Hernandez & Mejia, 2019), y establece la rapidez de generación de iones de hierro, generados por el desgaste que sufren los electrodos empleados en el procedimiento (Ojeda & Hing, 2010). A mayor tiempo de reacción, mayor será la cantidad de flóculos que se generan y, por consiguiente, se sedimentan (Hernandez & Mejia, 2019).

3.3 Definición de términos

3.3.1 Aceituna de mesa

La aceituna de mesa es el fruto del olivo cultivado, recogido bajo condiciones óptimas de madurez, y al ser procesado para fines comerciales, se transforman en un producto con la aptitud para ser consumido por las personas y conservable (Norma Técnica Peruana, 2006).

3.3.2 Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales son aquellas producidas como subproducto de un proceso productivo, como el agua proveniente de la minería, la agricultura, la generación de energía, la agroindustria, entre otras actividades, y que por su calidad necesitan un tratamiento previo, para poder ser descargadas a cuerpos de agua o ser vertidas a las redes de alcantarillado (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

3.3.3 Tratamiento de aguas residuales

El proceso del tratamiento de aguas residuales resulta remover los contaminantes que afectan a los cuerpos de agua superficiales y alteran la calidad de los suelos. El tratamiento es un proceso que involucra diferentes métodos físicos, químicos y biológicos (Valencia & Ramírez, 2009).

3.3.4 pH

La concentración de iones de hidrogeno se mide por el potencial de hidrogeno (pH), y se expresa como pH = log (1/[H^+]). Este parámetro puede ser ácida o alcalina en solución acuosa (Rigola, 1989).

3.3.5 Temperatura

La temperatura es un parámetro que influye sobre el desarrollo de vida acuática (Rigola, 1989).

3.3.6 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es un indicador fisicoquímico que evalúa la habilidad del agua para transmitir la electricidad, siendo propio de la materia ionizable total que se encuentra en el agua (Rigola, 1989).

3.3.7 Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es un gas que tiene una solubilidad reducida en agua, esencial para la existencia acuática aeróbica en los organismos vivos. El oxígeno atmosférico tiene una solubilidad de 7 mg/L en aguas dulces a 35 ºC. La escasez de oxígeno disuelto restringe la habilidad de los cuerpos de agua para autopurificarse, lo que requiere el tratamiento de las

aguas residuales para su vertido en los cuerpos de agua correspondientes (Romero, 2008).

3.3.8 Salinidad

La salinidad representa la concentración de sales disueltas en el agua, siendo vinculada con la conductividad eléctrica, debido a que mayor están cantidad de iones disueltos incrementa el valor de ambas propiedades (State Water Resources Control Board, 2022).

3.3.9 Sólidos disueltos totales (SDT)

Los sólidos disueltos consisten en moléculas orgánicas e inorgánicas disueltos en agua. Su eliminación de la fracción coloidal requiere la oxidación biológica o la coagulación acompañada de precipitación (Metcalf & Eddy, 1995).

3.3.10 Turbidez

La turbidez se caracteriza por la obstrucción del paso de luz en el agua, debido a la presencia de partículas insolubles suspendidas o coloidales, cuya sedimentación resulta complicada (Rigola, 1989).

3.3.11 Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es un parámetro que determina el contenido de materia orgánica en aguas naturales y residuales. Para determinar esto en un ambiente ácido, se utiliza un químico oxidante para determinar la cantidad de oxígeno equivalente a la materia orgánica que puede oxidar (Metcalf & Eddy, 1995).

3.3.12 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

La DBO a 5 días (DBO_5) es el parámetro de contaminación orgánica, aplicado para aguas residuales y superficiales. La determinación del mismo está relacionada a la mención del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (Metcalf & Eddy, 1995).

3.3.13 Valores Máximos Admisibles (VMA)

Los VMA son las concentraciones de parámetros establecidos en el Decreto Supremo Nº 010-2019-VIVIENDA, los cuales rigen las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario. (EL PERUANO, 2019). En la Tabla 2, se presenta los valores para diferentes parámetros.

Tabla 2

VMA para las descargas de las aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario

Parámetro	Unidad	Valores Máximos Admisibles para descargas al sistema de alcantarilladlo
DBO_5	mg/L	500
DQO	mg/L	1 000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	500
Aceites y Grasas	mg/L	100
Sulfatos	mg/L	1 000
Sulfuros	mg/L	5
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	80
pH	Unidad	6 - 9
Sólidos Sedimentables	mg/L	8,5
Temperatura	°C	< 35

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación es tipo experimental a razón de la manipulación de las variables independientes (Hernández et al., 2014).

4.1.2 Nivel de investigación

La investigación es de nivel aplicativo, ya que se realizó el tratamiento de las aguas residuales de aceituna de mesa mediante el método de electrocoagulación.

4.1.3 Diseño de investigación

Para el presente trabajo de investigación se empleó el Diseño de Bloques Completamente Aleatorizado (DBCA) con tres repeticiones de dos factores; intensidad de corriente y el tiempo de reacción del proceso de electrocoagulación, como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3

Modelo de diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de reacción (min)					
	15			30		
3	TA-1	TA-2	TA-3	TB-4	TB-5	TB-6
5	TC-7	TC-8	TC-9	TD-10	TD-11	TD-12

4.2 Población y muestra de estudio

4.2.1 Población

La población considerada en la investigación fue el agua residual industrial de la planta de procesamiento de aceituna de mesa de la empresa OLIVA PERU S.A.C., ubicado en la provincia de Tacna, como se observa en la Figura 2.

Figura 2

Ubicación de la planta de procesamiento de aceituna de mesa

4.2.2 Muestra

La muestra es puntual y homogénea de la planta de procesamiento de aceituna con un volumen de 30 litros de agua residual.

4.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

4.3.1 Metodología para el análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua residual de procesamiento de aceituna de mesa

a. Recolección de la muestra

Se realizó las coordinaciones con la planta procesadora y comercializadora de aceitunas, siendo una empresa de la región de Tacna que genera efluentes industriales debido a sus actividades de procesamiento de aceitunas, ubicada en la Av. Ejército N° 322 en el distrito de Tacna.

Se recolectó una muestra puntual y homogénea de 30 litros de agua residual de procesamiento de aceituna de mesa de la empresa OLIVA PERU S.A.C.

El muestreo se realizó tomando como referencia al Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado, aprobado mediante NTP 214.060.2016 y en consideración a los requisitos mínimos para ensayo de la muestra de agua del Laboratorio ALAB

b. Análisis de la muestra

Previo al análisis en el laboratorio, se extrajo una alícuota homogénea de la muestra de agua residual recolectada donde se realizaron los análisis de los siguientes parámetros; temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, SDT, salinidad y turbiedad, en el laboratorio de aguas de la Universidad Privada de Tacna con el equipo multiparamétrico YSI ProQuatro y el turbidímetro TB1 Portable R109B12150 de la marca Velp Scientifica. Asimismo, se extrajo otra alícuota para el análisis de los parámetros de la DBO_5 y la DQO en el laboratorio ALAB acreditada por el INACAL.

La metodología de ensayo acreditada para cada parámetro se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4

Métodos de ensayo para el análisis de los parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Norma referencial
Temperatura	°C	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 24th Ed. 2023.
pH	Und.	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 H+ B, 24th Ed. 2023.
OD	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 24th Ed. 2023.
CE	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24th Ed. 2023.
STD	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C. 24th Ed. 2023.
Turbidez	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B. 24th Ed. 2023.
DBO_5	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. / Part 4500-O H, 24th Ed. 2023.
DQO	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed. 2023.

Fuente: Instituto Nacional de Calidad (2023)

4.3.2 Metodología para determinar la influencia de la intensidad de corriente y el tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa

a. Diseño del reactor Bach

Se realizó un reactor Bach para el tratamiento del agua residual del procesamiento de aceitunas a pequeña escala, tomando como referencia sobre el diseño elaborado (Arango & Garcés, 2007), considerando las siguientes características:

- El construyó el reactor tipo Bach a escala laboratorio de forma rectangular y con material acrílico, siendo sus dimensiones de 20 cm de alto, 16 cm de largo y 12 cm de ancho con un volumen total de 3.84 litros y una capacidad de tratamiento de 3 litros. Asimismo, se realizaron dos agujeros para colocar dos grifos de salida a fin de realizar la toma de muestra.
- Se utilizó seis (06) láminas de aluminio (tres de ánodo y tres de cátodo) cuyas dimensiones fueron de 8 x 12 cm de ancho y largo respectivamente, con un espesor de 2 mm. La separación entre los electrodos (láminas de aluminio) fueron de 15 mm.

- Se uso una fuente poder de corriente regulable y cables diferenciados por color rojo (ánodo) y negro (cátodo) para la distribución de energía en las celdas de electrocoagulación con refuerzo de clips de cocodrilos metálicos.

b. Tratamiento de la muestra

Las pruebas experimentales se realizaron con la muestra de agua residual recolectada de la empresa procesadora de aceitunas, cuya cantidad fue de 3 litros por cada tratamiento.

Las variables de estudio fueron la intensidad de corriente regulado por una fuente de alimentación de corriente y el tiempo de reacción empleando un cronometro de medición.

A continuación, se detalla el procedimiento realizado para el tratamiento de la muestra de agua residual por electrocoagulación:

- Se instaló el reactor tipo Bach conforme a lo diseñado, y se procedió a llenar el agua residual de una capacidad de 3 litros con ayuda de un vaso precipitado graduado de 250 ml.

- Seguidamente se encendió la fuente poder, y se reguló el voltaje a 15 voltios de manera permanente. Asimismo, se regularon el amperaje y el tiempo de rección conforme a lo establecido en el diseño del presente estudio de investigación.
- Culminado el proceso de electrocoagulación por cada tratamiento establecido, se apagó la fuente de poder, y se esperó 10 minutos adicionales para que precipite los sólidos en suspensión. Posteriormente se extrajeron la muestra con un vaso precipitado de 250 ml para realizar el análisis de los parámetros fisicoquímicos tales como; pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, salinidad, SDT, con el multiparamétrico YSI ProQuatro. Con respecto al parámetro de la turbidez se utilizó el turbidímetro TB1 Portable R109B12150 de la marca Velp Scientifica. Dicho análisis se llevó a cabo en el laboratorio de aguas de la Universidad Privada de Tacna.
- Para el caso de los parámetros de la DBO_5 y la DQO, las muestras fueron llenadas en frascos de plástico, etiquetadas y rotuladas para ser enviadas al laboratorio ALAB ubicada en Arequipa.
- El proceso de electrocoagulación se realizó para las 4 pruebas con tres repeticiones para la presente investigación.

