



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis

Electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica en las aguas residuales agrícolas del café, Moyobamba, San Martín, 2023

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental

Autor:

Delmester Chuquimbalqui Marina
<https://orcid.org/0000-0003-4501-4716>

Asesor:

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
<https://orcid.org/0000-0003-1396-9745>

Coasesor:

Ing. Dr. Ronald Fernando Rodríguez Espinoza
<https://orcid.org/0000-0003-4124-7619>

Tarapoto, Perú

2024



ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis

Electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica en las aguas residuales agrícolas del café, Moyobamba, San Martín, 2023

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental

Autor:

Delmester Chuquimbalqui Marina

Sustentado y aprobado el 24 de abril del 2024, ante el honorable jurado:

Presidente de Jurado

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas
Luna

Secretario de Jurado

Ing. M.Sc. Mirtha Felícita Valverde
Vera

Vocal de Jurado

Ing. M.Sc. Stánler Irigoín Vásquez

Asesor

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache
Liza

Co-asesor

Ing. Dr. Ronald Fernando Rodríguez
Espinoza

Tarapoto, Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación y defensa del Trabajo de Tesis, modo presencial, presentado por:

Bach. Delmester Chuquimbalqui Marina

Con el asesoramiento del Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza.

"Electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica en las aguas residuales agrícolas del café, Moyobamba, San Martín, 2023"

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante, lo declaramos:

APROBADO (18)

Con el calificativo (*)

MUY BUENO

En consecuencia, queda en condición de ser considerado APTO por el Consejo Universitario y recibir el Grado Académico de Maestro, de conformidad con lo estipulado en el Artículo 30° del Reglamento de Tesis de la Escuela de Posgrado de la UNSM.

Tarapoto, 24 de abril de 2024.


Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna
Presidente


Ing. M.Sc. Mirtha Felicita Valverde Vera
Secretario


Ing. M.Sc. Stanter Irigoín Vásquez
Miembro


Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
Asesor


Ing. Dr. Ronald Fernando Rodríguez Espinoza
Co Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 40° del Reglamento General de Ciencia, Tecnología e Innovación (RG - CTI) la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, estas deberán ser calificadas con términos de: BUENO, MUY BUENO, EXCELENTE, también considerar la nota



ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis

Electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica en las aguas residuales agrícolas del café, Moyobamba, San Martín, 2023

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental

Los suscritos declaran que el presente trabajo de investigación es original
en si contenido y en su forma:



Ejecutor
Delmester Chuquimbalqui Marina



Asesor
Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza



Co-asesor
Ing. Dr. Ronald Fernando Rodriguez Espinoza

Tarapoto, Perú

2024

Declaratoria de autenticidad

Delmester Chuquimbalqui Marina, con DNI N° 72774910, egresado de la Escuela de Posgrado, Unidad de Posgrado de la Facultad de Ecología, Programa de Maestría en Ciencias con mención en Gestión Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica en las aguas residuales agrícolas del café, Moyobamba, San Martín, 2023.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerar como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 24 de abril del 2024.



.....
Delmester Chuquimbalqui Marina
DNI N° 72774910

Ficha de identificación

<p>Título del proyecto Electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica en las aguas residuales agrícolas del café, Moyobamba, San Martín, 2023.</p>	<p>Área de investigación: Ciencia y tecnología ambiental Línea de investigación: Saneamiento Ambiental Sublínea de investigación: Tratamiento del agua Grupo de investigación: Tecnologías de tratamiento del agua (Resolución N° 135-2023-UNSM/CFT/FE) Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Delmester Chuquimbalqui Marina</p>	<p>Facultad de Ecología Unidad de Posgrado https://orcid.org/0000-0003-4501-4716</p>
<p>Asesor: Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Unidad de Posgrado https://orcid.org/0000-0003-1396-9745</p>
<p>Coasesor: Ing. Dr. Ronald Fernando Rodríguez Espinoza</p>	<p>Contraparte científica: Universidad Autónoma del Perú https://orcid.org/0000-0003-4124-7619</p>

Dedicatoria

A mis queridos padres, por todo el apoyo invaluable que me brindan cada día, por su amor y por ser los mejores en todo aspecto.

A la memoria de mi tía Santitos, que desde el cielo me bendice, me cuida y me guía por el camino correcto.

Agradecimientos

A Dios, por brindarme las capacidades y fortalezas necesarias para alcanzar este objetivo profesional y personal.

A mis padres, por cumplir un rol muy importante en la ejecución de la presente tesis. A mi papá, por ser mi mano derecha en todo este proceso. A mi mamá, por el aliento constante de superación y por su apoyo constante. Sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

A los ingenieros e investigadores Yrwin Francisco Azabache Liza, Ronald Fernando Rodríguez Espinoza y Adolfo Enrique Guerrero Escobedo, por sus aportes y participación en la concepción, diseño, análisis de datos, revisión crítica y demás etapas del desarrollo de la presente tesis; así como su disposición de continuar con la investigación planteada.

Índice general

Ficha de identificación.....	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimientos	9
Índice general.....	10
Índice de tablas	12
Índice de figuras.....	14
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.2. Fundamentos teóricos.....	21
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	31
3.1.1 Contexto de la investigación.....	31
3.1.2 Periodo de ejecución	31
3.1.3 Autorizaciones y permisos.....	31
3.1.4 Control ambiental y protocolos de bioseguridad	31
3.1.5 Aplicación de principios éticos internacionales	31
3.2. Sistema de variables.....	32
3.2.1 Variables principales.....	32
3.2.2 Variables secundarias	33
3.3 Procedimientos de la investigación	33
3.3.1 Objetivo específico 1	35
3.3.2 Objetivo específico 2	38
3.3.3 Objetivo específico 3	39
3.3.4 Objetivo específico 4	41

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1 Resultado específico 1.....	43
4.2 Resultado específico 2.....	47
4.3 Resultado específico 3.....	48
4.4 Resultado específico 4.....	53
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	66

Índice de tablas

Tabla 1: Condiciones de operación en el proceso de electrocoagulación	25
Tabla 2: Principales ventajas y desventajas del proceso de electrocoagulación	28
Tabla 3: Descripción de las variables por objetivo específico.....	32
Tabla 4: Niveles de las variables intensidad de corriente y tiempo de remoción	34
Tabla 5: Diseño factorial completo	35
Tabla 6: Equipos de medición de los parámetros de estudio.	36
Tabla 7: Equipos de medición de parámetros secundarios.	36
Tabla 8: Procedimientos de medición de los parámetros de estudio y parámetros secundarios (previa calibración de equipos).	37
Tabla 9: Distribución de los tratamientos de electrocoagulación.	40
Tabla 10: Normativas ambientales vigentes.....	42
Tabla 11: Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR	42
Tabla 12: Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Cat 3.....	42
Tabla 13: Parámetros de diseño del reactor de electrocoagulación	47
Tabla 14: Resumen del análisis estadístico	57
Tabla 15: Registro de concentraciones y valores iniciales de los parámetros.....	69
Tabla 16: Registro de los promedios de concentraciones y valores iniciales de los parámetros.....	69
Tabla 17: Registro de concentraciones y valores finales de los parámetros. (Primera y Segunda Repetición).....	70
Tabla 18: Registro de concentraciones y valores finales de los parámetros. (Promedio Final).....	71
Tabla 19: Registro de concentraciones y valores finales de los parámetros. (Comparación de los mejores promedios con las normativas ambientales).	72
Tabla 20: Prueba de normalidad (Parámetro: DBO5 / Electrodo de Aluminio).	74
Tabla 21: Prueba de normalidad (Parámetro: DBO5 / Electrodo de Hierro).	74
Tabla 22: Prueba de normalidad (Parámetro: DQO / Electrodo de Aluminio).	74
Tabla 23: Prueba de normalidad (Parámetro: DQO / Electrodo de Hierro).	74
Tabla 24: Prueba de normalidad (Parámetro: SST / Electrodo de Aluminio).	74
Tabla 25: Prueba de normalidad (Parámetro: SST / Electrodo de Hierro).	74
Tabla 26: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: DBO5 / Electrodo de Aluminio).	75
Tabla 27: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: DBO5 / Electrodo de Hierro).	75

Tabla 28: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: DQO / Electrodo de Aluminio).....	75
Tabla 29: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: DQO / Electrodo de Hierro).....	76
Tabla 30: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: SST / Electrodo de Aluminio).....	76
Tabla 31: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: SST / Electrodo de Hierro).....	76
Tabla 32: Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: DBO5 / Electrodo: Aluminio).....	77
Tabla 33: Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: DBO5 / Electrodo: Hierro).....	77
Tabla 34: Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: DQO / Electrodo: Aluminio).....	77
Tabla 35: Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: DQO / Electrodo: Hierro).....	78
Tabla 36: Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: SST / Electrodo: Aluminio).....	78
Tabla 37: Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: SST / Electrodo: Hierro).....	78
Tabla 38: Prueba de Tukey para los factores “Intensidad de Corriente” y “Tiempo de Remoción” (Variable dependiente: DBO5 / Electrodo: Aluminio).....	79
Tabla 39: Prueba de Tukey para los factores “Intensidad de Corriente” y “Tiempo de Remoción” (Variable dependiente: DBO5 / Electrodo: Hierro).....	79
Tabla 40: Prueba de Tukey para los factores “Intensidad de Corriente” y “Tiempo de Remoción” (Variable dependiente: DQO / Electrodo: Aluminio).....	79
Tabla 41: Prueba de Tukey para los factores “Intensidad de Corriente” y “Tiempo de Remoción” (Variable dependiente: DQO / Electrodo: Hierro).....	80
Tabla 42: Prueba de Tukey para los factores “Intensidad de Corriente” y “Tiempo de Remoción” (Variable dependiente: SST / Electrodo: Aluminio).....	80
Tabla 43: Prueba de Tukey para los factores “Intensidad de Corriente” y “Tiempo de Remoción” (Variable dependiente: SST / Electrodo: Hierro).....	80

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Procesos involucrados en un reactor de electrocoagulación.....	22
<i>Figura 2.</i> Reactor tipo Batch para el tratamiento de aguas por electrocoagulación.....	24
<i>Figura 3.</i> Concentraciones iniciales de pre tratamiento del parámetro DBO ₅	43
<i>Figura 4.</i> Concentraciones iniciales de pre tratamiento del parámetro DQO.....	44
<i>Figura 5.</i> Concentraciones iniciales de pre tratamiento del parámetro SST.....	45
<i>Figura 6.</i> Concentraciones iniciales de pre tratamiento del parámetro Temperatura...	45
<i>Figura 7.</i> Concentraciones iniciales de pre tratamiento del parámetro pH.....	46
<i>Figura 8.</i> Concentraciones finales de post tratamiento del parámetro DBO ₅	49
<i>Figura 9.</i> Concentraciones finales de post tratamiento del parámetro DQO.....	50
<i>Figura 10.</i> Concentraciones finales de post tratamiento del parámetro SST.....	51
<i>Figura 11.</i> Valores finales de post tratamiento del parámetro Temperatura.....	51
<i>Figura 12.</i> Valores finales de post tratamiento del parámetro pH.....	52
<i>Figura 13.</i> Comparación de los mejores resultados de remoción del parámetro DBO ₅	53
<i>Figura 14.</i> Comparación de los mejores resultados de remoción del parámetro DQO	54
<i>Figura 15.</i> Comparación de los mejores resultados de remoción del parámetro SST .	55
<i>Figura 16.</i> Comparación de los valores finales más elevados del parámetro Temperatura.....	55
<i>Figura 17.</i> Comparación de los valores finales más elevados del parámetro pH.....	56

RESUMEN

El crecimiento de las actividades productivas agrícolas en la provincia de Moyobamba, cada año crecen de manera positiva, y del mismo modo surgen algunos aspectos negativos, como es el caso de la generación de desechos contaminantes líquidos, que llegan a afectar a los suelos y a las fuentes naturales de agua. Resulta relevante abordar esta problemática y proponer alternativas de solución, en tal sentido, se desarrolló la presente investigación, en donde el objetivo general fue: Evaluar el tratamiento por electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica en función de DBO₅, DQO y SST, en las aguas residuales agrícolas del café. El presente proyecto de investigación se desarrolló en la provincia de Moyobamba, teniendo como punto de muestreo a una instalación tradicional (área de beneficio) de despulpado y lavado de café. El periodo de desarrollo y evaluación para el cumplimiento de los objetivos fue de 6 meses. El diseño de la investigación fue experimental, adaptándose a un diseño factorial completo. Durante el desarrollo del trabajo, se realizaron un total de 6 muestreos semanales consecutivos de estas aguas residuales, aplicando los protocolos necesarios. Los análisis de pre – post tratamiento y los ensayos correspondientes, se llevaron a cabo en el laboratorio de ingeniería sanitaria de la facultad de Ecología – UNSM, en donde se elaboró un reactor de electrocoagulación a nivel planta piloto, para el desarrollo del proceso experimental. Se realizó un total de 9 tratamientos o ensayos de electrocoagulación (con 2 repeticiones), mediante la aplicación de intensidades de corriente eléctrica en distintos niveles (1,0, 2,5 y 4,0 amperios), así como diferentes tiempos de remoción (15, 30 y 45 minutos), mediante el uso de 2 tipos de electrodos (Aluminio y Hierro); los mejores resultados se lograron en el tratamiento nueve (T9) a condiciones óptimas de: 4,0 amperios de intensidad de corriente eléctrica y 45 minutos de tiempo de remoción, mediante el uso de electrodos de aluminio, obteniendo porcentajes de remoción de 93,99% en DBO₅, 87,78% en DQO y 96,82% en SST. Se concluyó que el uso de electrodos de aluminio en el tratamiento de electrocoagulación a condiciones óptimas, resulta ser la mejor alternativa para la remoción de las concentraciones de parámetros de materia orgánica en aguas mieles de café, debido a que se logró remover dos de los tres parámetros de estudio, hasta alcanzar los límites exigidos por las normativas ambientales vigentes (LMP y ECA); caso que no ocurrió al emplear electrodos de hierro.