Cálculos

Para el cálculo del proceso de tratamiento por electrocoagulación y poder determinar la eficiencia de la remoción de los parámetros fisicoquímicos se utilizó la siguiente ecuación:

$$R\ (\%) = \frac{[C_i]-[C_f]}{[C_i]} X\ 100$$ (Niazmand et al., 2020)

Donde; R (%) es el porcentaje de remoción de contaminantes, Ci es la concentración inicial y Cf es la concentración final.

4.4 Materiales, reactivos y equipos

4.4.1 Materiales

- Reactor tipo Bach de una capacidad de 3.84 L
- Caño simple de plástico
- Láminas de aluminio
- Cables rojo y negro
- Clips de cocodrilos metálicos
- Bidón de 50 L
- Balde de 6 L
- Jarra 2 L
- Vaso precipitado 250 mL y 50 mL
- Vaso precipitado de 50 mL

- Coole mediano
- Frascos de plástico
- Cadena de custodia
- Etiquetas
- Materiales de escritorio
- Mandil
- Macarrilla
- Guantes desechables

4.4.2 Equipos

- Fuente poder de corriente regulable DC (0-12A / 0-30V)
- Multitester digital
- Multiparamétrico YSI ProQuatro
- Turbidímetro TB1 Portable marca Velp Scientifica
- Laptop
- Cronómetro

4.4.3 Reactivos

- Agua destilada
- H_2SO_4

4.5 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 % ($p < 0,05$) utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XIX, permitiendo comparar las varianzas entre las medias de distinto grupos experimentales, además se pudo identificar si el factor o su interacción fueron significativas en el tratamiento de las aguas residuales por el método de electrocoagulación. Asimismo, se calculó el coeficiente de variabilidad (CV) para el análisis de las desviaciones estándar y la media, a fin de conocer el nivel de confiabilidad de la data, como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5

Modelo del ANOVA para determinar diferencias significativas

Factor de variabilidad (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F calculado (Fc)	p-valor
Factor A:					
Factor B:					
AB:					
Error					
Total					
CV=					

Además, para las comparaciones de las medias de los tratamientos de cada factor dependiente se empleó prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$) a un 95 % de confianza, como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6

Modelo de la prueba de contraste múltiple de Tukey ($p < 0,05$)

Nombre del factor	Media en la remoción del factor evaluado	Significancia

CAPÍTULO V

TRATAMIENTO DE RESULTADOS

5.1 Resultados

5.1.1 Análisis de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa.

Se realizó la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales, que fueron muestreadas de la planta de procesamiento de aceituna de mesa de la empresa OLIVA PERU S.A.C., en la ciudad de Tacna.

En la Tabla 7 se presenta los resultados de análisis inicial de la muestra de agua residual industrial. Se observa que los valores de temperatura, pH se encuentran de acuerdo a los VMA para las descargas de aguas residuales no domesticas en las redes de alcantarillado sanitario, conforme al Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. Respecto a los valores de la DBO y DQO, se observa que ambos parámetros sobrepasan los Valores Máximos Admisibles (VMA) conforme a la normativa del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA.

Tabla 7

Análisis fisicoquímico de aguas residuales del procesamiento de aceituna

Parámetro	Unidad de medida	Valor de la muestra inicial	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Temperatura	°C	23,50	< 35
pH	Unidad	6,80	6 - 9
Conductividad Eléctrica	uS/cm	21 618	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	1,98	-
SDT	mg/L	24 052	-
Turbidez	NTU	161,00	-
Salinidad	mg/L	13,00	-
DBO	mg/L	1 434,60	500
DQO	mg/L	4 543,00	1 000

5.1.2 Análisis de la influencia de la intensidad de corriente y el tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa

En la Tabla 8, se muestra los niveles de remoción de los parámetros fisicoquímicos para cada tratamiento y repetición. Los parámetros considerados incluyen pH, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), SDT, turbidez, salinidad, DBO_5, y DQO.

Tabla 8

Nivel de eficacia de remoción de los parámetros fisicoquímicos para cada tratamiento y repetición

Código	Intensidad corriente (A)	Tiempo reacción (min)	pH	CE	OD	Salinidad	SDT	Turbidez	DBO	DQO
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
TA	3	15	7,70	4,08	21,89	2,13	42,51	83,61	59,01	61,15
TB	3	30	11,62	5,83	44,61	2,36	42,97	92,41	61,69	63,07
TC	5	15	11,37	6,72	48,48	2,56	42,81	92,11	60,69	62,51
TD	5	30	20,64	7,48	57,41	3,51	43,48	95,92	62,81	66,24

5.1.2.1 pH

En la Tabla 9, se presenta los resultados de la concentración del valor de pH del tratamiento de las aguas residuales a diferentes intensidades de corriente y tiempo de reacción del proceso de electrocoagulación, donde se evidencia que a una intensidad de 5 A y tiempo de 30 minutos, presenta un incremento de pH promedio de 8,20, con respecto al valor inicial sin tratamiento.

Tabla 9

Valores de pH mediante el tratamiento por electrocoagulación

Tratamiento	Factores		pH (unidad)			
	Intensidad de corriente (A)	Tiempo de reacción (min)	I	II	III	Promedio (unidad)
TA	3	15	7,22	7,38	7,37	7,32
TB	3	30	7,43	7,69	7,65	7,59
TC	5	15	7,50	7,67	7,55	7,57
TD	5	30	7,80	8,51	8,30	8,20

En la Tabla 10, se observa el análisis de varianza del porcentaje de incremento del pH, obteniéndose en el factor A (tiempo de reacción), B (intensidad de corriente) presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los resultados a un nivel de 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 43,68 %.

Tabla 10

ANOVA del porcentaje de incremento de pH

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Tiempo de reacción: A	130,48	1	130,48	14,34	0,0053
Intensidad de corriente: B	120,90	1	120,90	13,29	0,0065
AB	21,47	8	21,47	2.36	0,1631
Error	72,79	11	9,10		
Total	345,64				

CV=43,68 %

Puesto que, existe diferencias significativas en los resultados para los factores A y B, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0,05$), a fin de comparar el nivel de pH por tratamiento.

En la Tabla 11, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de incremento del pH a diferentes intensidades de corriente, donde el mínimo incremento del pH se presentó con 3 A, logrando una media de 9,66 % y el máximo con 5 A, logrando una media de 16,01 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor intensidad de corriente hay mayor incremento de pH.

Tabla 11

Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje del incremento del pH a diferentes intensidades de corriente

Intensidad de corriente	Media del porcentaje de incremento del pH	Significancia
5	16,01	a
3	9,66	b

En la Tabla 12, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de incremento del pH a diferentes tiempos de reacción, donde el mínimo incremento del pH se presentó con 15 minutos logrando una media de 9,53 % y el máximo con 30 minutos logrando una

media de 16,13 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor tiempo de reacción hay mayor incremento de pH.

Tabla 12

Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje del incremento del pH a diferentes tiempos de reacción

Tiempo de reacción	Media del porcentaje de incremento del pH	Significancia
30	16,13	a
15	9,53	b

5.1.2.2 Conductividad eléctrica

En la Tabla 13, se presenta los resultados de la concentración de la conductividad eléctrica del tratamiento de las aguas residuales a diferentes intensidades de corriente y tiempo de reacción del proceso de electrocoagulación, donde se evidencia que a una intensidad de 5 A y tiempo de 30 minutos, presenta una reducción de la conductividad eléctrica promedio de 20 001,33 uS/cm, con respecto al valor inicial sin tratamiento.

Tabla 13

Concentración de la CE mediante el tratamiento por electrocoagulación

Tratamiento	Factores		CE (uS/cm)			
	Intensidad de corriente (A)	Tiempo de reacción (min)	I	II	III	Promedio (uS/cm)
TA	3	15	20 771	20 831	20 607	20 736,33
TB	3	30	20 346	20 369	20 363	20 358,33
TC	5	15	20 157	20 179	20 161	20 165,67
TD	5	30	20 037	19 988	19 979	20 001,33

En la Tabla 14, se observa el análisis de varianza del porcentaje de la reducción de la conductividad eléctrica, obteniéndose en el factor A (tiempo de reacción), B (intensidad de corriente) y su interacción AB presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los resultados a un nivel de 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 22,30 %.

Tabla 14

ANOVA del porcentaje de reducción de la CE

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Tiempo de reacción: A	4,71	1	4,71	59,36	0,0001
Intensidad de corriente: B	13,78	1	13,78	173,61	0,0000
AB	0,74	8	0,74	9,32	0,0157
Error	0,64	11	0,08		
Total	19,87				

CV=22,30 %

Puesto que, existe diferencias significativas en los resultados para los factores A, B y AB, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0,05$), a fin de comparar el nivel conductividad eléctrica por tratamiento.

En la Tabla 15, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de reducción de la conductividad eléctrica a diferentes intensidades de corriente, donde la mínima reducción se presentó con 3 A logrando una media de 4,96 % y el máximo con 5 A logrando una media de 7,10 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor intensidad de corriente hay mayor reducción de CE.

Tabla 15

Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de la reducción de la CE a diferentes intensidades de corriente

Intensidad de corriente	Media del porcentaje de reducción de la CE	Significancia
5	7,10	a
3	4,96	b

En la Tabla 16, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de reducción de la conductividad eléctrica a diferentes tiempos de reacción, donde la mínima reducción se presentó con

15 minutos logrando una media de 5,40 % y el máximo con 30 minutos logrando una media de 6,65 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor tiempo de reacción hay mayor reducción de CE.

Tabla 16

Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la reducción de la CE a diferentes tiempos de reacción

Tiempo de reacción	Media del porcentaje de reducción de la CE	Significancia
30	6,65	a
15	5,40	b

En la Tabla 17, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de reducción de la conductividad eléctrica a diferentes interacciones de intensidades de corriente y tiempos de reacción, donde la mínima reducción se presentó en la interacción 3 A y 15 minutos resultando una media de 4,08 %, sin embargo, a una interacción de 5A y 30 minutos presenta una máxima reducción con una media de 7,48 %, diferenciándose significativamente.

Tabla 17

Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de reducción de la CE en la interacción a diferentes intensidades de corriente y tiempos de reacción

Intensidad de corriente	Tiempo de reacción	Media del porcentaje de reducción de la CE	Significancia
5	30	7,48	a
5	15	6,72	b
3	30	5,83	c
3	15	4,08	d

5.1.2.3 Oxígeno Disuelto

En la Tabla 18, se presenta los resultados de la concentración del oxígeno disuelto del tratamiento de las aguas residuales a diferentes intensidades de corriente y tiempo de reacción del proceso de electrocoagulación, donde se evidencia que a una intensidad de 5 A y tiempo de 30 minutos, presenta un incremento del oxígeno disuelto promedio de 3,12 mg/L, con respecto al valor inicial sin tratamiento.

Tabla 18

Concentración del OD mediante el tratamiento por electrocoagulación

Tratamiento	Factores		OD (mg/L)			
	Intensidad de corriente (A)	Tiempo de reacción (min)	I	II	III	Promedio (mg/L)
TA	3	15	2,31	2,48	2,45	2,41
TB	3	30	2,92	2,78	2,89	2,86
TC	5	15	2,99	2,91	2,92	2,94
TD	5	30	3,11	3,02	3,22	3,12

En la Tabla 19, se observa el análisis de varianza del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto, obteniéndose en el factor A (tiempo de reacción), B (intensidad de corriente) y su interacción AB presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los resultados a un nivel de 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 32,73 %.

Tabla 19

ANOVA del porcentaje de incremento del OD

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Tiempo de reacción: A	751,29	1	751,29	46,03	0,0001
Intensidad de corriente: B	1 164,07	1	1 164,07	71,32	0,0000
AB	142,76	8	142,76	8,75	0,0182
Error	130,57	11	16,32		
Total	2 188,69				

CV=32,73 %

Puesto que, existe diferencias significativas en los resultados para los factores A, B y AB, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0,05$), a fin de comparar el nivel oxígeno disuelto por tratamiento.

En la Tabla 20, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto a diferentes intensidades de corriente, donde el mínimo incremento se observó con 3 A logrando una media de 33,25 % y el máximo con 5 A logrando una media de 52,95 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor intensidad de corriente hay mayor incremento de OD.

Tabla 20

Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje del incremento del OD a diferentes intensidades de corriente

Intensidad de corriente	Media del porcentaje de incremento del OD	Significancia
5	52,95	a
3	33,25	b

En la Tabla 21, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto a diferentes tiempos de reacción, donde el mínimo incremento se observó con 15 minutos logrando una media de 35,19 % y el máximo con 30 minutos

logrando una media de 51,01 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor tiempo de reacción hay mayor incremento de OD.

Tabla 21

Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje del incremento del OD a diferentes tiempos de reacción

Tiempo de reacción	Media del porcentaje de incremento del OD	Significancia
30	51,01	a
15	35,19	b

En la Tabla 22, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto a diferentes interacciones de intensidades de corriente y tiempos de reacción, donde el mínimo incremento se observó en la interacción 3 A y 15 minutos resultando una media de 21,89 %, sin embargo, a una interacción de 5 A y 30 minutos presenta un máximo incremento con una media de 57,41 %, diferenciándose significativamente.

Tabla 22

Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de incremento del OD en la interacción de la intensidad de corriente y tiempo de reacción

Intensidad de corriente	Tiempo de reacción	Media del porcentaje de incremento del OD	Significancia
5	30	57,41	a
5	15	48,48	b
3	30	44,61	b
3	15	21,89	c

5.1.2.4 Salinidad

En la Tabla 23, se presenta los resultados de la concentración de la salinidad del tratamiento de las aguas residuales a diferentes intensidades de corriente y tiempo de reacción del proceso de electrocoagulación, donde se evidencia que a una intensidad de 5 A y tiempo de 30 minutos, presenta una reducción de la salinidad promedio de 12,54 mg/L, con respecto al valor inicial sin tratamiento.

Tabla 23

Concentración de la salinidad mediante el tratamiento por electrocoagulación

Tratamiento	Factores		Salinidad (mg/L)			
	Intensidad de corriente (A)	Tiempo de reacción (min)	I	II	III	Promedio (mg/L)
TA	3	15	12,75	12,75	12,67	12,72
TB	3	30	12,76	12,68	12,64	12,69
TC	5	15	12,61	12,69	12,70	12,67
TD	5	30	12,62	12,52	12,49	12,54

En la Tabla 24, se observa el análisis de varianza del porcentaje de la reducción de la salinidad, obteniéndose en el factor A (tiempo de reacción), B (intensidad de corriente) y su interacción AB presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los resultados a un nivel de 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 25,14 %.

Tabla 24

ANOVA del porcentaje de reducción de la salinidad

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Tiempo de reacción: A	1,04	1	1,04	5,45	0,0477
Intensidad de corriente: B	1,89	1	1,89	9,86	0,0138
AB	0,38	8	0,38	1,99	0,1957
Error	1,53	11	0,19		
Total	4,85				

CV=25,14 %

Puesto que, existe diferencias significativas en los resultados para los factores A y B, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0,05$), a fin de comparar el nivel salinidad por tratamiento.

En la Tabla 25, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de reducción de la salinidad a diferentes intensidades de corriente, donde la mínima reducción se presentó con 3 A logrando una media de 2,24 % y el máximo con 5 A logrando una media de 3,04 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor intensidad de corriente hay mayor reducción de Salinidad.

Tabla 25

Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de la reducción de la salinidad a diferentes intensidades de corriente

Intensidad de corriente	Media del porcentaje de reducción de la salinidad	Significancia
5	3,04	a
3	2,24	b

En la Tabla 26, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de reducción de la salinidad a diferentes tiempos de reacción, donde la mínima reducción se presentó con 15 minutos logrando una media de 2,35 % y el máximo con 30 minutos logrando una

media de 2,94 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor tiempo de reacción hay mayor reducción de Salinidad.

Tabla 26

Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la reducción de la salinidad a diferentes tiempos de reacción

Tiempo de reacción	Media del porcentaje de reducción de la salinidad	Significancia
30	2,94	a
15	2,35	b

5.1.2.5 Sólidos disueltos totales

En la Tabla 27, se presenta los resultados de la concentración de los SDT del tratamiento de las aguas residuales a diferentes intensidades de corriente y tiempo de reacción del proceso de electrocoagulación, donde se evidencia que, a una intensidad de 5 A y tiempo de 30 minutos, presenta una reducción de los SDT promedio de 13 595 mg/L, con respecto al valor inicial sin tratamiento.

Tabla 27

Concentración de los SDT mediante el tratamiento por electrocoagulación

Tratamiento	Factores		SDT (mg/L)			
	Intensidad de corriente (A)	Tiempo de reacción (min)	I	II	III	Promedio (mg/L)
TA	3	15	13 834	13 820	13 830	13 828
TB	3	30	13 712	13 735	13 700	13 716
TC	5	15	13 745	13 747	13 776	13 756
TD	5	30	13 668	13 574	13 542	13 595

En la Tabla 28, se observa el análisis de varianza del porcentaje de la remoción de los SDT, obteniéndose en el factor A (tiempo de reacción), B (intensidad de corriente) y su interacción AB presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los resultados a un nivel de 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 0,91 %.

Tabla 28

ANOVA del porcentaje de remoción de los SDT

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Tiempo de reacción: A	0,97	1	0,97	44,59	0,0002
Intensidad de corriente: B	0,48	1	0,48	21,96	0,0016
AB	0,03	8	0,03	1,47	0,2606
Error	0,17	11	0,02		
Total	1,66				

CV=0,91 %

Puesto que, existe diferencias significativas en los resultados para los factores A y B, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0,05$), a fin de comparar el nivel de los SDT por tratamiento.

En la Tabla 29, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de remoción de los SDT a diferentes intensidades de corriente, donde la mínima remoción se presentó con 3 A logrando una media de 42,74 % y el máximo con 5 A logrando una media de 43,14 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor intensidad de corriente hay mayor remoción de SDT.

Tabla 29

Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de la remoción de los SDT a diferentes intensidades de corriente

Intensidad de corriente	Media del porcentaje de remoción de los SDT	Significancia
5	43,14	a
3	42,74	b

En la Tabla 30, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de remoción de los SDT a diferentes tiempos de reacción, donde la mínima remoción se presentó con 15 minutos logrando una media de 42,66 % y el máximo con 30 minutos logrando una media de

43,22 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor tiempo de reacción hay mayor remoción de SDT.

Tabla 30

Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la remoción de los SDT a diferentes tiempos de reacción

Tiempo de reacción	Media del porcentaje de remoción de los SDT	Significancia
30	43,22	a
15	42.66	b

5.1.2.6 Turbidez

En la Tabla 31, se presenta los resultados de la concentración de la turbidez del tratamiento de las aguas residuales a diferentes intensidades de corriente y tiempo de reacción del proceso de electrocoagulación, donde se evidencia que a una intensidad de 5 A y tiempo de 30 minutos, presenta una reducción de la turbidez promedio de 6,56 NTU, con respecto al valor inicial sin tratamiento.

Tabla 31

Concentración de la turbidez mediante el tratamiento por electrocoagulación

Tratamiento	Factores		Turbidez (NTU)			
	Intensidad de corriente (A)	Tiempo de reacción (min)	I	II	III	Promedio (NTU)
TA	3	15	28,04	27,05	24,09	26,39
TB	3	30	12,02	12,34	12,31	12,22
TC	5	15	12,37	12,95	12,79	12,70
TD	5	30	6,86	6,92	5,91	6,56

En la Tabla 32, se observa el análisis de varianza del porcentaje de la remoción de la turbidez, obteniéndose en el factor A (tiempo de reacción), B (intensidad de corriente) y su interacción AB presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los resultados a un nivel de 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 5,24 %.