Palabras clave: Tratamiento, Aguas mieles, Contaminación, Parámetros, Reactor

ABSTRACT

The growth of agricultural productive activities in the province of Moyobamba is increasing every year in a positive way, and at the same time some negative aspects arise, such as the generation of liquid pollutant wastes, which affect soils and natural water sources. It is relevant to address this problem and propose alternatives for a solution, in this sense, the present research was developed, and whose general objective was: To evaluate the treatment by electrocoagulation for the removal of organic matter as a function of BOD₅, COD and TSS, in coffee agricultural wastewater. This research project was carried out in the province of Moyobamba, with a traditional coffee pulping and washing facility as the sampling point. The period of development and evaluation for the fulfillment of the objectives was 6 months. The research design was experimental, adapting to a full factorial design. During the development of the work, a total of 6 consecutive weekly wastewater samplings were carried out, applying the necessary protocols. The pre- and post-treatment analyses and the corresponding tests were carried out in the sanitary engineering laboratory of the Faculty of Ecology - UNSM, where an electrocoagulation reactor was developed at pilot plant level for the development of the experimental process. A total of 9 treatments or electrocoagulation tests were performed (with 2 repetitions), by applying electric current intensities at different levels (1.0, 2.5 and 4.0 amperes), as well as different removal times (15, 30 and 45 minutes), by using 2 types of electrodes (Aluminum and Iron). The best results were achieved in treatment nine (T9) at optimum conditions of 4.0 amperes of electric current intensity and 45 minutes of removal time, using aluminum electrodes, obtaining removal percentages of 93.99% in BOD₅, 87.78% in COD and 96.82% in TSS. It was concluded that the use of aluminum electrodes in the electrocoagulation treatment at optimum conditions is the best alternative for the removal of the concentrations of organic matter parameters in coffee wastewater, since it was possible to remove two of the three parameters under study, up to the limits required by the environmental regulations in force MPLs (Maximum Allowable Limits) and ECAs (Environmental Impact Assessments), this was not the case when iron electrodes were used.

Keywords: Treatment, coffee wastewater, Contamination, Parameters, Reactor.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

La generación de aguas residuales agrícolas provenientes de la producción del café, comúnmente denominado como aguamiel o agridulce, significa un problema de gran escala en cuanto a contaminación ambiental se refiere; se puede estimar que anualmente a nivel mundial, se generan millones de litros de estos residuos líquidos y cuya gestión de esta es muy limitado, por lo que estas aguas carecen de un tratamiento previo antes de su vertimiento, los principales puntos de descargas son los ríos. Las aguas mieles del café presentan altos niveles de materia orgánica, sólidos suspendidos y por lo general su nivel de pH es ácido. A nivel de Latinoamérica, los principales productores de café son Brasil, Colombia y Perú, siendo estos, países amazónicos y biodiversos, con ecosistemas amenazados por la contaminación (Fernández et al., 2020).

El café es el principal producto agrícola peruano destinado a la exportación, y a nivel mundial, ocupa en séptimo lugar como país exportador. No solo encabeza las exportaciones agrícolas, sino que también se encuentra entre los 10 principales productos básicos de exportación. Cuando hacemos referencia al grano del café peruano, es importante resaltar algunas características propias de aroma, sabor, acidez y cuerpo; para la obtención de estas cualidades, el café pasa por diferentes procesos hasta alcanzar el producto final, uno de estos procesos es la separación de la pulpa (despulpado) y lavado del grano resultante, la cual contribuye a la generación de una enorme cantidad de agua residual agrícola altamente contaminante y nocivo para el medio ambiente (MIDAGRI, 2015).

En la actualidad, unos 223 482 hogares de pequeños agricultores se dedican al cultivo del café a escala nacional, y el 95% de ellos tienen 5 hectáreas o menos de cultivo. (MIDAGRI, 2015); muchos de ellos con conocimientos de técnicas productivas adecuadas y constante capacitación por organizaciones y/o entidades estatales, así mismo, muchos otros con experiencia empírica, pero con limitado conocimiento técnico, la misma que viene significando un problema en cuanto al manejo adecuado de los residuos contaminantes líquidos que se genera en esta actividad.

Al abordar el tema de la aplicación de tecnologías o métodos de tratamiento de desechos líquidos agrícolas, como lo son las aguas mieles de café, se puede mencionar a metodologías convencionales eficientes, entre ella tenemos a las lagunas de

estabilización y a los reactores aerobios, las cuales corresponden a tratamientos biológicos, en donde el fin principal es el de la remoción de materia orgánica, ambos métodos resultan ser alternativas viables, siempre que se le dé una adecuada operación y sobre todo un adecuado mantenimiento; se puede evidenciar que en el Perú, se hicieron estudios e investigaciones referido a la depuración de estos efluentes, mediante la aplicación de estas tecnologías, pero se comprobó que la principal falencia resultó ser el inadecuado mantenimiento, por lo que la aplicación de nuevos métodos de tratamiento, en donde se minimicen las labores de mantenimiento, podría significar una gran alternativa de solución a este problema (Palacios, 2019).

De acuerdo a actualizaciones, hasta mediados del año 2021, las amplias condiciones térmicas favorecieron el establecimiento de la industria del grano de café, lo que ayudó a que el cultivo prosperara en los principales sectores productores, sobre todo en San Martín (58,8%). En los últimos años, en este departamento se intensificó la producción y de igual manera, se incrementaron las familias dedicadas a producir y comercializar este producto agrícola, debido a los distintos programas de soporte del gobierno regional, así como de organizaciones particulares, por ende, un incremento en la producción significará un mayor grado de contaminación ambiental por la generación de desechos residuales, siendo este un tema poco abordado por estas entidades (INEI, 2021).

El problema más latente en la producción de granos de café a pequeña y mediana escala es la falta de implementación de procesos o técnicas de tratamiento de sus residuos, siendo el residuo líquido (agua miel o agridulce) un contaminante ambiental potencial, principalmente de suelos, aguas superficiales y subterráneas, esto debido a su alta concentración de materia orgánica. Actualmente, en el departamento de San Martín, específicamente en la provincia de Moyobamba y sus distritos, los agricultores dedicados a esta actividad productiva, evacuan estas aguas residuales agrícolas de manera directa a las quebradas, generando un enorme impacto en la vida acuática y en el deterioro de la calidad de estas fuentes hídricas, lo mismo ocurre con aquellos agricultores que vierten estas aguas residuales directo al suelo, modificando de esta manera las características fisicoquímicas de los terrenos fértiles, así como contaminando las aguas subterráneas del lugar (INEI, 2021).

Por lo antes mencionado, se desarrolló la presente investigación, con la finalidad de reducir o remover los principales parámetros de contaminación orgánica presente en los efluentes residuales agrícolas del café, mediante la aplicación de una tecnología poco abordada en este ámbito (electrocoagulación); para generar una alternativa de solución

viable en la reducción del problema de contaminación ambiental en la provincia de Moyobamba. La formulación del problema de la investigación quedó definida de la siguiente manera: ¿El tratamiento por electrocoagulación, podrá remover la materia orgánica en función de DBO₅, DQO y SST, en las aguas residuales agrícolas del café?, planteando la hipótesis de investigación (H₁): Si aplicamos el tratamiento por electrocoagulación, se removerá la materia orgánica en función de DBO₅, DQO y SST, en las aguas residuales agrícolas del café, y la hipótesis nula (H₀): Si aplicamos el tratamiento por electrocoagulación, no se removerá la materia orgánica en función de DBO₅, DQO y SST, en las aguas residuales agrícolas del café.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar el tratamiento por electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica en función de DBO₅, DQO y SST, en las aguas residuales agrícolas del café; por consiguiente los objetivos específicos fueron: primero: Determinar los parámetros fisicoquímicos iniciales de DBO₅, DQO y SST, de las aguas residuales agrícolas del café; segundo: Elaborar a nivel planta piloto, un reactor para el proceso de electrocoagulación de las aguas residuales agrícolas del café; tercero: Determinar las condiciones óptimas de tratamiento (intensidad de corriente eléctrica y tiempo de remoción), mediante el uso de electrodos de aluminio y hierro, y cuarto: Evaluar si los niveles de remoción de la materia orgánica en función de DBO₅, DQO y SST, son los adecuados para la emisión de estas aguas tratadas al ambiente y/o para uso de riego.

El informe de la presente investigación inicia con la introducción en el primer capítulo, el marco teórico se describe en el segundo capítulo, donde se incluyen los antecedentes de la investigación y los fundamentos teóricos, en el tercer capítulo encontramos los materiales y métodos, por último, los resultados y las discusiones se presentan en el cuarto capítulo. Las conclusiones, sugerencias, citas bibliográficas y anexos se incluyen al final del informe. Los anexos también ofrecen pruebas de la evolución experimental de la investigación, plasmadas en un panel fotográfico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Gardiman et al. (2021), en su artículo científico titulado “Evaluación de la Calidad de las Aguas Residuales de la Industria del Café Sometidas a Tratamiento Electrolítico”, utilizaron un reactor de electrocoagulación que constó de una celda de vidrio (8,15 cm x 13,8 cm y 8,9 cm de altura), además usaron electrodos de aluminio distanciadas a 20 mm, con una configuración monopolar en paralelo. Usando un nivel de amperaje de 2,054 y tiempo de remoción de 20,27 minutos, lograron niveles finales de remoción de 15,704 mg/L en DQO y 4,099 mg/L en SST, demostrando la eficiencia del proceso de electrocoagulación en la depuración de estas aguas.

Aguilar et al. (2020), en su artículo científico denominado “Eficiencia del método de electrocoagulación para reducir DQO, DBO y SST en aguas residuales de la industria del curtido: Aplicación del diseño box-behnken”, obtuvieron como resultados de remoción del 56,8% aplicando 3 amperios y 24 minutos para DQO, 69,2 % aplicando 3 amperios y 24 minutos para DBO5 y 99,9% aplicando 2,7 amperios y 19 minutos para para SST; la experimentación se llevó a cabo en un volumen de 12 L de muestra, en una celda de electrocoagulación de 30 cm x 20 cm x 25 cm, usando ocho placas de aluminio paralelas que se colocaron a 2 cm de distancia, y configurado en serie.

Cuba (2020), en su tesis de posgrado “Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales – Ate Vitarte”, determinó que las mejores condiciones de operación fue con una intensidad de 5 amperios, distancia de 2 cm entre electrodos y un tiempo de permanencia de 15 min mediante el uso de un reactor discontinuo tipo Batch incorporado de electrodos de material aluminio; obteniendo resultados favorables de remoción de DQO de 90,83%, además obtuvo remociones de 95,93% en SST. Concluyó que este proceso genera resultados positivos en la descontaminación por contaminantes orgánicos, estas aguas tratadas pueden ser reutilizadas en riego de vegetales de acuerdo a la normativa.

Dobrosz et al. (2020), en su artículo científico titulado “Tratamiento de aguas residuales de la industria del café soluble vía Electrocoagulación - Oxidación Anódica”, Colombia, obtuvieron como resultados valores de eliminación de DQO (indicador de materia

orgánica) del 75%; utilizaron electrodos de boro dopado con diamante (DDB) como ánodo y acero inoxidable como cátodo; también utilizaron cloruro sódico (NaCl) como soporte electrolítico para el tratamiento. Se concluyó que este proceso de tratamiento es eficaz para eliminar la DQO de los residuos líquidos de la industria del café, pero los costos operativos son muy elevados.