Tabla 32

ANOVA del porcentaje de remoción de la turbidez

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Tiempo de reacción: A	119,26	1	119,26	263,94	0,0000
Intensidad de corriente: B	108,42	1	108,42	239,96	0,0000
AB	18,68	8	18,68	41,33	0,0002
Error	3,61	11	0,45		
Total	249,97				

CV=5,24 %

Puesto que, existe diferencias significativas en los resultados para los factores A, B y AB, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0,05$), a fin de comparar el nivel de la turbidez por tratamiento.

En la Tabla 33, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de remoción de la turbidez a diferentes intensidades de corriente, donde la mínima remoción se presentó con 3 A logrando una media de 88,00 % y el máximo con 5 A logrando una media de 94,02 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor intensidad de corriente hay mayor remoción de Turbidez.

Tabla 33

Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de la remoción de la turbidez a diferentes intensidades de corriente

Intensidad de corriente	Media del porcentaje de remoción de la turbidez	Significancia
5	94,02	a
3	88,00	b

En la Tabla 34, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de remoción de la turbidez a diferentes tiempos de reacción, donde la mínima remoción se presentó con 15 minutos logrando una media de 87,86 % y el máximo con 30 minutos logrando una

media de 94,17 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor tiempo de reacción hay mayor remoción de Turbidez.

Tabla 34

Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la remoción de la turbidez a diferentes tiempos de reacción

Tiempo de reacción	Media del porcentaje de remoción de la turbidez	Significancia
30	94,17	a
15	87,86	b

En la Tabla 35, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de remoción de la de la turbidez a diferentes interacciones de intensidades de corriente y tiempos de reacción, donde la mínima reducción se presentó en la interacción 3 A y 15 minutos resultando una media de 83,61 %, sin embargo, a una interacción de 5A y 30 minutos presenta una máxima reducción con una media de 95,92 %, diferenciándose significativamente.

Tabla 35

Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de remoción de la turbidez en la interacción a diferentes intensidades de corriente y tiempos de reacción

Intensidad de corriente	Tiempo de reacción	Media del porcentaje de remoción de la turbidez	Significancia
5	30	95,92	a
3	30	92,41	b
5	15	92,11	b
3	15	83,61	c

5.1.2.7 Demanda biológica de oxígeno

En la Tabla 36, se presenta los resultados de la concentración de la DBO_5 del tratamiento de las aguas residuales a diferentes intensidades de corriente y tiempo de reacción del proceso de electrocoagulación, donde se evidencia que a una intensidad de 5 A y tiempo de 30 minutos, presenta una reducción de la DBO_5 promedio de 533,50 mg/L, con respecto al valor inicial sin tratamiento.

Tabla 36

Concentración de la DBO_5 mediante el tratamiento por electrocoagulación

Tratamiento	Factores		DBO_5 (mg/L)			
	Intensidad de corriente (A)	Tiempo de reacción (min)	I	II	III	Promedio (mg/L)
TA	3	15	589,20	577,70	597,30	588,07
TB	3	30	542,90	566,70	539,20	549,60
TC	5	15	567,50	558,00	566,50	564,00
TD	5	30	535,70	534,10	530,70	533,50

En la Tabla 37, se observa el análisis de varianza del porcentaje de la remoción de la DBO_5, obteniéndose en el factor A (tiempo de reacción), y B (intensidad de corriente) presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los resultados a un nivel de 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 2,56 %.

Tabla 37

ANOVA del porcentaje de remoción de la DBO_5

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Tiempo de reacción: A	17,38	1	17,38	40,53	0,0002
Intensidad de corriente: B	5,88	1	5,88	13,73	0,0060
AB	0,23	8	0,23	0,54	0,4851
Error	3,43	11	0,43		
Total	26,92				

CV=2,56 %

Puesto que, existe diferencias significativas en los resultados para los factores A y B, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0,05$), a fin de comparar el nivel de la de la DBO_5 por tratamiento.

En la Tabla 38, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de remoción de la DBO_5 a diferentes intensidades de corriente, donde la mínima remoción se presentó con 3 A logrando una media de 60,35 % y el máximo con 5 A logrando una media de 61,75 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor intensidad de corriente hay mayor remoción de DBO_5.

Tabla 38

Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de la remoción de la DBO_5 a diferentes intensidades de corriente

Intensidad de corriente	Media del porcentaje de remoción de la DBO_5	Significancia
5	61,75	a
3	60,35	b

En la Tabla 39, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de remoción de la DBO_5 a diferentes tiempos de reacción, donde la mínima remoción se presentó con 15 minutos logrando una media de 59,85 % y el máximo con 30 minutos logrando una media de

62,25 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor tiempo de reacción hay mayor remoción de DBO_5.

Tabla 39

Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la remoción de la DBO_5 a diferentes tiempos de reacción

Tiempo de reacción	Media del porcentaje de remoción de la DBO_5	Significancia
30	62,25	a
15	59,85	b

5.1.2.8 Demanda química de oxígeno

En la Tabla 40, se presenta los resultados de la concentración de la DQO del tratamiento de las aguas residuales a diferentes intensidades de corriente y tiempo de reacción del proceso de electrocoagulación, donde se evidencia que a una intensidad de 5 A y tiempo de 30 minutos, presenta una reducción de la DQO promedio de 1 533.60 mg/L, con respecto al valor inicial sin tratamiento.

Tabla 40

Concentración de la DQO mediante el tratamiento por electrocoagulación

Tratamiento	Factores		DQO (mg/L)			
	Intensidad corriente (A)	Tiempo reacción (min)	I	II	III	Promedio (mg/L)
TA	3	15	1 759,80	1 775,30	1 759,80	1 765,97
TB	3	30	1 713,60	1 651,90	1 667,30	1 677,60
TC	5	15	1 682,70	1 713,60	1 713,60	1 703,30
TD	5	30	1 605,60	1 435,90	1 559,30	1 533,60

En la Tabla 41, se observa el análisis de varianza del porcentaje de la remoción de la DQO, obteniéndose en el factor A (tiempo de reacción), y B (intensidad de corriente) presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los resultados a un nivel de 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 3,40 %.

Tabla 41

ANOVA del porcentaje de remoción de la DQO

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Tiempo de reacción: A	24,06	1	24,06	21,82	0,0016
Intensidad de corriente: B	15,39	1	15,39	13,96	0,0057
AB	2,46	8	2,46	2,23	0,1738
Error	8,82	11	1,10		
Total	50,72				

CV=3,40 %

Puesto que, existe diferencias significativas en los resultados para los factores A y B, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0,05$), a fin de comparar el nivel de la DQO por tratamiento.

En la Tabla 42, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de remoción de la DQO a diferentes intensidades de corriente, donde la mínima remoción se presentó con 3 A logrando una media de 62,11 % y el máximo con 5 A logrando una media de 64,38 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor intensidad de corriente hay mayor remoción de DQO.

Tabla 42

Prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de la remoción de la DQO a diferentes intensidades de corriente

Intensidad de corriente	Media del porcentaje de remoción de la DQO	Significancia
5	64,38	a
3	62,11	b

En la Tabla 43, se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$) del porcentaje de remoción de la DQO a diferentes tiempos de reacción, donde la mínima remoción se presentó con 15 minutos logrando una media de 61,83 % y el máximo con 30 minutos logrando una media de

64,66 % diferenciándose significativamente. Por tanto, se puede afirmar que a mayor tiempo de reacción hay mayor remoción de DQO.

Tabla 43

Prueba de rangos múltiples de Tukey (p < 0,05) del porcentaje de la remoción de la DQO a diferentes tiempos de reacción

Tiempo de reacción	Media del porcentaje de remoción de la DQO	Significancia
30	64,66	a
15	61,83	b

5.2 Discusiones

5.2.1 Discusión del análisis los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa

La evaluación de las características fisicoquímicas del agua residual industrial del proceso de aceituna, presenta una elevada carga de contaminantes que sobrepasan en ciertos parámetros los VMA. Respecto al pH inicial del agua residual mostro un carácter ligeramente acido de 6,8 de pH, cuyo valor se asemeja a lo reportado por Aldana et al. (2021), siendo de 6,3; y por Nieto & Hodaifa (2007) donde las aguas residuales de lavado de aceituna presentaron un valor de pH de 6,64, por el otro contradictorio Tatoulis et al. (2016) identificó valores inferiores en un rango de 4 – 6 de pH, esta diferencia se debe a la presencia de altas concentraciones de insumos (ácido fórmico y acético) que se producen durante el proceso de fermentación, lo cual implica que el pH disminuya, tal y como reporta Cifuentes (2014); El-Abbassi et al. (2014); Çokay et al. (2024), con valores de 4,45; 4,0; 5,5 de unidades de pH respectivamente. Sin embargo; Kopsidas (1992), considera que existen variaciones del valor de pH debido a las distintas etapas y activades de elaboración de las aceitunas de mesa, encontrándose fluctuaciones de 3,6 – 13,2.

La conductividad eléctrica del agua residual reportada es de 21,618 mS/cm, valor elevado por la presencia de sales en el agua del proceso de aceituna; dato que se asemeja a lo presentado por Çokay et al. (2024) siendo de 22,6 mS/cm; sin embargo, existen fluctuaciones que dependen de la cantidad de volúmenes de aguas y las concentraciones de sales utilizados para la elaboración de aceitunas de mesa, según diferentes autores; Aldana et al. (2021); El-Abbassi et al. (2014); Cifuentes (2014)con valores diferentes de 9 000 uS/cm, 84,2 mS/cm, 45,43mS/cm respectivamente.

La turbidez del agua residual registra un valor de 161 NTU, esto se debió a la carga orgánica presente en el efluente, mientras que en el estudio realizado por Cifuentes (2014), registro un valor de turbiedad elevado de 378,5 NTU, caso contrario a lo reportado por Aldana et al., (2021), una turbiedad relativamente menor a lo obtenido en el presente trabajo, siendo de 58 NTU.

Los SDT del agua residual presentaron un valor de 24 052 mg/L, mayor a los reportado por El-Abbassi et al. (2014), con un valor de 73,5 g/L. Sin embargo, Kopsidas (1992)hace mención que los SDT fluctúan entre un rango de 0,2-80,0 g/L.