Calderón (2019), en su tesis de posgrado denominado “Remoción de contaminantes orgánicos de aguas residuales industriales por electrocoagulación, con adición de peróxido de hidrogeno, en un reactor tubular”, obtuvo como resultado una remoción del 96,73% de materia orgánica (DQO), a partir de condiciones óptimas de remoción: 30 minutos de tratamiento, 2 amperios de intensidad de corriente, y el uso de un reactor tubular con electrodos de acero inoxidable. Llegó a la conclusión que este método con reactor tubular dio resultados positivos en la remoción de materia orgánica y su aplicación significa una reducción significativa en los aspectos de costos y operación.

Indigoyen (2019), en su tesis doctoral titulado: “Remoción de materia orgánica de aguas residuales de la industria láctea por el método de electrocoagulación, utilizando energía eólica”, obtuvo como resultados porcentajes de remoción de: 97,48% en DBO₅ y 97,81% en DQO, bajo condiciones óptimas de tratamiento: 25 minutos de remoción, 7 amperios de intensidad de corriente, y el uso de electrodos de aluminio como ánodo y hierro como cátodo. Concluyó que esta tecnología de depuración resulta ser positiva en el tratamiento de materia orgánica; estos valores están por debajo de los límites exigibles por la normativa ambiental.

Torres et al. (2019), en su artículo científico titulado “Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café”, realizaron las mediciones de los principales parámetros de las aguas mieles del café, después del proceso de lavado y teniendo en cuenta el tiempo de fermentación. Para un periodo de fermentación de 14 horas, y al tomar las muestras del lavado de estos granos, obtuvieron las siguientes concentraciones: 3,995 en pH, >1 500 mg/L en DQO y 10 845 mg/L en SST. Concluyeron que estas aguas residuales requieren de la aplicación de un tratamiento específico, para reducir estas concentraciones y evitar el riesgo de contaminación.

2.2. Fundamentos teóricos

Proceso de tratamiento por electrocoagulación.

Es un proceso correspondiente al campo de la electroquímica, en donde se busca la desestabilización de las partículas suspendidas y/o disueltas de una determinada

muestra líquida. La desestabilización electrostática se lleva a cabo a través de la manipulación controlada de corriente eléctrica mediante electrodos metálicos, dentro de la selección del material de los electrodos se opta por hierro (Fe) y aluminio (Al) como los más adecuados. La corriente eléctrica genera reacciones químicas consecuentes en medio acuoso, lo que genera la clarificación de la muestra de agua en estudio (Parga et al., 2011).

La idea de la coagulación es el de remover contaminantes del agua, en específico, sólidos en suspensión o materia disuelta; en el proceso convencional se utiliza sustancias químicas como coagulantes, la cual clarifica el agua dejando como residuos lodos sedimentados; en el caso de la electrocoagulación, no se emplea sustancias coagulantes, en su lugar se aplica corriente eléctrica al agua por intermedio de electrodos, la disociación del material de estos funcionan como coagulante, la clarificación del agua resulta ser positiva, aunque la generación de residuos se evidencian en material sedimentable y flotante (Barrera, 2014).

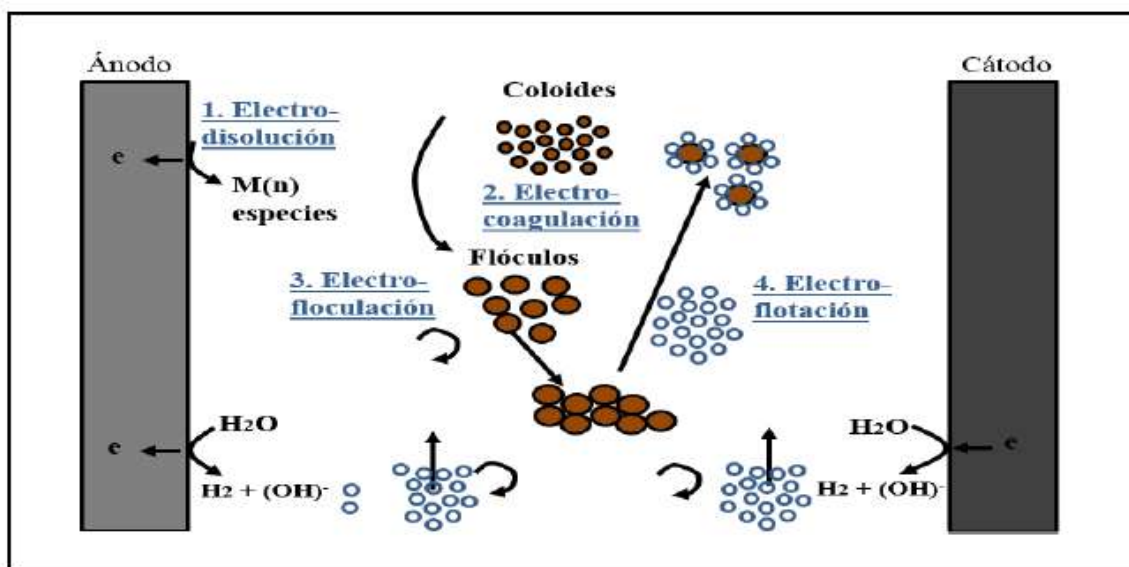


Figura 1
Procesos involucrados en un reactor de electrocoagulación

Fuente: Barrera, 2014.

Este procedimiento de tratamiento de efluentes no es una técnica muy novedosa para la implementación a grandes escalas, su aplicación en la actualidad solo contempla en investigaciones científicas, con el fin de obtener efectos positivos, esta idea no se ha popularizado en un sector más amplio de depuración de aguas. Aunque los resultados demuestran que este procedimiento es más ventajoso que otras tecnologías convencionales, pues la remoción de contaminantes en medio acuoso es amplia (Barrera, 2014).

- **Condiciones que se ven afectados en el proceso de electrocoagulación**

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Los valores de este parámetro se ven influenciado directamente por el accionar de la corriente eléctrica y por el tiempo de tratamiento, del mismo modo, la disolución de los iones metálicos generados de los electrodos, actúan de manera significativa en el aumento progresivo del valor de pH del líquido de estudio; es importante tener en cuenta que la naturaleza de los contaminantes también afectan en las variaciones de los valores de pH. Los valores de este parámetro cercanos a 7 generan una mejor y/o mayor remoción, sin embargo, el consumo energético resulta ser elevado a estos límites, debido a la variación de la conductividad del agua a tratar (Ayunque et al., 2022).

- **Temperatura**

Aunque no se han estudiado bien los efectos de esta característica en la electrocoagulación, se ha descubierto que la eficacia tiende a aumentar a temperaturas cercanas a los 60°C, donde se aproxima al máximo, antes de descender. Este aumento de la eficacia está relacionado con que el revestimiento de óxidos metálicos de la superficie de los electrodos tiene una mayor actividad de desgaste (Ayunque et al., 2022).

Reactores de electrocoagulación.

La evaluación del proceso de electrocoagulación a nivel de laboratorio o investigación requiere de reactores adecuados, poco sofisticados y eficientes, dentro del tipo de reactor químico para estudios a pequeña escala contamos con el de tipo batch, aunque también resulta útil algunos reactores industriales como los de sistema continuo; al final la elección dependerá del volumen de efluente a tratar, características y naturaleza de contaminantes que posea (Barrera, 2014).

El diseño, implementación o construcción de un reactor de electrocoagulación deberá estar en función al tipo de agua a tratar, para que resulte eficiente se debe priorizar una cantidad adecuada de electrodos y un espacio amplio. Es importante también considerar un diseño adecuado de las celdas, es decir, la ubicación y el orden de los electrodos también influirá en el resultado final, se puede utilizar conexiones en serie o paralelo de los electrodos (Bermeo y Bonilla, 2020).

- **Reactor tipo Batch**

Este tipo de reactor químico es el más adecuado para realizar experimentos o pruebas a nivel de laboratorio. Sus ventajas están definidas en su diseño sencillo y compacto,

costo limitado y de fácil operación en los ensayos de tratamiento de efluentes (Martínez et al., 2012).

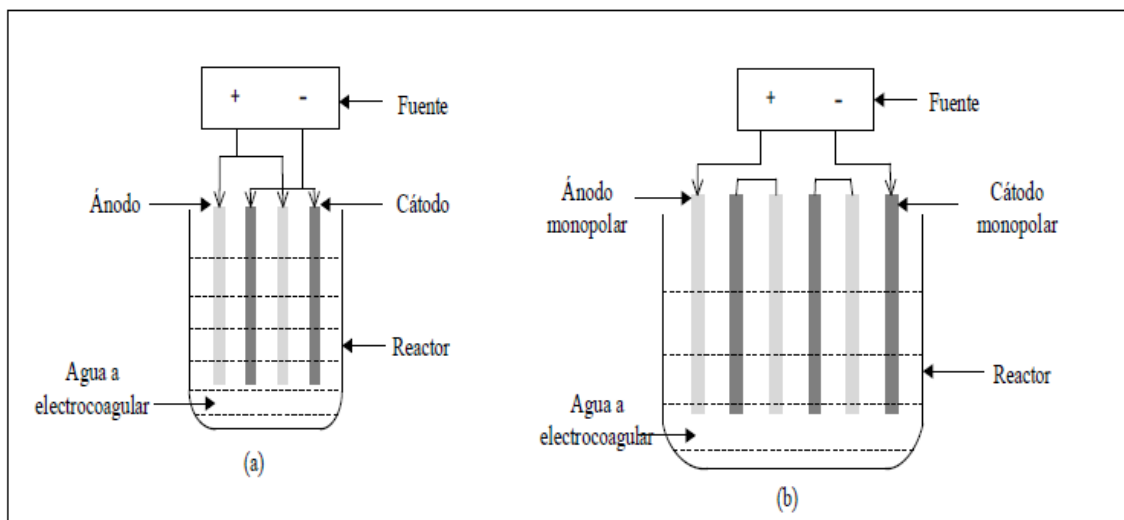


Figura 2

Reactor tipo Batch para el tratamiento de aguas por electrocoagulación

Fuente: Arango, 2005.

Esta tecnología consiste en la implementación de una celda, básicamente es allí en donde ocurrirán todas las reacciones de electroquímica, se emplearán ánodos de sacrificios y cátodos inertes, las cuales serán fundamentales para el correcto ingreso de la electricidad al fluido a tratar. Es recomendable el uso de material metálico en los electrodos, el aluminio resulta muy útil. El éxito del funcionamiento de un reactor de electrocoagulación también se refleja en una adecuada fuente de energía eléctrica, este equipo contribuirá al correcto control de la aplicación de electricidad pues la experimentación del mismo mediante la variación y/o manipulación de la aplicación de corriente eléctrica y del tiempo o permanencia del tratamiento es necesaria para la obtención de resultados positivos de remoción de contaminantes. El movimiento de electrones entre los electrodos metálicos y las sustancias químicas del efluente durante este método da lugar a reacciones electroquímicas, que en el electrodo inerte o cátodo crean procesos de reducción (Parga et al., 2011).

Condiciones de operación en la electrocoagulación.

Tabla 1

Condiciones de operación en el proceso de electrocoagulación

Consumo energético	El consumo puede oscilar entre 0,1 y 1,0 kWh/m ³ , dependiendo principalmente del tipo de aguas residuales que haya que tratar.
Desgaste de los electrodos	El desgaste está relacionado directamente a la cantidad de corriente que se aplica al proceso (amperios) y del tiempo de tratamiento. Para operaciones continuas, lo recomendable es cambiar los electrodos cada año.
Condiciones de funcionamiento	El proceso de electrocoagulación puede funcionar de manera continua siempre y cuando se automatice el reactor, se puede programar el tratamiento mediante el control automático de aplicación de amperaje, voltaje y distintos tiempos, de acuerdo al caudal del agua residual que ingresa.
Generación de lodos	Está estrechamente ligado al tipo, naturaleza y propiedades de las aguas residuales que hay que tratar, y la cantidad, consistencia y calidad de los lodos están influidas por el metal utilizado en los electrodos; se ha demostrado que los electrodos de hierro producen lodos de un color característico a los demás materiales, mientras que los electrodos de aluminio producen lodos más estables. La adición de cloruro de sodio al tratamiento significa ser de gran ayuda si queremos obtener lodos compactos.

Fuente: Ayunque et al., 2022.

Componentes del sistema de electrocoagulación

➤ Fuente de alimentación o poder

Es un equipo electrónico capaz de inducir corriente eléctrica controlada, dispone de un rectificador la cual convierte a la corriente de continua a alterna; este equipo cuenta con una pantalla digital y perillas de control para modificar los niveles de amperaje y voltaje de acuerdo al estudio a realizar. Una característica importante es que solo se puede modificar un indicador, ya sea amperaje o voltaje, para que el siguiente varíe de manera consecuente, es decir si se varía el amperaje, automáticamente se varía el voltaje y viceversa (Bermeo y Bonilla, 2020).

➤ Celda de electrocoagulación

Dependiendo de las características que contengan las aguas residuales a tratar, se determinarán las condiciones básicas de diseño de la celda, las dimensiones, configuración y distanciamiento de electrodos. El diseño más común de una celda de electrocoagulación es rectangular semejante a una pecera, pero esto depende también del tipo de reactor que se planea construir (Bermeo y Bonilla, 2020).

Las celdas de electrocoagulación deben estar bien delimitadas por 3 importantes secciones o zonas: Flotación, reacción y precipitación, además debe contar con salidas para la limpieza y purga de lodos y espumas (Bermeo y Bonilla, 2020).

➤ **Electrodos**

Para el proceso de electrocoagulación se requieren electrodos (ánodos y cátodos), el ánodo es el electrodo de sacrificio, este se disuelve al contacto con corriente eléctrica y al estar en contacto con agua. Entre los materiales más utilizados tenemos al aluminio y al hierro, debido a su gran accionar, rendimiento, bajos costos y accesibilidad (Bermeo y Bonilla, 2020).

- **Ánodo**

Electrodo en donde se desarrolla la reacción oxidativa, es decir se da la pérdida de electrones, generándose iones con estados de oxidación menor a sus estados originales. Si se emplea el uso de cualquier electrodo metálico como ánodo (hierro o aluminio), se oxidará y perderá electrones en el medio acuoso (Parga et al., 2011).

- **Cátodo**

Electrodo en donde se desarrolla la reacción reductiva, es decir se gana electrones, durante el funcionamiento del reactor, el cátodo cumple la función de electrodo inerte. Durante el proceso se suele usar cátodos metálicos (hierro o aluminio), este ganará electrones durante la reacción (Parga et al., 2011).

Parámetros básicos de diseño de la celda

- **Capacidad de la celda**

Principalmente va a depender del volumen o de la cantidad de agua que se requiere dar tratamiento (Barrera, 2014).

- **Tipo y material de electrodos**

Depende directamente de los tipos de contaminantes que se desee remover del agua residual. Para determinar qué tipo de material de electrodo usar, se debe tener en cuenta su capacidad coagulante de los iones que se disociarán, entre los materiales de electrodos más eficientes podemos encontrar: Aluminio, hierro, cobre y acero (Barrera, 2014).

- **Geometría de los electrodos**

La forma y dimensiones de las placas de electrodos dependerán de las características de la celda y el área de contacto con el fluido a tratar, a mayor contacto del electrodo con el agua se aprovechará mejor el gasto de corriente y se obtendrán mejores resultados de remoción de contaminantes (Barrera, 2014).

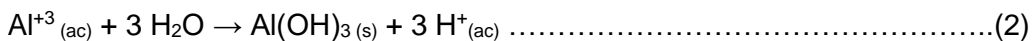
- **Separación de los electrodos**

Determinar la separación entre electrodos es de vital importancia, debido a que esta variable afecta en el proceso de tratamiento, las distancias recomendadas entre electrodos son de 1 a 3 cm, entre menos sea la distancia, existirá mejor disociación del ion metálico que luego actuará como coagulante, generando porcentajes aceptables de remoción de contaminantes (Barrera, 2014).

Reacciones químicas involucradas en el proceso de electrocoagulación

- Cuando se emplean electrodos de aluminio como ánodos, suceden las siguientes reacciones:

Reacciones en el ánodo:



Reacciones en el cátodo:



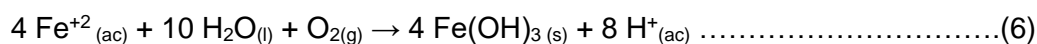
- ✓ Como puede observarse en las reacciones del ánodo, los iones de aluminio (Al^{+3}) se combinan con OH^- para formar especies monoméricas y algunas poliméricas. El proceso de precipitación forma entonces $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$, una sustancia con propiedades gelatinosas que actúa como coagulante e interfiere en la adsorción y atracción de partículas contaminantes (Barrera, 2014).

- Cuando se emplean electrodos de hierro como ánodos, pueden suceder 2 tipos de mecanismos:

Formación de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Reacciones en el ánodo:

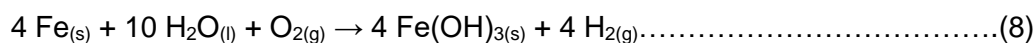




Reacciones en el cátodo:



Reacción general:



Formación de hidróxido ferroso Fe(OH)₂

Reacciones en el ánodo:



Reacciones en el cátodo:



Reacción general:



Cuando se forman los hidróxidos de hierro, las partículas coloidales y partículas contaminantes con carga negativa se aglomeran entre sí, formando nuevas partículas de mayor tamaño que posteriormente sedimentaran, cumpliendo con el proceso de coagulación – floculación (Barrera, 2014).

Ventajas y desventajas del proceso.

Tabla 2

Principales ventajas y desventajas del proceso de electrocoagulación

Ventajas	Desventajas
Se emplean equipos de fácil obtención, estos son económicos y básicos.	Si bien es cierto, no se generan grandes cantidades de lodos, aunque estos resulten con concentraciones de residuo metálico, dependiendo del material de los electrodos.
Los gastos monetarios en operación y mantenimiento resultan reducidos y económicos.	
No se requiere de sustancias químicas o sustancias de coagulación.	El ánodo tiende a cubrirse de óxido, por lo que su rendimiento se puede ver afectado.
Los lodos que se producen son mínimos.	
El proceso es capaz de reducir y/o remover una gran cantidad y variedad de parámetros contaminantes.	

Fuente: Bermeo y Bonilla, 2020.

Dado que la eficacia del sistema de electrocoagulación se rige por todos los componentes que inciden o afectan al mismo, las carencias o debilidades de la tecnología dependen obviamente del tipo de diseño que se emplee, por ejemplo, cuando se habla de lodos que contienen mucho hierro o aluminio, se debe al ánodo de sacrificio usado en exceso, esta deficiencia se puede corregir realizando un mantenimiento de rutina en él. Asimismo, podemos destacar que la tecnología cuenta con ventajas adicionales que la convierten en una opción viable a la hora de tomar nuevas decisiones (Bermeo y Bonilla, 2020).

Aguas residuales.

Se trata de aguas donde sus particularidades naturales fueron modificadas por la intervención humana y que, debido a su calidad, necesitan ser tratadas previo a ser utilizadas de nuevo, evacuadas a una masa de agua natural o al sistema de desagüe. Se incluyen en la categorización las aguas que resultan de industrias, es decir, del crecimiento de los procesos productivos, como la minería, la agricultura, la energía y las actividades agroindustriales (Russell, 2012).

- **Aguas residuales agrícolas del café.**

Las aguas residuales, o aguas miel, como se conocen en Latinoamérica, proceden del agua utilizada en las actividades de despulpado y lavado de granos. Debido a sus altos niveles de acidez y contenido orgánico, estos fluidos pueden ser especialmente perjudiciales cuando se vierten en hábitats acuáticos. También suponen un peligro de contaminación de las aguas subterráneas cuando se conservan retenidas o empozadas (Cepeda, 2018).

Los dos tipos de beneficiado son proceso en seco y proceso en húmedo. Mientras que el beneficiado en seco no requiere el uso de agua, pero demanda un mínimo de 20 - 30 días, el beneficiado en húmedo emplea agua como técnica de despulpado, ofreciendo la ventaja de fermentación y secado del café en un plazo de unos 2 - 3 días (Cepeda, 2018).

Materia orgánica disuelta en aguas residuales agrícolas del café.

Los efluentes municipales, rurales, ganaderos e industriales son fuentes potenciales de contaminación del agua relacionada con la materia orgánica; Esta materia orgánica se compone de partes diferentes, como partículas muy pequeñas, coloides y macromoléculas disueltas. Estas partes pueden proporcionar color, sabor, aroma, el

crecimiento de microbios dañinos, o pueden indicar concentraciones de materiales no biodegradables (Garaycochea, 2021).

La producción excesiva de residuos líquidos con altas concentraciones de contaminantes orgánicos, medida por una DBO de 2 400 – 21 900 mg/L, son los efectos medioambientales del beneficiado húmedo del café (Garaycochea, 2021).

- **Principales parámetros para determinar niveles de materia orgánica en aguas residuales agrícolas del café.**

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

Es una medida utilizada para evaluar el grado de contaminación de una muestra líquida mediante la determinación del volumen de material que puede ser oxidado por microorganismos. Esta técnica consiste en contar la cantidad de oxígeno que utilizan las poblaciones microbianas mientras se ha ralentizado el proceso fotosintético de generación de oxígeno, normalmente en entornos propicios para el crecimiento de microorganismos. Se determina sobre todo cinco días después (DBO₅) y se cuantifica en mg O₂/litro (Romero, 2009).

El análisis DBO₅, que determina la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica, se definiría como una metodología natural para determinar la concentración de materia orgánica. Dado que su uso está más extendido y que oxida la materia orgánica, la técnica de la DQO se utiliza con frecuencia porque requiere menos tiempo de medición (Romero, 2009).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

El parámetro DQO evalúa la concentración orgánica que puede oxidarse químicamente en un medio acuoso. Se expresa en mg O₂/litro y sirve para evaluar el grado de contaminación. Es una técnica utilizada en fuentes naturales, aguas contaminadas y/o alterada o cualquier otra masa de agua con presencia de materia orgánica en cantidades considerables (Romero, 2009).

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Es una característica física del agua capaz de evaluar toda presencia de impurezas, partículas coloidales y materiales orgánicos, principalmente en forma de impurezas, partículas sólidas y/o no disueltas, sedimentables o no (Romero, 2009).

Las partículas que siguen presentes después de que el agua haya pasado por un filtro y se haya secado, se clasifican como Sólidos Suspendidos Totales. Para crear relaciones directas de cada lugar, los expertos de esta rama a veces combinan los valores de SST con sus datos habituales de turbiedad, lo que puede ayudar a aumentar la precisión, la eficacia y ahorrar tiempo (Romero, 2009).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1 Contexto de la investigación

- Departamento: San Martín
- Provincia: Moyobamba
- Distrito: Yantalo
- Punto de muestreo: Instalación tradicional (área de beneficio) en la provincia de Moyobamba. (Ver Anexo N°01)
- Lugar de análisis y experimentación: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología, UNSM. (Ver Anexo N°01)

3.1.2 . Periodo de ejecución

De acuerdo al cronograma de actividades para el desarrollo de la presente investigación estuvo en función a las actividades de campo y gabinete, durante un periodo de 6 meses de ejecución, iniciando el 30/05/2021 y culminando el 30/11/2023, según Resolución Directoral N° 005-2023-UNSM/UPG-CD.

3.1.3 . Autorizaciones y permisos

- Autorización para ingreso a área de beneficio de café, para la extracción de muestras (Ver el acta de autorización en el Anexo N°02).
- Autorización para ingreso al laboratorio de Ingeniería Sanitaria (Ver la Carta N° 023–2023–SIV.UNSM/FE/RLIS en el Anexo N°03).

3.1.4 . Control ambiental y protocolos de bioseguridad

Los análisis y ensayos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria - UNSM, cumpliendo con los estándares de control ambiental y bioseguridad que allí se manejan como política o instrumento interno.

3.1.5 . Aplicación de principios éticos internacionales

En el desarrollo de la presente, se respetaron las directrices éticas generales del estudio; particularmente en el manejo y registro de datos experimentales verdaderos, así como en el correcto proceso de recopilación de la información, citando de manera adecuada y responsable a los autores originales del contenido que se consideró en este trabajo.

3.2. Sistema de variables

3.2.1 Variables principales

- **Variable independiente:** Electrocoagulación.
- **Variable dependiente:** Remoción de la materia orgánica.