Los DBO y la DQO 1 434,60 mg/L y 4 543,00 mg/L respectivamente, evidenciando concentraciones elevadas de la carga orgánica, estos valores se compararon con otros estudios, donde en el estudio de Aldana (2020) reporta que las aguas residuales de la industria de aceitunas de mesa, identificó parámetros iniciales de DQO (10,600 mg/L) y DBO5 (6,890 mg/L) elevados, siendo valores mayores a lo observado. Por otro lado, también se identifican diferencias en los resultados con respecto a la propuesta de Cifuentes (2014) que reportó características del DQO inicial diferente (10,834 mgO2/L). Sin embargo, en lo indicado por Kopsidas (1992), la DBO y la DQO varían entre un rango de 0,1 - 6,6 g/L y 0,3 -16,2 respectivamente, lo que se puede indicar variaciones en los procesos de producción y generación del agua residual.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales del proceso de aceituna de mesa reveló variaciones significativas en la calidad del agua tratada. Antes del tratamiento, las aguas residuales presentaban altos niveles de DBO, DQO, turbidez y SDT, lo que indicaba una fuerte carga contaminante. Tras el tratamiento mediante electrocoagulación, estos parámetros mostraron una reducción, evidenciando la eficacia del proceso en la mejora de la calidad del agua residual.

5.2.2 Discusiones de la influencia de la intensidad de corriente y tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa.

Los resultados presentados por Benekos et al. (2019) que trabajaron con diferentes densidades de corriente eléctrica (41,7 mA/cm², 83,3 mA/cm², y 166,7 mA/cm²), encontraron que los electrodos de aluminio eran más eficientes para reducir la DQO con una menor concentración inicial de DQO (3 000 mg/L) y menor consumo de energía, destacando una diferencia en los parámetros operativos y las concentraciones iniciales de contaminantes que pueden afectar la eficiencia del tratamiento.

Asimismo, se constató que la eficiencia del método depende en gran medida del pH inicial, la densidad de corriente y la duración de la electrólisis.

Según Niazmand et al. (2019) quienes encontraron que el electrodo de aluminio es el más efectivo en la reducción de DQO, SDT y turbidez, similar a los hallazgos del estudio base sobre la efectividad de la electrocoagulación. Además, se observó que la eficiencia del método está altamente influenciada por el pH inicial, la densidad de corriente y el tiempo

de electrólisis. En ambos estudios, el pH natural del agua residual de aceitunas fue adecuado para el tratamiento sin necesidad de productos químicos adicionales. Asimismo, reportaron una rápida y eficaz reducción de contaminantes en 60 minutos, con una disminución de DQO en un 78,51% y turbidez en un 97,93% a una densidad de corriente de 15 mA/cm^2, lo que muestra una eficiencia comparable a los resultados obtenidos en el estudio base.

Por otro lado, es similar a los datos de López & Harnisth (2016) que determinaron que los factores tiempo, número de placas del electrocoagulador y voltaje del sistema influyen significativamente en el proceso. Ellos encontraron una remoción del 93% de DQO y 82% de DBO_5, con una reducción de la turbidez de 770 NTU a 19,9 NTU tras el tratamiento. Aunque los valores iniciales y las condiciones de tratamiento difieren, ambos estudios destacan la alta eficiencia de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes, corroborando la robustez de esta técnica en distintos tipos de aguas residuales.

Asimismo, es similar a los resultados de Ojeda & Hing (2010) que desarrollaron un reactor a escala laboratorio y reportaron una remoción de color del 87,41%, identificando que el tiempo de electrólisis y el pH de la

solución son factores para obtener una mayor eficiencia en el proceso, con una densidad de corriente de 0,15912 A/cm². Aunque este estudio se enfocó en un tipo diferente de agua residual y parámetros específicos de color, la identificación de factores críticos para la eficiencia del tratamiento como el tiempo de electrólisis y el pH es consistente con nuestras observaciones y las de Niazmand et al. (2019).

Los resultados presentados por Niazmand et al. (2020) que investigaron la optimización de las condiciones de electrocoagulación, encontrando que una densidad de corriente de 19,9 mA/cm² y un tiempo de 58,4 minutos, se logró reducir el DQO en un 78,6%, y la turbidez se redujo a niveles aceptables en condiciones óptimas. Estas observaciones coinciden con los datos del estudio base que muestran que una mayor intensidad de corriente mejora la eficiencia de remoción de contaminantes, aunque los valores específicos de densidad de corriente y tiempo de reacción pueden variar según las características del agua residual tratada.

De manera similar, los datos se refuerzan por lo señalado por Agudelo et al. (2021) que encontraron que tanto el tiempo como la intensidad de corriente influyen significativamente en la remoción de turbidez, a un tiempo de reacción de 60 minutos, una intensidad de

corriente de 24 A logrando una remoción de turbidez del 75,05%. Aunque la eficiencia de remoción es menor en comparación con los datos del estudio base y los de Niazmand et al. (2020) esta investigación resalta la importancia de ajustar la intensidad de corriente para maximizar la eficacia del tratamiento en diferentes tipos de aguas residuales.

Por último, se debe destacar los resultados de Aguilar (2015), que reportó una alta eficiencia en la remoción de DQO en los efluentes de la planta industrial de pintura. En condiciones de un tiempo de reacción de 15 minutos, una intensidad de corriente de 5 A y un de un pH de 7,12, logrando una remoción del 87% de DQO. Aunque la intensidad de corriente utilizada por Aguilar es menor que la aplicada en otros estudios, su investigación muestra que incluso con intensidades de corriente más bajas y tiempos de tratamiento más cortos, la electrocoagulación puede ser altamente efectiva en la remoción de contaminantes específicos.

El tiempo de reacción y la intensidad de corriente en el proceso de electrocoagulación también tuvo un impacto considerable en la calidad del tratamiento de aguas residuales. El análisis mostró que tiempos de reacción más largos resultaron en una mayor remoción de contaminantes. De la misma manera se observó que, a mayores intensidades de corriente,

la eficiencia de remoción de DBO, DQO y otros contaminantes, corroborando que la intensidad de corriente es un factor importante en el proceso de electrocoagulación. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) indicaron que diferentes niveles de corriente eléctrica y tiempos de reacción afectaron significativamente la eficiencia de remoción de contaminantes, sugiriendo que la optimización del tiempo de reacción y la intensidad de corriente es esencial para maximizar la eficacia de la electrocoagulación.

CONCLUSIONES

Se evaluó el método de electrocoagulación en el tratamiento de las aguas residuales de proceso de aceituna de mesa de la ciudad de Tacna, demostrando ser efectiva en la remoción de los parámetros fisicoquímicas analizados, y evidenciando que esta técnica es una opción viable para mejorar la calidad del agua residual en esta industria de procesamiento de alimentos.

Se realizó el análisis de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales, resultando una calidad deficiente por el nivel elevado de contaminantes del agua residual de procesamiento de aceituna de mesa de la muestra inicial, reflejando un pH de 6,8 (ligeramente ácida), un oxígeno disuelto de 0,88 (fuertemente bajo), una elevada conductividad eléctrica de 21 618 uS/cm, siendo evidenciado por el alto contenido de salinidad y SDT con valores de 13,00 mg/L y 24 052 respectivamente. Asimismo, se presenciaron niveles elevados en carga orgánica y sustancias químicas oxidables en la DBO_5 y DQO de 1 434,60 mg/L y 4 543,00 mg/L respectivamente. Respecto a turbiedad del agua residual se presenció un alto contenido de NTU con un valor de 161,00.

Se determinó la influencia de la intensidad de corriente y el tiempo de reacción en el proceso de electrocoagulación, resultando un efecto significativo en la remoción de los parámetros fisicoquímicos del agua residual de procesamiento de aceituna de mesa mediante la electrocoagulación; entre ellos la turbidez tuvo una remoción máxima de 95,92%; para la DQO de 66,24%, la DBO de 62,81% y los sólidos disueltos totales de 43,48%, demostrando que a niveles más altos de corriente eléctrica y en tiempos más prolongados resultaron mayores remociones de los contaminantes. Respecto a la conductividad eléctrica y la salinidad presentaron una reducción máxima del 7,48% y 3,51% respectivamente, sin embargo, para los parámetros de pH y el oxígeno disuelto se presentaron incrementos del 20,64% y 57,41% respectivamente.

RECOMENDACIONES

Se recomienda optimizar la intensidad de corriente utilizada en el proceso de electrocoagulación. De esta manera, se espera maximizar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, reduciendo el consumo de energía y los costos operativos, y garantizando el cumplimiento de los estándares de calidad del agua tratada.

Se recomienda ajustar los tiempos de reacción en el proceso de electrocoagulación para obtener una mayor remoción de contaminantes a través de una metodología de inicio con tiempos más prolongados y basados en los resultados obtenidos. De esta manera, se espera aumentar la eficacia del tratamiento de aguas residuales, asegurando una mayor reducción de contaminantes y mejorando la calidad del agua tratada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agudelo Valencia, R. N., Garcés Polo, S., Marca Montoya, Y., & Peña Giraldo, M. (2021). Evaluación de la electrocoagulación con electrodos de grafito como alternativa para el tratamiento de aguas residuales en curtiembres. *INVENTUM*, *16*(31), 61–70. https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.16.31.2021.61-70

Aguilar Ascón, E. (2015). Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, *18*(35), 69–73. https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11843/10570

Aguilar Villanueva, J. C., & Bazan Moya, J. A. (2018). *Efecto de la intensidad eléctrica y el tiempo en la disminución de la materia orgánica y turbidez en la electrocoagulación de las aguas residuales de la ciudad universitaria UNT* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11450

Aldana, J. C., Acero, J. L., & Álvarez, P. M. (2021). Membrane filtration, activated sludge and solar photocatalytic technologies for the effective treatment of table olive processing wastewater. *Journal of*

Environmental Chemical Engineering, *9*(4). https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105743

Aldana Sánchez, C. juan. (2020). Estrategia de tratamiento de aguas residuales procedentes de una industria de aceituna de mesa. *Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones*, *III*, 23–27. http://hdl.handle.net/10662/14271