Tabla 3

Descripción de las variables por objetivo específico

Objetivo específico № 1: Determinar los parámetros fisicoquímicos iniciales de DBO₅, DQO y SST, de las aguas residuales agrícolas del café.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Parámetros fisicoquímicos.	Valor inicial de la concentración de DBO ₅ .	Procedimiento directo - lectura con el equipo multiparámetro H198193.	mg/L
	Valor inicial de la concentración de DQO.	Procedimiento directo - lectura con el equipo multiparámetro DR900.	mg/L
	Valor inicial de la concentración de SST.	Procedimiento directo - lectura con el equipo multiparámetro DiST1.	mg/L

Objetivo específico № 2: Elaborar a nivel planta piloto, un reactor para el proceso de electrocoagulación de las aguas residuales agrícolas del café.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Planta piloto - Reactor de electrocoagulación	Reactor tipo Batch con fuente de alimentación y electrodos de hierro / aluminio.	Implementación de modelo referencial	Und

Objetivo específico № 3: Determinar las condiciones óptimas de tratamiento (intensidad de corriente eléctrica y tiempo de remoción), mediante el uso de electrodos de aluminio y hierro.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Condiciones óptimas de tratamiento	Intensidad de corriente eléctrica	Procedimiento directo - lectura con la fuente de alimentación digital DC	Amperios (A)
	Tiempo de remoción	Procedimiento directo - lectura con cronómetro	Minutos

Objetivo específico № 4: Evaluar si los niveles de remoción de la materia orgánica en función de DBO₅, DQO y SST, son los adecuados para la emisión de estas aguas tratadas al ambiente y/o para uso de riego.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Niveles de remoción	% de remoción de la concentración de DBO ₅ .	Fórmula para obtener el % de remoción y comparación con	mg/L

normativa (LMP y/o ECA)		
% de remoción de la concentración de DQO.	Fórmula para obtener el % de remoción y comparación con normativa (LMP y/o ECA)	mg/L
% de remoción de la concentración de SST.	Fórmula para obtener el % de remoción y comparación con normativa (LMP y/o ECA)	mg/L

3.2.2 . Variables secundarias

No admite variables secundarias

3.3 Procedimientos de la investigación

Tipo de investigación.

Aplicada, debido a que se elaboró y puso en práctica un sustituto viable para abordar el problema de la contaminación de suelos y agua, provocada por el vertido directo de efluentes agrícolas procedentes del café sin ningún tipo de tratamiento.

El objetivo de la investigación aplicada es proporcionar información que pueda ejecutarse directamente para resolver problemas sociales o retos empresariales. Este método de conectar la teoría con el producto se basa sobre todo en los descubrimientos técnicos de la investigación básica (Lozada, 2014).

Nivel de investigación.

Explicativo, debido a que se sustentó y demostró la relación causa – efecto, mediante la aplicación de una tecnología de tratamiento (causa) y sus resultados de remoción (efecto).

La finalidad de este nivel de estudio es abordar cuestiones relativas a los orígenes de los fenómenos sociales o físicos. Para ello es primordial esclarecer las fuentes de los fenómenos, las situaciones en que se producen y las conexiones entre dos o más variables (Hernández et al, 2014).

Población y muestra

Población: Comprende el volumen total aproximado de aguas mieles que se genera durante el proceso de lavado del grano de café, en una instalación tradicional (área de beneficio) en la provincia de Moyobamba, por jornada de trabajo.

$N = 120 \text{ Kg/Jornada} \times 20 \text{ L/Kg} \times 6 \text{ jornadas}$

N = 14 400 L

Donde:

- 120 kg/Jornada, Peso de granos de café a procesar.
- 20 L/kg, Consumo de agua limpia en el proceso (Isaza et al, 1999).
- 6 jornadas de trabajo.

Muestra: El volumen de agua residual utilizado como muestra, se determinó intencionadamente de acuerdo a la cantidad de agua empleado para los análisis iniciales (pretratamiento) y al número de ensayos que se realizaron durante el proceso de tratamiento por electrocoagulación.

$n = (01 \text{ L} \times 06 \text{ Análisis iniciales}) + (03 \text{ L} \times 36 \text{ Ensayos})$

n = 114 L

Diseño experimental

Diseño factorial completo, la presente investigación presenta un diseño factorial completo, en donde se consideró a la intensidad de corriente eléctrica y al tiempo de remoción como condiciones de la variable independiente (electrocoagulación), y a la remoción de las concentraciones de los parámetros de estudio (DBO_5 , DQO y SST) como condición única de la variable dependiente (remoción de la materia orgánica).

Tabla 4

Niveles de las variables intensidad de corriente y tiempo de remoción

Factores	Niveles		
	1	2	3
A: Intensidad de corriente eléctrica (amperios)	1,0	2,5	4,0
B: Tiempo de remoción (minutos)	15	30	45

El presente diseño experimental consta de 02 factores, 03 niveles, 02 aplicaciones y 02 repeticiones, con 36 pruebas o ensayos en total.

Tabla 5
Diseño factorial completo

N°	Intensidad de corriente eléctrica (A)	Tiempo de remoción (min)	Tratamiento
1	$I_1 = 1,0$	$T_1 = 15$	$I_1 T_1$
2		$T_2 = 30$	$I_1 T_2$
3		$T_3 = 45$	$I_1 T_3$
4	$I_2 = 2,5$	$T_1 = 15$	$I_2 T_1$
5		$T_2 = 30$	$I_2 T_2$
6		$T_3 = 45$	$I_2 T_3$
7	$I_3 = 4,0$	$T_1 = 15$	$I_3 T_1$
8		$T_2 = 30$	$I_3 T_2$
9		$T_3 = 45$	$I_3 T_3$

3.3.1 Objetivo específico 1

Determinar los parámetros fisicoquímicos iniciales de DBO₅, DQO y SST, de las aguas residuales agrícolas del café

Actividades ejecutadas

- Coordinación con responsable agricultor cafetalero para la toma de muestras.
- Toma de muestras de las aguas residuales agrícolas del café.
- Medición de concentraciones iniciales (pretratamiento) de los parámetros de estudio y parámetros secundarios.

Descripción de Procedimientos

• Coordinación previa para la toma de muestras

Se coordinó con un agricultor cafetalero para la toma de muestra de las aguas mieles, teniendo en cuenta el procedimiento previo de: cosecha, despulpado y fermentación, para posteriormente recolectar dichas aguas producidas en la actividad de lavado de los granos de café, dicho lavado se realizó en 4 etapas, es decir, se aplicó 4 lavados a los granos del café, hasta obtener granos limpios; se aplicó dicho método para todos los muestreos correspondientes, con el fin de obtener muestras en condiciones similares y asegurar datos homogéneos. Se pactó realizar esta actividad durante 6 semanas consecutivas entre los meses de junio y julio.

• Toma de muestras de las aguas residuales agrícolas del café

La toma de muestra se realizó 6 veces en total como se menciona anteriormente (una vez por semana durante un mes y medio), mediante el uso de recipientes rotulados con volumen de 3 L y un cooler de 40 L de capacidad, además se utilizó 2 bolsas de gel

refrigerante para mantener la temperatura de las muestras en el traslado. El muestreo se llevó a cabo en una instalación tradicional de fermentación y lavado de granos de café (área de beneficio) en la provincia de Moyobamba; para posteriormente conducirla hacia el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología – UNSM, en donde se realizaron las mediciones iniciales de los parámetros de estudio y parámetros secundarios.

- **Medición de las concentraciones iniciales (pretratamiento)**

Previo a la ejecución experimental de tratamiento de electrocoagulación, se procedió a medir las concentraciones iniciales de los parámetros fisicoquímicos de estudio (DBO₅, DQO y SST), además se consideró conveniente y necesario medir las concentraciones de parámetros secundarios o complementarios (Temperatura y pH) con el fin de obtener valores de pretratamiento. Las mediciones de estos parámetros se desarrollaron en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología – UNSM, los días: 22, 28 de junio y 06, 13, 20, 27 de julio del presente año (Ver anexo N°09); se hizo uso de los equipos y materiales necesarios, siguiendo minuciosamente los protocolos de medición que establece la marca y/o empresa de fabricación de cada equipo.

Tabla 6
Equipos de medición de los parámetros de estudio

Parámetro de estudio	Equipo	Marca
DBO ₅	Multiparámetro HI 98193	HANNA
DQO	Colorímetro DR 900	HACH
SST	Multiparámetro DiST1	HANNA

Tabla 7
Equipos de medición de parámetros secundarios.

Parámetro secundario	Equipo	Marca
Temperatura	Multiparámetro DiST1	HANNA
pH	Multiparámetro HQ40d	HACH

Tabla 8

Procedimientos de medición de los parámetros de estudio y parámetros secundarios (previa calibración de equipos)

Parámetro	Procedimiento
DBO ₅	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programar el equipo y medir la concentración inicial de oxígeno de la muestra con el equipo H198193, y registrar el dato. 2. Agregar 300 mL de la muestra en los frascos Winkler y añadir los nutrientes necesarios, homogenizar mediante agitación y cerrar los frascos. 3. Colocar los frascos Winkler en una incubadora (labForce - Incu 22) a 20°C durante 5 días. 4. Retirar los frascos, colocar las muestras en un vaso precipitado y realizar la medición de oxígeno. 5. Calcular el valor de DBO₅ con los datos de oxígeno disuelto ingresados.
DQO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar en un vaso precipitado 75 mL de la muestra. 2. Realizar la dilución de la muestra (relación: 1 en 10), haciendo uso de una fiola de 50 mL (mezclar 5 mL de la muestra en 45 mL de agua destilada). 3. Añadir 2,5 mL de la muestra diluida en los viales de medición de DQO y homogenizar lentamente. 4. Colocar los viales de medición en el equipo digestor, y climatizar por 2 horas. 5. Retirar los viales de medición una vez concluya la climatización en el digestor y dejar enfriar por 1 hora como mínimo. 6. Estabilizar el equipo DR 900 mediante lectura de un vial con muestra blanca (agua destilada). 7. Realizar la medición de DQO con los viales preparados.
SST	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar en un vaso precipitado 75 mL de la muestra y homogenizar mediante agitación. 2. Introducir el sensor del equipo DiST1 y realizar la medición.
Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar en un vaso precipitado 75 mL de la muestra. 2. Introducir el sensor del equipo DiST1 y dejar que el equipo se estabilice. 3. Realizar la medición de la temperatura.
pH	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar en un vaso precipitado 75 mL de la muestra. 2. Introducir el sensor del equipo HQ40d y dejar que el equipo se estabilice. 3. Realizar la medición de pH.

Fuente: HANNA y HACH

Procesamiento y análisis de los datos

Se empleó la estadística descriptiva para organizar toda la información obtenida, se promediaron los datos para tener información más exacta; estos se organizaron en tablas y gráficos de barras, con el fin de facilitar las interpretaciones. Posteriormente, estos datos se procesaron en el software SPSS Statistics para los análisis correspondientes.

3.3.2 Objetivo específico 2

Elaborar a nivel planta piloto, un reactor para el proceso de electrocoagulación de las aguas residuales agrícolas del café

Actividades ejecutadas

- Selección del diseño.
- Adquisición de equipos y materiales necesarios.
- Construcción del reactor de electrocoagulación.

Descripción de procedimientos

- **Selección del diseño.**

Se escogió como referencia el diseño empleado por Aguilar y Bazán (2018), la cual consta de un reactor tipo Batch (celda de electrocoagulación de 15 cm x 15 cm x 25 cm, con material de vidrio) con un volumen de tratamiento de 3 375 L de agua residual, 2 electrodos de aluminio (9 cm x 10 cm x 0,2 cm de espesor), y una fuente de alimentación con capacidad máxima de 6,5 amperios y 18 voltios.

- **Adquisición de equipos y materiales.**

Se adquirió los siguientes equipos y materiales:

Equipos

- Fuente de alimentación marca BAKU, con capacidades de 05 amperios y 30 voltios.

Materiales/accesorios

- Celda de electrocoagulación (15 cm x 15 cm x 28 cm) con capacidad de tratamiento de 3 litros y material de vidrio de 0,5 cm de espesor.
- Placas de aluminio (10 und) de 13 cm x 29 cm, y espesor de 0,3 cm.
- Placas de hierro (10 und) de 13 cm x 29 cm, y espesor de 0,3 cm.
- Cables cocodrilo (20 und) de colores distintos (azul y rojo).

- **Construcción y/o elaboración del reactor de electrocoagulación.**

El diseño de Aguilar y Bazán (2018) se utilizó como guía para la construcción del reactor de electrocoagulación a nivel de planta piloto, pero se modificó para ajustarlo a las exigencias de este estudio y a las realidades de la situación. Los resultados se resumen a continuación:

- Se optó por construir un reactor tipo batch o discontinuo, por lo cual se fabricó una celda de electrocoagulación de 15 cm x 15 cm x 28 cm, en referencia a ancho, largo y altura, con material de vidrio de 0,5 cm de espesor, se añadió al diseño un punto de toma de muestra, el cual está ubicado a 4,5 cm de la base, justo en la zona de reacción de la celda; el volumen a tratar fue de 3 L por cada ensayo o tratamiento, por lo que estas dimensiones de celda fueron suficientes.
- Dentro de la celda de electrocoagulación, se ubicaron 10 electrodos de material aluminio y también 10 electrodos de material hierro con dimensiones de: 13 cm de ancho, 29 cm de largo y espesor de 0,3 cm, separados a 1 cm entre sí, estos se emplearon de acuerdo a cada tratamiento planificado.
- Se utilizaron cables cocodrilo de 2 colores diferentes para conectar los electrodos con la fuente de alimentación, esta última tuvo una capacidad máxima de 5 amperios y 30 voltios, estándares suficientes para los tratamientos de electrocoagulación, de acuerdo a la planificación previa; para el funcionamiento del equipo, se utilizó una salida de energía eléctrica convencional. (Ver anexo N°05).