Arango Ruiz, Á. (2012). Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea*. *Producción + Limpia*, *7*(1), 56–67. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552012000100006

Arango Ruiz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Revista Universidad EAFIT*, *43*(147), 56–67. https://www.redalyc.org/pdf/215/21514706.pdf

Aviles Lozano, R. L., & Portilla Suarez, A. J. (2021). *Remoción de carga orgánica del agua residual de conservación de la aceituna mediante electrocoagulación complementado con radiación ultravioleta* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Callao]. http://hdl.handle.net/20.500.12952/6384

Ayed, L., Asses, N., Chammem, N., Ben Othman, N., & Hamdi, M. (2017). Advanced oxidation process and biological treatments for table olive processing wastewaters: constraints and a novel approach to integrated recycling process: a review. *Biodegradation*, *28*(2), 125–138. https://doi.org/10.1007/s10532-017-9782-0

Benekos, A. K., Zampeta, C., Argyriou, R., Economou, C. N., Triantaphyllidou, I.-E., Tatoulis, T. I., Tekerlekopoulou, A. G., & Vayenas, D. V. (2019). Treatment of table olive processing wastewaters using electrocoagulation in laboratory and pilot-scale reactors. *Process Safety and Environmental Protection*, *131*, 38–47. https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.036

Cahuantico Ostos, S. E. (2019). *Eficiencia del proceso de electrocoagulación en la remoción de altas turbiedades en aguas superficiales* [Tesis grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. http://hdl.handle.net/20.500.14076/19960

Cifuentes Cabezas, M. S. (2014). *Recuperación de polifenoles de aguas residuales del proceso de aceitunas de mesa mediante membranas* [Tesis de máster, Universidad Politécnica de Valencia]. http://hdl.handle.net/10251/89644

Çokay, E., Eker, S., & Taşkın, E. (2024). Treatment of table olive processing wastewater with US/UV processes. *Heliyon*, *10*(17). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37484

Das, P. P., Sharma, M., & Purkait, M. K. (2022). Recent progress on electrocoagulation process for wastewater treatment: A review. In *Separation and Purification Technology* (T. 292). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121058

EL PERUANO. (2019). *Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario*. https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1748339-3

El-Abbassi, A., Kiai, H., Raiti, J., & Hafidi, A. (2014). Application of ultrafiltration for olive processing wastewaters treatment. *Journal of Cleaner Production*, *65*, 432–438. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.016

Fajardo, A. S., Rodrigues, R. F., Martins, R. C., Castro, L. M., & Quinta-Ferreira, R. M. (2015). Phenolic wastewaters treatment by electrocoagulation process using Zn anode. *Chemical Engineering Journal*, *275*, 331–341. https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.03.116

Garcia Cabrera, N. E. (2021). *La cultura exportadora y las exportaciones de aceituna de mesa de las empresas de la región de Tacna periodo*

2016-2018 [Tesis grado, Universidad Privada de Tacna]. http://hdl.handle.net/20.500.12969/1834

García García, P., López López, A., Moreno Baquero, J. M., & Garrido Fernández, A. (2011). Treatment of wastewaters from the green table olive packaging industry using electro-coagulation. *Chemical Engineering Journal*, *170*(1), 59–66. https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.03.028

Garcia Segura, S., Eiband, M. M. S. G., Vieira de Melo, J., & Martínez Huitle, C. A. (2017). Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, *801*, 267–299. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.07.047

Hakizimana, J. N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P., & Naja, J. (2016). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*, *404*, 1–21. https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.011

Hernandez Florez, J. S., & Mejia Roa, S. (2019). *Evaluación del sistema de electrocoagulación para disminuir la carga contaminante a escala de laboratorio* [Tesis de grado, Fundación Universitaria América]. https://hdl.handle.net/20.500.11839/7384

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6º ed.). Mc Graw Hill.

Huertas Alonso, A. J., Gonzalez Serrano, D. J., Hadidi, M., Salgado Ramos, M., Orellana Palacios, J. C., Sánchez Verdú, M. P., Xia, Q., Simirgiotis, M. J., Barba, F. J., Dar, B. N., & Moreno, A. (2022). Table Olive Wastewater as a Potential Source of Biophenols for Valorization: A Mini Review. *Fermentation*, *8*(5), 215. https://doi.org/10.3390/fermentation8050215

Instituto Nacional de Calidad. (2023). *Métodos de ensayo acreditados*. https://aplicaciones.inacal.gob.pe/crtacre/

Kopsidas, G. C. (1992). Watewater from the preparation of table olives. In *War. Res* (T. 26, Numerus 5).

López, P., & Harnisth, A. (2016). Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Enfoque UTE*, *7*(1), 13–21. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n1.84

Mecola Guadiamos, N. (2019). Efecto de la electrocoagulación en la concentración de materia orgánica de aguas residuales de la Universidad Nacional de Trujillo. *Revista Ciencia y Tecnología*, *15*(2), 143–147. https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2382

Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. McGraw-Hill.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). *Guía técnica del cultivo de olivo en la región Tacna*. http://hdl.handle.net/20.500.13036/1203

Miranda Gutierrez, J. S., & Fernández Prado, J. M. (2024). Eficacia del carbón activado y reactivo Fenton en el tratamiento de aguas residuales del procesamiento de aceituna verde. *INGENIERÍA INVESTIGA*, *6*. https://doi.org/10.47796/ing.v6i00.1014

Mollah, M., Morkovsky, P., Gomes, J., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, *114*(1–3), 199–210. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009

Muvel, H., Jindal, M. K., Tewari, P. K., & Anand, V. (2024). Advancements in electrocoagulation for oily wastewater treatment: Mechanisms, efficiency, and applications. *Journal of Water Process Engineering*, *68*, 106291. https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2024.106291

Niazmand, R., Jahani, M., & Kalantarian, S. (2019). Treatment of olive processing wastewater by electrocoagulation: An effectiveness and economic assessment. *Journal of Environmental Management*, *248*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109262

Niazmand, R., Jahani, M., Sabbagh, F., & Rezania, S. (2020). Optimization of Electrocoagulation Conditions for the Purification of Table Olive Debittering Wastewater Using Response Surface Methodology. *Water*, *12*(6), 1687. https://doi.org/10.3390/w12061687

Nieto Martínez, L., & Hodaifa, G. (2007). *Depuración de las aguas de lavado de aceite y aceitunas por oxidación química a escala piloto-industrial*.

Norma Técnica Peruana. (2006). *Aceituna de mesa. Definiciones, requisitos y rotulado*. https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/3171.pdf

Ojeda Armaignac, E., & Hing Cortón, R. (2010). Estudio del proceso de electrocoagulación de la vinaza empleando electrodos de aluminio. *Tecnología Química*, *XXX*(2), 5–15. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543770001

Papadaki, E., & Mantzouridou, F. T. (2016). Current status and future challenges of table olive processing wastewater valorization. *Biochemical Engineering Journal*, *112*, 103–113. https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.04.008

Patel, S. K., Shukla, S. C., Natarajan, B. R., Asaithambi, P., Dwivedi, H. K., Sharma, A., Singh, D., Nasim, M., Raghuvanshi, S., Sharma, D., Sen, S., Dubey, S., & Prajapati, A. K. (2024). State of the art review for industrial wastewater treatment by electrocoagulation process: Mechanism, cost and sludge analysis. *Desalination and Water Treatment*, *321*, 100915. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100915

Perozo Cuicas, J. R., & Abreu Cuadra, R. L. (2011). Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable. *Química Viva*, *16*(1), 56–69. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86351157005

Piña Soberanis, M., Martín Domínguez, A., González Ramírez, C. A., Prieto García, F., Guevara Lara, A., & García-Espinoza, J. E. (2011). Revisión de las variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *10*(2), 257–271. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62020825009

Prieto García, F., Callejas Hernández, J., Reyes Cruz, V. E., & Marmolejo Santillán, Y. (2012). Electrocoagulación: Una alternativa para la depuración de lactosuero residual. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, *5*(3), 51–77. https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/34727

Ramón Córdova, Y. M. (2021). *Aplicación de la electrocoagulación como alternativa de remoción de sólidos suspendidos totales presentes en las aguas residuales generadas en el distrito de San Pedro de Saño, 2020* [Tesis de grado, Universidad Continental]. https://hdl.handle.net/20.500.12394/10394

Rigola Lapena, M. (1989). Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales. In *Marcombo*. Marcombo.

Rincón Llorente, B., De la Lama Calvente, D., Fernández Rodríguez, M. J., & Borja Padilla, R. (2018). Table Olive Wastewater: Problem, Treatments and Future Strategy. A Review. *Frontiers in Microbiology*, *9*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01641

Rodríguez Díaz, Y. J., Fuentes Guevara, M. D., Beleño Díaz, Ó. D., & Montoya Armenta, L. H. (2021). Electrocoagulación como proceso de tratabilidad de aguas residuales de una planta de lácteos y cárnicos. *Tecnura*, *25*(67), 26–39. https://doi.org/10.14483/22487638.15769

Romero Rojas, J. A. (2008). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principio de diseños*. Escuela Colombiana de Ingeniería.

State Water Resources Control Board. (2022). *Folleto Informativo Conductividad Eléctrica / Salinidad*. https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf

Tatoulis, T. I., Zapantiotis, S., Frontistis, Z., Akratos, C. S., Tekerlekopoulou, A. G., Pavlou, S., Mantzavinos, D., & Vayenas, D. V. (2016). A hybrid system comprising an aerobic biological process and electrochemical oxidation for the treatment of black table olive processing wastewaters. *International Biodeterioration and Biodegradation*, *109*, 104–112. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.01.013

Valencia Denicia, E., & Ramírez Castillo, M. L. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. *Elementos: Ciencia y cultura*, *16*(73), 27–31. http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=29411996004

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de Consistencia

<table>
<tr><th>Formulación del Problema</th><th>Objetivos</th><th>Variables</th><th>Dimensiones</th><th>Indicador</th><th>Metodología</th></tr>
<tr><td>Problema general:
¿La electrocoagulación es eficiente sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa en la provincia de Tacna?</td><td>Objetivo general:
Evaluar la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa en la provincia de Tacna.</td><td>Variable dependiente:

Y_1:
Electrocoagulación</td><td>Efecto del tiempo e intensidad de corriente</td><td>Intensidad de corriente (A):
3A y 5A

Tiempo de reacción (minutos):
15 y 30 minutos</td><td rowspan="3">

Tipo de investigación:
Aplicada

Nivel de investigación:
Explicativa

Diseño de investigación:
DBCA de 2x2 con 3 repeticiones

Técnica de recolección de datos:
Caracterización fisicoquímica del agua residual de proceso de aceituna de mesa, construcción de un reactor tipo Bach, análisis de ensayo de laboratorio, uso de multiparámetro y turbidímetro.