Procesamiento y análisis de los datos

Se organizaron en una tabla, todos los parámetros de diseño para la construcción del reactor de electrocoagulación.

3.3.3. Objetivo específico 3: “Determinar las condiciones óptimas de tratamiento (intensidad de corriente eléctrica y tiempo de remoción), mediante el uso de electrodos de aluminio y hierro”.

Actividades ejecutadas

- Puesta en operación del reactor.
- Medición de concentraciones finales (post tratamiento) de los parámetros de estudio y parámetros secundarios.
- Comparaciones de las mejores concentraciones y niveles finales de los parámetros de estudio y determinación de las condiciones óptimas de tratamiento (intensidad de corriente eléctrica y tiempo de remoción).

Descripción de procedimientos

• Puesta en operación del reactor de electrocoagulación

Una vez concluido con la construcción y/o elaboración del reactor de electrocoagulación, este se puso en marcha para los ensayos o tratamientos correspondientes según la planificación previa de la presente investigación, todos estos ensayos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología – UNSM, y se detalla a continuación.

Tabla 9
Distribución de los tratamientos de electrocoagulación.

Reactor	Electrodo	Potencial Eléctrico (Amperios)	Tiempo de Remoción (Minutos)	Volumen de muestra (Litros)	N° de Repeticiones
Batch	Aluminio Aluminio	1,0	15	3	2
			30	3	2
			45	3	2
		2,5	15	3	2
			30	3	2
			45	3	2
		4,0	15	3	2
			30	3	2
			45	3	2
	Hierro Hierro	1,0	15	3	2
			30	3	2
			45	3	2
		2,5	15	3	2
			30	3	2
			45	3	2
		4,0	15	3	2
			30	3	2
			45	3	2

En el proceso de ejecución de la presente investigación, se realizó dos repeticiones de los tratamientos de electrocoagulación planificados, esto con el fin de generar promedios, información concisa y proceder con el correcto análisis estadístico.

- **Medición de las concentraciones finales (post tratamiento)**

Posterior a la ejecución de cada ensayo o tratamiento de electrocoagulación, se procedió a medir los niveles de concentraciones finales de DBO₅, DQO y SST, además se midieron las concentraciones de parámetros secundarios (Temperatura y pH) con el fin de obtener valores de post tratamiento. Las mediciones de estos parámetros se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología – UNSM, los días: 22, 28 de junio y 06, 13, 20, 27 de julio del presente año (Ver anexo N°09), se hizo uso de los equipos y materiales necesarios. Del mismo modo, siguiendo los procedimientos anteriormente indicados. (Ver tablas 3, 4 y 5).

- **Determinación de las condiciones óptimas de tratamiento**

Se analizaron las fichas de recolección de datos que se utilizaron en el laboratorio durante la etapa experimental, y se compararon los mejores valores de post tratamiento de los parámetros de estudio; de esa manera se evaluó y se determinaron las condiciones óptimas de tratamiento en función a la intensidad de corriente eléctrica y al tiempo de remoción, así mismo se determinó el material de electrodo más eficiente para el tratamiento.

Procesamiento y análisis de los datos

Todos los datos recogidos se ordenaron mediante estadísticas descriptivas. Se promediaron los datos de las dos repeticiones realizadas durante la fase experimental y se utilizaron tablas, polígonos de frecuencias y gráficos de barras para organizar los datos y facilitar su interpretación. Se utilizó el diseño factorial completo para analizar y evaluar los efectos de las condiciones de tratamiento (intensidad de la corriente eléctrica y tiempo de remoción) sobre la eliminación de los parámetros fisicoquímicos del estudio. A continuación, estos datos se procesaron en el programa informático IBM SPSS para los análisis estadísticos correspondientes, la prueba estadística de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y la verificación de las hipótesis de investigación (prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas).

3.3.4. Objetivo específico 4

Evaluar si los niveles de remoción de la materia orgánica en función de DBO₅, DQO y SST, son los adecuados para la emisión de estas aguas tratadas al ambiente y/o para uso de riego

Actividades ejecutadas

- Determinación de los valores o niveles de remoción de los parámetros de estudio.
- Comparación y evaluación de los valores de remoción con las normativas vigentes.

Descripción de procedimientos

• Determinación de los valores de remoción

Para la correcta evaluación en cuanto a la eficiencia de la remoción de los parámetros fisicoquímicos estudiados, de las aguas residuales agrícolas del café, se aplicó la siguiente fórmula de porcentaje de remoción. (Valencia, et al. 2012).

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{\text{Conc. Entrada} - \text{Conc. Salida}}{\text{Conc. Entrada}} \times 100$$

• Comparación y evaluación de los parámetros de remoción

Se realizaron las comparaciones de los valores finales de remoción, con los valores de las normativas ambientales vigentes, todo esto en función a los parámetros de estudio de la materia orgánica (DBO₅, DQO y SST).

Tabla 10
Normativas ambientales vigentes

Normativa	Fundamento
Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) (DS N° 003-2010-MINAM)	Comparación y evaluación de las características finales de las aguas tratadas, para su vertimiento seguro en una fuente natural. *Se utilizó la presente normativa, dado que en la actualidad no se cuenta con una norma específica para evaluar parámetros de efluentes (aguas mieles) tratadas con alguna tecnología. La presente normativa es la que mejor se adapta al presente estudio, debido a que las características de las aguas mieles del café, se asemejan a los niveles de los parámetros contaminantes de las aguas residuales domésticas, esto en cuanto a carga orgánica; así mismo, la aplicación del proceso por electrocoagulación simula el tratamiento primario de una PTAR convencional.
Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua – Cat. 3. (DS N° 004-2017-MINAM)	Comparación y evaluación de las características finales de las aguas tratadas, para un posible reúso en riego.

Fuente: MINAM

Tabla 11
Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100,0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	150,0
Temperatura	°C	< 35
pH	Und de pH	6,5 – 8,5

Fuente: D.S N° 003-2010-MINAM

Tabla 12
Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Cat 3.

Parámetro	Unidad	D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15,0	15,0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40,0	40,0
pH	Und de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5

Fuente: D.S N° 004-2017-MINAM.

Procesamiento y análisis de los datos

Se empleó la estadística descriptiva para organizar toda la información obtenida, estos datos se organizaron a través de tablas y gráficos de barras, con el fin de facilitar las interpretaciones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultado específico 1

Determinación de los parámetros fisicoquímicos iniciales de DBO₅, DQO y SST, de las aguas residuales agrícolas del café”.

Concentraciones iniciales del parámetro DBO₅

Las concentraciones iniciales de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para cada muestreo resultaron estar en concentraciones distintas, obteniendo 660 mg/L de DBO₅ como concentración inicial más elevada, correspondiente al quinto muestreo (M5), y 514 mg/L de DBO₅ como concentración inicial más baja, el cual corresponde al análisis del tercer muestreo (M3). El promedio final de concentración de las seis muestras analizadas fue de 574 mg/L de DBO₅, valor que se encuentra muy distante de los niveles exigidos por las normativas ambientales: Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA), las cuales son de 100 mg/L y 15 mg/L respectivamente. (Ver figura N°3).

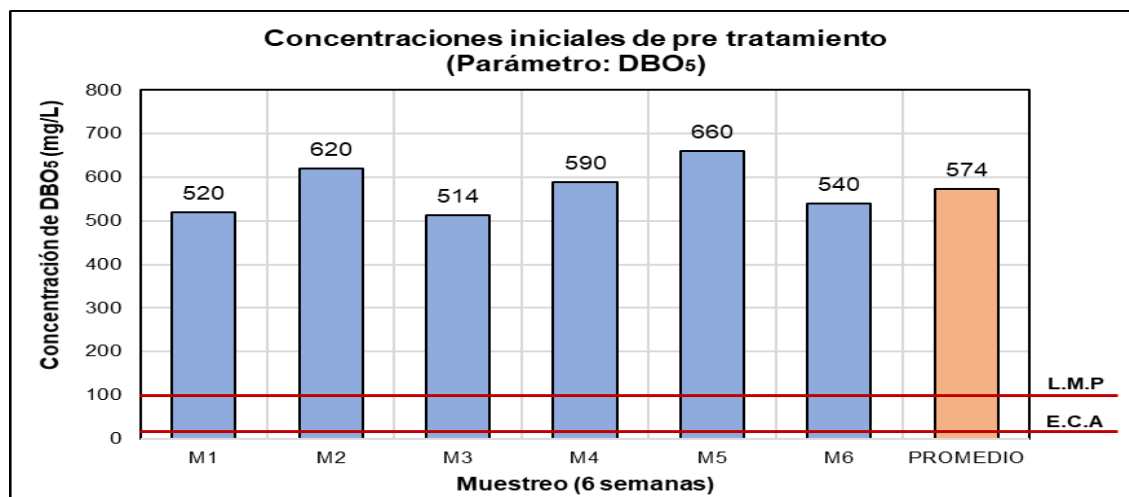


Figura 3

Concentraciones iniciales de pretratamiento del parámetro DBO₅.

Concentraciones iniciales del parámetro DQO

Las concentraciones iniciales de la Demanda Química de Oxígeno para cada muestreo resultaron estar en concentraciones relativamente cercanas entre sí, obteniendo 7 706 mg/L de DQO como concentración inicial más elevada, correspondiente al segundo

muestreo (M2), y 7 001 mg/L de DQO como concentración inicial más baja, el cual corresponde al análisis del tercer muestreo (M3). El promedio final de concentración de las seis muestras analizadas fue de 7 376,8 mg/L de DQO, valor que se encuentra bastante alejado de los niveles exigidos por las normativas ambientales para su evaluación: LMP y ECA, las cuales son de 200 mg/L y 40 mg/L respectivamente. (Ver figura N°4).

Este parámetro de estudio, es uno de los más importantes al momento de evaluar la contaminación de materia orgánica, y claramente se evidencia que estas aguas residuales agrícolas, a estos niveles de concentración de DQO significan un gran riesgo de contaminación al momento de su emisión directa al ambiente.

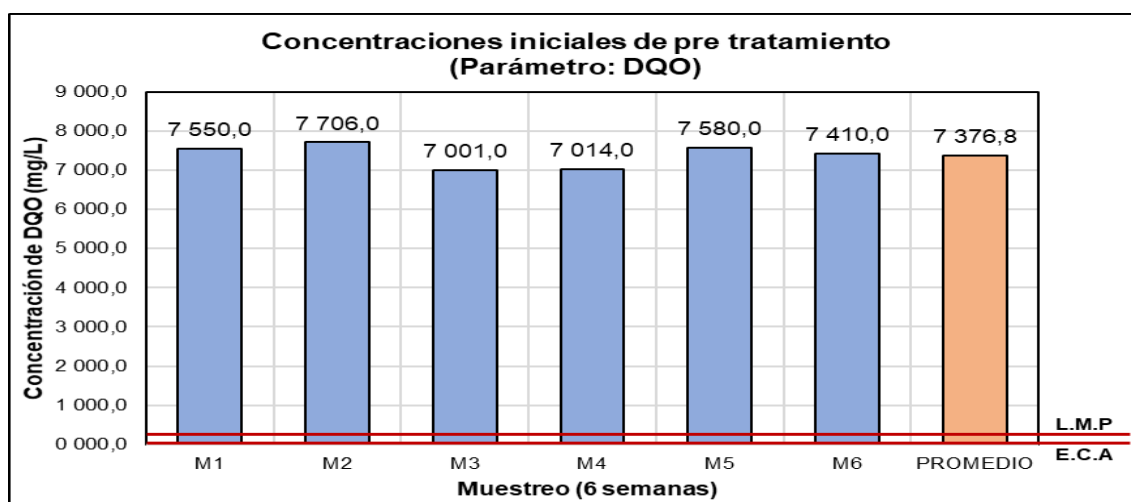


Figura 4

Concentraciones iniciales de pretratamiento del parámetro DQO.

Concentraciones iniciales del parámetro SST

Se determinaron las concentraciones iniciales del parámetro Solidos Suspendidos Totales, para cada muestreo correspondiente a las seis semanas, estos valores no distan en gran medida entre sí, debido a que se empleó el mismo método de lavado para cada muestreo, tal como se explicó anteriormente.

El valor más alto de este parámetro se obtuvo en la medición de la primera muestra (M1), el cual fue de 890,0 mg/L y el valor más bajo se obtuvo en la medición de la cuarta muestra (M4), con un valor de 860,0 mg/L. El promedio de concentración del parámetro SST respecto a las seis muestras fue de 879,5 mg/L. Se evidencia el nivel elevado de estas concentraciones, en comparación con los Límites Máximos Permisibles, que exige el MINAM para su correcta emisión, la cual es de 150 mg/L. (Ver figura N°5).

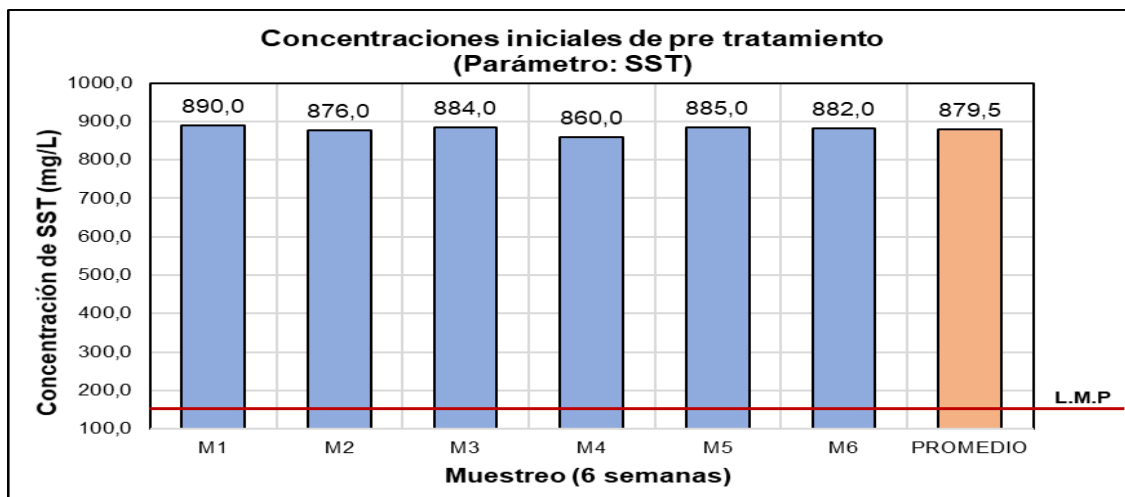


Figura 5

Concentraciones iniciales de pretratamiento del parámetro SST.

Parámetros secundarios

Con la finalidad de evaluar el efecto del tratamiento de electrocoagulación en parámetros secundarios como temperatura y pH, se realizaron las mediciones de los valores iniciales de estos, obteniendo los siguientes resultados: En cuanto al parámetro temperatura, se obtuvieron valores cercanos entre sí para cada muestreo, registrando un promedio final de 22,2 °C, valor que se encuentra por debajo de los Límites Máximos Permisibles, el cual es de 35°C (Ver figura N°6).

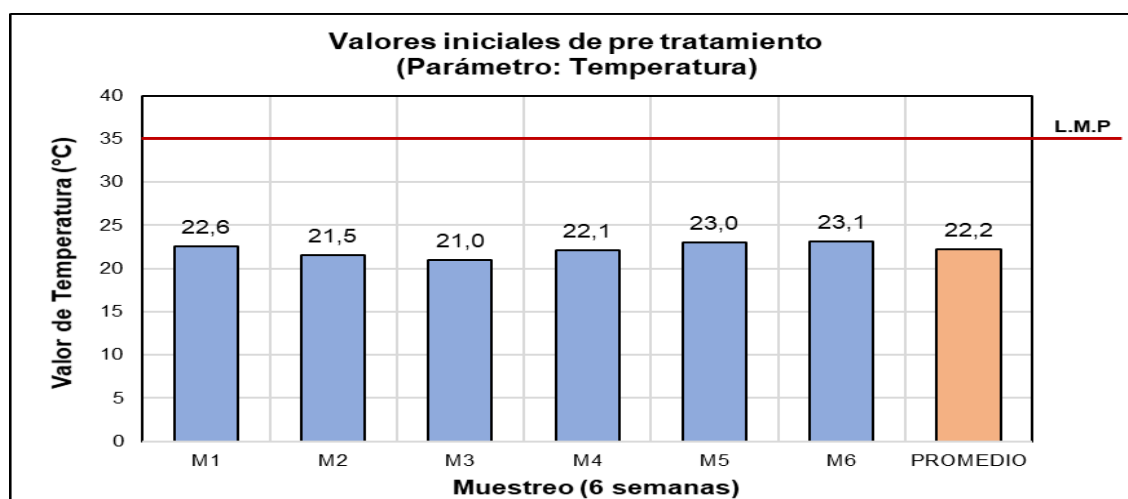


Figura 6

Concentraciones iniciales de pre tratamiento del parámetro Temperatura.

Respecto al parámetro de pH, se obtuvieron valores cercanos en todas las mediciones iniciales para cada muestreo, registrando un promedio de 4,58, la cual se puede analizar

y comprobar que estas aguas residuales son ácidas, característica que puede significar un riesgo de contaminación y/o alteración, al momento de su emisión directa al ambiente, pues según las normativas de los LMP y de los ECA, este valor debería estar entre 6,5 y 8,5 (Ver figura N°7).

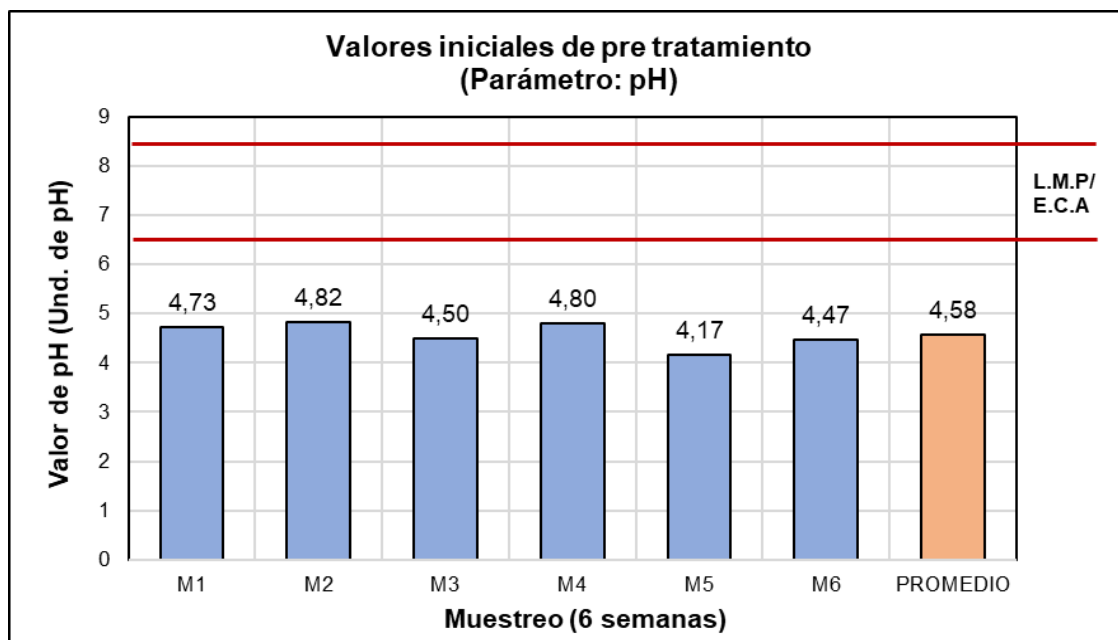


Figura 7

Concentraciones iniciales de pre tratamiento del parámetro pH.

Discusiones

Se midieron las concentraciones iniciales de los parámetros fisicoquímicos de estudio de las aguas residuales agrícolas del café, donde los promedios finales de estos fueron: 574 mg/L en DBO₅, 7 376,8 mg/L en DQO y 879,5 mg/L en SST; el pH de estas aguas demuestra su acidez, con una concentración de 4,58; estos valores se encuentran muy distantes de los niveles exigidos por las normativas ambientales peruanas. Torres, et al. (2019) en su caracterización fisicoquímica de los aguamieles de su investigación, determinaron valores iniciales de 10 845 mg/L en SST, >1 500 mg/L en DQO y un pH ácido con valor de 3,995.

Las comparaciones de los resultados de ambas investigaciones evidencian que estas aguas residuales son naturalmente ácidas, además, que las concentraciones de SST y DQO pueden variar, de acuerdo a distintos factores como variedad del café, altitud, clima, técnicas de fermentación, etc, aunque los niveles de concentración siguen siendo elevados para su emisión directa al ambiente.

4.2 . Resultado específico 2

Elaboración a nivel planta piloto, de un reactor para el proceso de electrocoagulación de las aguas residuales agrícolas del café”.

La elaboración del reactor de electrocoagulación consistió en la implementación de una celda a nivel planta piloto, utilizando referencias del diseño propuesto por Aguilar y Bazán (2018), pero modificando y/o mejorando de acuerdo al contexto de la presente investigación, como lo son: volumen de agua residual a tratar, características del agua residual, adquisición de equipos y materiales, eficiencia en la operación – mantenimiento y en el consumo energético. En la siguiente tabla se detallan todos los parámetros considerados para la elaboración o construcción del reactor de electrocoagulación a nivel planta piloto. (Ver diseño de plano en el Anexo N°05).

Tabla 13

Parámetros de diseño del reactor de electrocoagulación

Parámetro	Dato / Valor
Tipo de muestra	Agua residual de lavado de granos de café
Volumen de tratamiento	3 litros
Tipo de reactor	Batch - Discontinuo
Fuente de poder o alimentación	AC 110 v/220 (05A/30V)
Electrodos	Ánodo (5 placas de aluminio y 5 placas de hierro) Cátodo (5 placas de aluminio y 5 placas de hierro)
Configuración de electrodos	Monopolar - paralelo
Área total de electrodo	377 cm ²
Área efectiva de electrodo	234 cm ²
Distancia entre electrodos	1 cm
Niveles de intensidad de corriente	1,0 amperio / 2,5 amperios / 4,0 amperios
Niveles de voltaje	1,6 voltios / 3,8 voltios / 5,1 voltios
Tiempo de tratamiento	15 minutos / 30 minutos / 45 minutos
Temperatura de operación	Variable para cada tratamiento
pH de operación	Variable para cada tratamiento
Volumen total de la celda	6 300 cm ³
Volumen efectivo de la celda	4 059 cm ³
Material de la celda	vidrio
Espesor de la celda	0,5 cm
Dimensiones de la celda	Largo: 15 cm Ancho: 15 cm Altura: 28 cm
Parámetros de Estudio	DBO5, DQO y SST
Parámetros secundarios	Temperatura y pH
Salida de energía	Convencional o domiciliaria
Accesorio de conexión	05 cables cocodrilo de color rojo (Fuente de alimentación – Ánodos) 05 cables cocodrilo de color azul (Fuente de alimentación – Cátodos)
Punto de toma de muestra / diámetro	Zona de reacción, a 4,5 cm de la base, diámetro de 1/4 pulgadas

Discusiones

Se elaboró un reactor de electrocoagulación a nivel planta piloto, es decir, con dimensiones adecuadas para realizar una serie de experimentos en el laboratorio, y evaluar su eficiencia, se utilizó una celda de vidrio (15 cm x 15 cm x 28 cm), 10 electrodos de aluminio y 10 electrodos de hierro distanciados a 1 cm, estos estuvieron configurados monopolarmente en paralelo y conectados a una fuente de alimentación mediante cables cocodrilo. Se programó los tratamientos a tres niveles de amperaje (1,0, 2,5 y 4,0) y a 3 niveles de tiempo (15', 30' y 45').

Por su parte, Aguilar, et al. (2020) utilizaron una celda con capacidad de llenado de 12 L, en una celda de electrocoagulación de 30 cm x 20 cm x 25 cm, con ocho placas de aluminio que se colocaron a 2 cm de distancia de cada uno, configurados en serie.

Gardiman, et al. (2021) utilizaron una celda de vidrio (8,15 cm x 13,8 cm y 8,9 cm de altura), con electrodos de aluminio distanciadas a 20 mm entre placas, con una configuración monopolar en paralelo; usaron solo un nivel de amperaje de tratamiento (2,054 A) y un nivel de tiempo de remoción de 20,27 minutos. Por otra parte, Dobrosz, et al. (2020) en su investigación de tratamiento de aguas mieles con electrocoagulación, usaron electrodos de Diamante Dopado con Boro (DDB) como ánodo y Acero inoxidable como cátodo, además aplicaron NaCl como electrolito de soporte para la remoción de contaminantes.