Procesamiento y análisis de datos:
Statgraphics Centurion XIX</td></tr>
<tr><td>Problemas específicos:
¿Cuáles son las características fisicoquímicas de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa?</td><td>Objetivos específicos:
Analizar los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa.</td><td>Variables independientes:

X_1:
Tratamiento de aguas residuales</td><td rowspan="2">Características fisicoquímicas</td><td rowspan="2">DBO5
DQO
Turbiedad
Oxígeno disuelto
Conductividad eléctrica
pH
SDT
Salinidad</td></tr>
<tr><td>¿Cuál es la influencia de la Intensidad de corriente y el tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa?</td><td>Determinar la influencia de la Intensidad de corriente y el tiempo de reacción de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso aceituna de mesa.</td></tr>
</table>

Anexo 2

Resumen de los resultados

Código	Amperaje (A)	Tiempo de reacción (min)	T(°C)	pH (Unidad)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	SDT (mg/L)	Turbidez (NTU)	Salinidad (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)
TA-1	3	15	23,70	7,22	20 771	2,31	13 834	28,04	12,75	589,20	1 759,80
TA-2	3	15	23,90	7,38	20 831	2,48	13 820	27,05	12,75	577,70	1 775,30
TA-3	3	15	23,70	7,37	20 607	2,45	13 830	24,09	12,67	597,30	1 759,80
TB-4	3	30	22,80	7,43	20 343	2,92	13 712	12,02	12,76	542,90	1 713,60
TB-5	3	30	23,10	7,69	20 369	2,78	13 735	12,34	12,68	566,70	1 651,90
TB-6	3	30	22,50	7,65	20 363	2,89	13 700	12,31	12,64	539,20	1 667,30
TC-7	5	15	22,70	7,50	20 157	2,99	13 745	12,37	12,61	567,50	1 682,70
TC-8	5	15	23,10	7,67	20 179	2,91	13 747	12,95	12,69	558,00	1 713,60
TC-9	5	15	22,40	7,55	20 161	2,92	13 776	12,79	12,70	566,50	1 713,60
TD-10	5	30	22,50	7,80	20 037	3,11	13 668	6,86	12,62	535,70	1 605,60
TD-11	5	30	22,80	8,51	19 988	3,02	13 574	6,92	12,52	534,10	1 435,90
TD-12	5	30	22,80	8,30	19 979	3,22	13 542	5,91	12,49	530,70	1 559,30

Anexo 3

Registro Fotográfico

Figura 3

Ingreso a la planta para la recolección y muestreo de agua residual no doméstica

Nota. En la presente fotografía se muestra el **a)** Ingreso a la planta procesadora de aceitunas; **b)** Vista del punto de muerto de aguas residual no domésticas; **c)** y **d)** Recojo de muestras en balde de 5 litros y bidón de 50 litros de capacidad de almacenamiento.

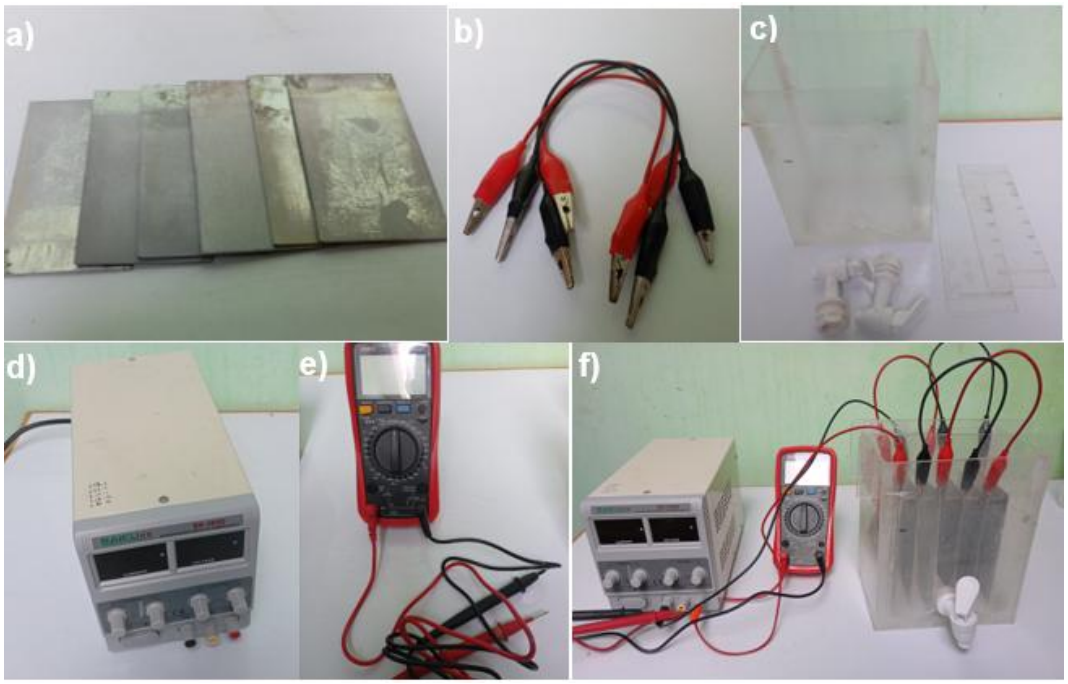
Figura 4

Muestras almacenadas y acondicionadas en la vivienda para su posterior tratamiento

Nota. En la presente fotografía se muestra el **a)** Muestra almacenada en un bidón, al interior de una vivienda donde se realizó el tratamiento del agua residual; **b)** Vista de la muestra de agua residual no domestica de la planta procesadora de aceitunas

Figura 5

Construcción del reactor tipo Bach para el proceso de electrocoagulación



Nota. En la presente fotografía se muestra el **a)** Electrodos de láminas de aluminio; **b)** Cables de ánodo y cátodo con cocodrilos; **c)** Caja rectangular con capacidad de 4 litros de almacenamiento; **d)** Fuente poder regulable; ; **e)** Multímetro para el control de corriente y voltaje; **f)** Reactor tipo Bach para el tratamiento por electrocoagulación.

Figura 6

Recojo de frascos del laboratorio ALAB E.I.R.L. para el análisis de los parámetros de la DBO y DQO

Nota. En la presente fotografía se muestra el **a)** Recojo del Cooler con frascos de plástico para el muestreo; **b)** Vista de los frascos de plástico.

Figura 7

Tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna con el reactor tipo Bach por el método de electrocoagulación

Nota. En la presente fotografía se muestra el **a)** Muestra inicial previo al tratamiento; **b)** Regulación de la fuente poder para el proceso de tratamiento por EC; **c)** Muestra tratada con 5A y 30 minutos de reacción; **d)** Muestra tratada con 5A y 15 minutos de reacción; **e)** Muestra tratada con 3A y 30 minutos de reacción; **f)** Muestra tratada con 3A y 15 minutos de reacción.

Figura 8

Tratamiento de aguas residuales y análisis de parámetros fisicoquímicos en el laboratorio

Nota. En la presente fotografía se muestra el **a)** Muestras de agua residual tratadas con tres repeticiones; **b)** Análisis de los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio de la UPT; **c)** Medición de los parámetros de pH, CE, SDT, Oxígeno disuelto, salinidad y temperatura; **d)** Medición de la turbiedad.