Cuba (2020), realizó su experimentación usando un reactor de electrocoagulación tipos batch, con electrodos de aluminio, distanciados a 2 cm, utilizó varios niveles de amperaje con solo un tiempo de tratamiento (15'). Calderon (2019), por su parte, uso un diseño diferente en su reactor de electrocoagulación, realizó su investigación mediante un reactor tubular cerrado con electrodos de acero inoxidable.

4.3 . Resultado específico 3

Determinación de las condiciones óptimas de tratamiento (intensidad de corriente eléctrica y tiempo de remoción), mediante el uso de electrodos de aluminio y hierro”.

En las siguientes figuras, se muestran los promedios de las dos repeticiones que se realizaron, respecto a la planificación de los tratamientos de electrocoagulación, en donde se verifican las variaciones de las concentraciones de cada parámetro, luego de aplicar los tratamientos correspondientes en función al tipo de electrodo usado, así como

también, a las condiciones óptimas de tratamiento (intensidad de corriente eléctrica y tiempo de remoción).

Concentraciones promedias de post tratamiento del parámetro DBO₅

En la figura N°8 se muestran las comparaciones de las concentraciones promedias de post tratamiento del parámetro DBO₅, donde se evidencia una remoción significativa de este parámetro al usar electrodos de aluminio, mientras que los valores obtenidos al emplear electrodos de hierro tienden a ascender y acercarse a los valores iniciales de pretratamiento, esto a medida que se incrementa la intensidad de corriente. Los niveles de remoción con electrodos de aluminio y hierro se mantienen cercanos al inicio, aunque estos empiezan a distanciarse desde el tratamiento tres (T3), a causa del cambio de amperaje (de 1,0 a 2,5 amperios).

El valor de concentración promedio final óptimo de este parámetro de estudio, se obtuvo en el tratamiento nueve (T9), el cual fue de 34,5 mg/L, al aplicar 4,0 amperios (intensidad de corriente eléctrica) en 45 minutos (tiempo de remoción), mediante el uso de electrodos de aluminio.

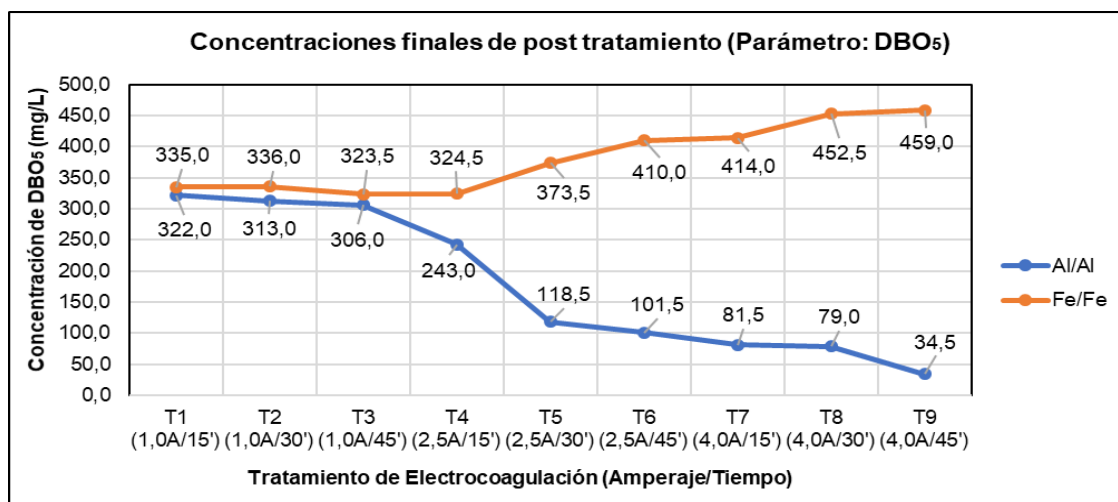


Figura 8

Concentraciones finales de post tratamiento del parámetro DBO₅

Concentraciones promedias de post tratamiento del parámetro DQO

En la figura N°9 se muestran las comparaciones de las concentraciones promedias de post tratamiento del parámetro Demanda Química de Oxígeno, donde se evidencia una remoción progresiva de este parámetro al usar electrodos de aluminio, mientras que los valores obtenidos al emplear electrodos de hierro se mantienen en un nivel relativamente constante, sin proyección a descender. Los valores de remoción con electrodos de aluminio y hierro se mantienen cercanos al inicio, aunque la curva del

aluminio empieza a distanciarse desde el tratamiento tres (T3), a causa del cambio de amperaje (de 1,0 a 2,5 amperios).

El valor de concentración promedio final óptimo de este parámetro de estudio, se obtuvo en el tratamiento nueve (T9), el cual fue de 901,5 mg/L, al aplicar 4,0 amperios (intensidad de corriente eléctrica) en 45 minutos (tiempo de remoción), usando electrodos de aluminio.

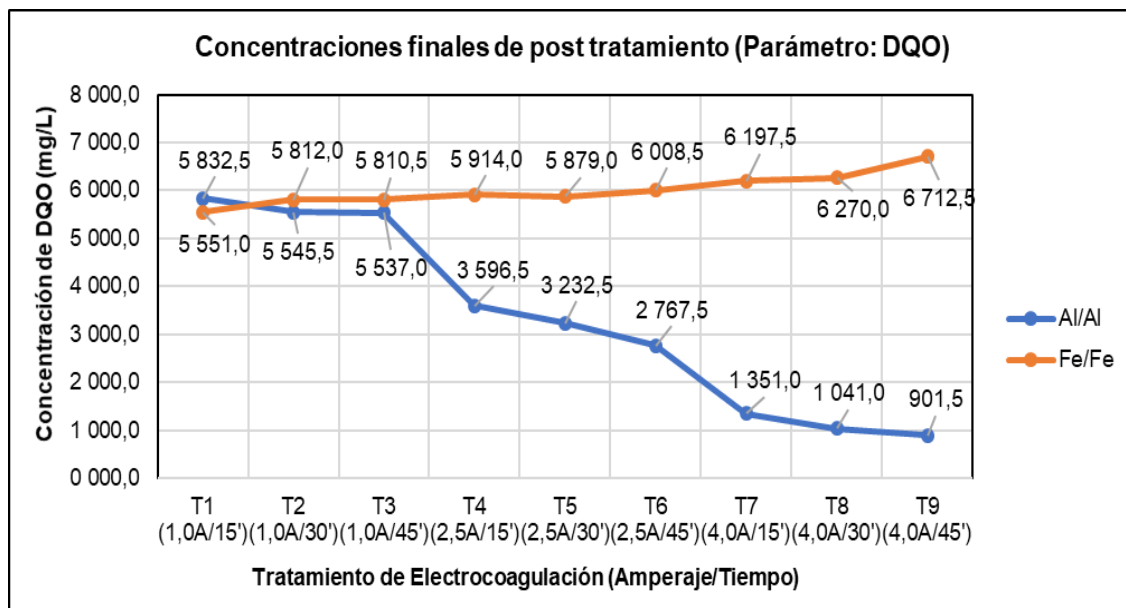


Figura 9

Concentraciones finales de post tratamiento del parámetro DQO.

Concentraciones promedio de post tratamiento del parámetro SST

En la figura N°10 se muestran las comparaciones de las concentraciones promedio de post tratamiento del parámetro Solidos Suspendidos Totales, donde se evidencia una remoción significativa de este parámetro al usar electrodos de aluminio, mientras que los valores obtenidos al emplear electrodos de hierro se mantienen en un nivel relativamente constante, sin proyección a descender. El valor de concentración promedio final óptimo de este parámetro de estudio, se obtuvo en el tratamiento nueve (T9), el cual fue de 28,0 mg/L, al aplicar 4,0 amperios (intensidad de corriente eléctrica) en 45 minutos (tiempo de remoción), usando electrodos de aluminio.

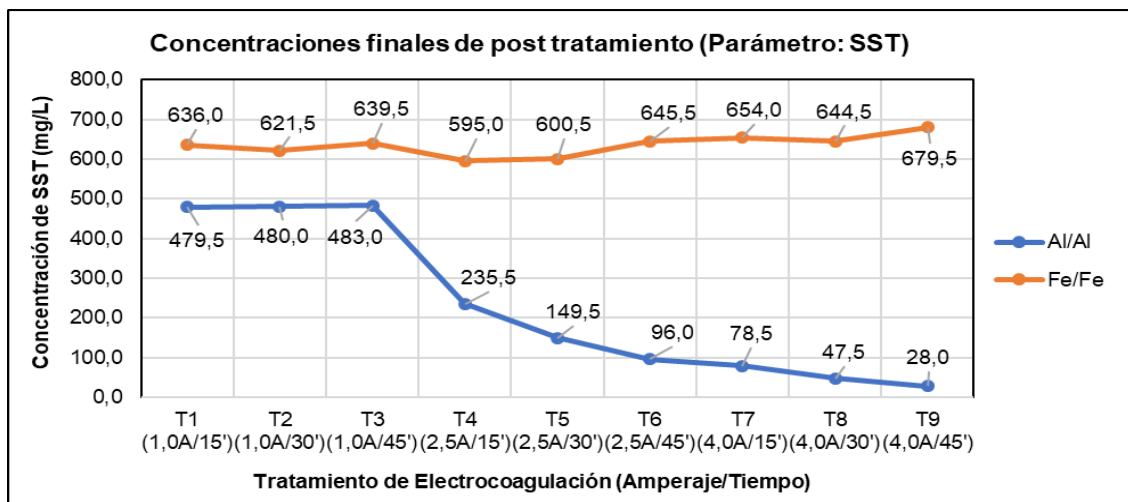


Figura 10

Concentraciones finales de post tratamiento del parámetro SST.

Parámetros secundarios

Se realizaron mediciones de los valores finales de estos parámetros tras el tratamiento para evaluar cómo afectaba el procedimiento de tratamiento por electrocoagulación al pH y a la temperatura del agua, obteniendo los siguientes resultados promedios: En cuanto al parámetro temperatura, se puede verificar su incremento a medida que se aumentan los niveles de amperaje y el tiempo de remoción, tanto en el uso de electrodos de aluminio como en electrodos de hierro. (Ver figura N°11).

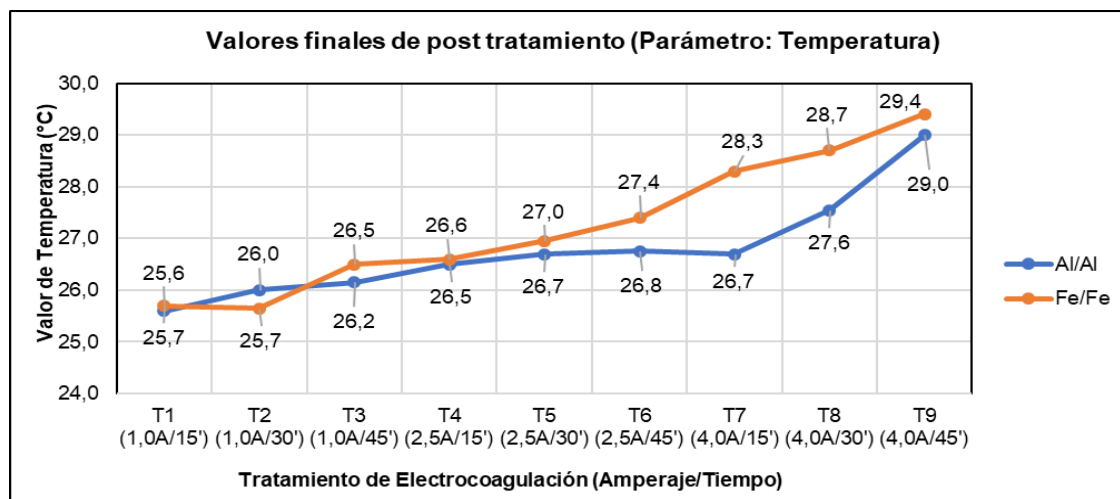


Figura 11

Valores finales de post tratamiento del parámetro Temperatura.

En la figura N° 12 se verifica el efecto del tratamiento por electrocoagulación en la variación del valor promedio final del pH; se verifica un aumento progresivo de este parámetro a medida que se aumentan los niveles de amperaje y el tiempo de remoción, tanto en el uso de electrodos de aluminio como en electrodos de hierro. Se determinaron

los valores óptimos entre los tratamientos cuatro