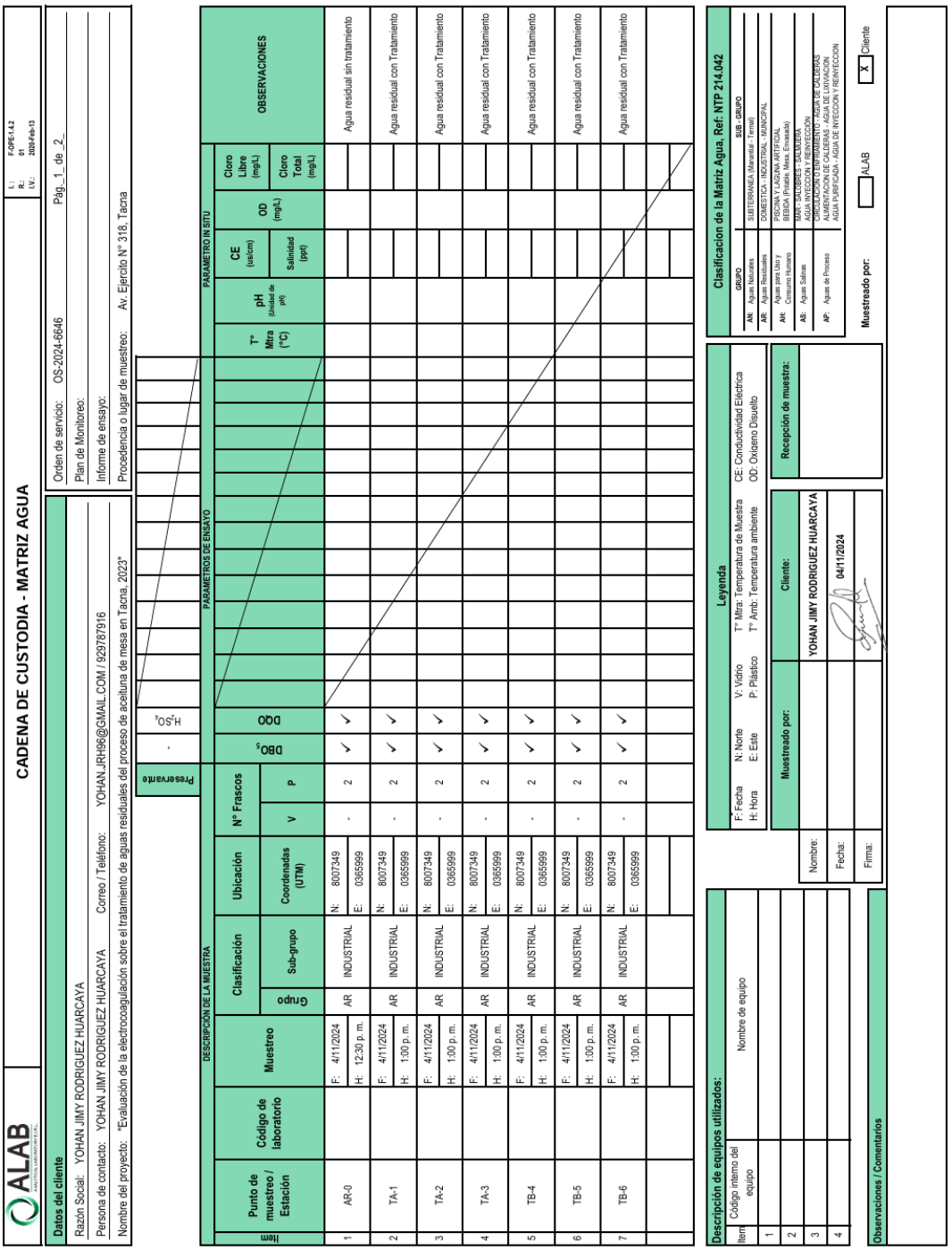
Figura 9

Envío de muestras al laboratorio acreditado ALAB E.I.R.L. para la medición de los parámetros fisicoquímicos

Nota. En la presente fotografía se muestra el **a)** Muestras listas para envió al laboratorio ALAB E.I.R.L.; **b)** Envió de muestras acondicionados en un Cooler en la empresa JATSA Cargo para su análisis posterior en el laboratorio.

Anexo 4

Cadena de Custodia



CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

ALAB — Laboratorio Ambiental

L: FOR-5.4.2 | R: 01 | V.V: 2020-Feb-13

Datos del cliente

Razón Social: YOHAN JIMY RODRIGUEZ HUARCAYA

Persona de contacto: YOHAN JIMY RODRIGUEZ HUARCAYA — Correo / Teléfono: YOHAN.JRH96@GMAIL.COM / 929787916

Nombre del proyecto: "Evaluación de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa en Tacna, 2023"

Orden de servicio: OS-2024-6646 — Pág. 1 de 2

Plan de Monitoreo:

Informe de ensayo:

Procedencia o lugar de muestreo: Av. Ejercito N° 318, Tacna

Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación: Grupo	Clasificación: Sub-grupo	Ubicación: Coordenadas (UTM)	N° Frascos: V	N° Frascos: P	Preservante: -	Preservante: H_2SO_4	PARAMETROS DE ENSAYO: DBO_5	PARAMETROS DE ENSAYO: DQO	PARAMETRO IN SITU: T° Mtra (°C)	PARAMETRO IN SITU: pH (Unidad de pH)	PARAMETRO IN SITU: CE (us/cm)	PARAMETRO IN SITU: Salinidad (ppt)	PARAMETRO IN SITU: OD (mg/L)	PARAMETRO IN SITU: Cloro Libre (mg/L)	PARAMETRO IN SITU: Cloro Total (mg/L)	OBSERVACIONES
1	AR-0		F: 4/11/2024 H: 12:30 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2			✓	✓								Agua residual sin tratamiento
2	TA-1		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2			✓	✓								Agua residual con Tratamiento
3	TA-2		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2			✓	✓								Agua residual con Tratamiento
4	TA-3		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2			✓	✓								Agua residual con Tratamiento
5	TB-4		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2			✓	✓								Agua residual con Tratamiento
6	TB-5		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2			✓	✓								Agua residual con Tratamiento
7	TB-6		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2			✓	✓								Agua residual con Tratamiento

Descripción de equipos utilizados:

Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1		
2		
3		
4		

Leyenda

F: Fecha — H: Hora

N: Norte — E: Este

V: Vidrio — P: Plástico

T° Mtra: Temperatura de Muestra — T° Amb: Temperatura ambiente

CE: Conductividad Electrica — OD: Oxigeno Disuelto

Muestreado por: — Nombre: — Fecha: — Firma:

Cliente: YOHAN JIMY RODRIGUEZ HUARCAYA — 04/11/2024

Recepción de muestra:

Clasificacion de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042

GRUPO		SUB - GRUPO
AN:	Aguas Naturales	SUBTERRANEA (Manantial - Ternal)
AR:	Aguas Residuales	DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL
AH:	Aguas para Uso y Consumo Humano	PISCINA Y LAGUNA ARTIFICIAL BEBIDA (Potable, Mesa, Envasada)
AS:	Aguas Salinas	MAR - SALOBRES - SALMUERA
AP:	Aguas de Proceso	AGUA INTERCONEXION - REFRIGERACION CIRCULACION Y ENFRIAMIENTO - AGUA DE CALDERAS ALIMENTACION DE CALDERAS - AGUA DE LAVADO AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y REINYECCION

Muestreado por: ☐ ALAB ☒ Cliente

Observaciones / Comentarios

CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

I.: F-OPE-1.4.2
R.: 01
I.V.: 2020-Feb-13

Datos del cliente

Razón Social: YOHAN JIMY RODRIGUEZ HUARCAYA

Persona de contacto: YOHAN JIMY RODRIGUEZ HUARCAYA Correo / Teléfono: YOHAN.JRH96@GMAIL.COM / 929787916

Nombre del proyecto: "Evaluación de la electrocoagulación sobre el tratamiento de aguas residuales del proceso de aceituna de mesa en Tacna, 2023"

Orden de servicio: OS-2024-6646 Pág. 2 de 2

Plan de Monitoreo:

Informe de ensayo:

Procedencia o lugar de muestreo: Av. Ejercito N° 318, Tacna

Preservante	-	H_2SO_4																				

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA									PARAMETROS DE ENSAYO														PARAMETRO IN SITU					
Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación		Ubicación	N° Frascos		DBO_5	DQO													T° Mtra (°C)	pH (Unidad de pH)	CE (us/cm)	OD (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)	OBSERVACIONES
				Grupo	Sub-grupo	Coordenadas (UTM)	V	P																	Salinidad (ppt)		Cloro Total (mg/L)	
8	TC-7		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2	✓	✓																		Agua residual con Tratamiento
9	TC-8		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2	✓	✓																		Agua residual con Tratamiento
10	TC-9		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2	✓	✓																		Agua residual con Tratamiento
11	TD-10		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2	✓	✓																		Agua residual con Tratamiento
12	TD-11		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2	✓	✓																		Agua residual con Tratamiento
13	TD-12		F: 4/11/2024 H: 1:00 p. m.	AR	INDUSTRIAL	N: 8007349 E: 0365999	-	2	✓	✓																		Agua residual con Tratamiento

Descripción de equipos utilizados:

Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1		
2		
3		
4		

Leyenda

F: Fecha N: Norte V: Vidrio T° Mtra: Temperatura de Muestra CE: Conductividad Eléctrica
H: Hora E: Este P: Plástico T° Amb: Temperatura ambiente OD: Oxígeno Disuelto

	Muestreado por:	Cliente:
Nombre:		YOHAN JIMY RODRIGUEZ HUARCAYA
Fecha:		04/11/2024
Firma:		

Recepción de muestra:

Clasificacion de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042

GRUPO		SUB - GRUPO
AN:	Aguas Naturales	SUBTERRANEA (Manantial - Termal)
AR:	Aguas Residuales	DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL
AH:	Aguas para Uso y Consumo Humano	PISCINA Y LAGUNA ARTIFICIAL BEBIDA (Potable, Mesa, Envasada)
AS:	Aguas Salinas	MAR - SALOBRES - SALMUERA AGUA INYECCION Y REINYECCION
AP:	Aguas de Proceso	CIRCULACION O ENFRIAMIENTO - AGUA DE CALDERAS ALIMENTACION DE CALDERAS - AGUA DE LIXIVIACION AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y REINYECCION

Muestreado por: [ ] ALAB [X] Cliente

Observaciones / Comentarios

Anexo 5

Informe de ensayo de Laboratorio

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 096

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-34679

N° Id.: 0000134342

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

1.- RAZON SOCIAL	: YOHAN JIMY RODRIGUEZ HUARCAYA
2.- DIRECCIÓN	: Jardines de Tacna C-4, Tacna
3.- PROYECTO	: "EVALUACION DE LA ELECTROCOAGULACION SOBRE EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE ACEITUNA DE MESA EN TACNA,2023"
4.- PROCEDENCIA	: AV. EJERCITO N°318, TACNA
5.- SOLICITANTE	: YOHAN JIMY RODRIGUEZ HUARCAYA
6.- PRODUCTO	: Agua Residual

II.- DATOS DEL SERVICIO

1.- ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000006646-2024-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2024-11-16

III.- DATOS DEL ÍTEMS DE ENSAYO

1.- MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
2- NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.- FECHA DE RECEPCIÓN	: 2024-11-05
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN	: Conservacion de la cadena de frío (<= 6°C) / Preservada.
5.- PERÍODO DE ENSAYO	: 2024-11-05 al 2024-11-16

Erika Aliaga Ibarra
Jefe de Laboratorio
CIP N° 100391

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 515 675 / 937 111 379

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D3 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-34679

Nº Id.: 0000134342

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. / Part 4500-O H, 24th Ed. 2023.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (dissolved). Optical-Probe Method	INACAL LE - 096 CHALACA
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed. 2023.	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method.	INACAL LE - 096 CHALACA

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
"APHA" : American Public Health Association

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D3 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-34679

Nº Id.: 0000134342

V.- RESULTADOS

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-24-98727
CÓDIGO CLIENTE (A)	AR-0
COORDENADAS - UTM WGS 84 (A)	E:0365999 N:8007349
PRODUCTO (A)	Agua Residual
SUB PRODUCTO (A)	Agua Residual Industrial
FECHA y HORA DE MUESTREO (A)	04-11-2024 12:30

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	1 434,6
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	4 543,0

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D3 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe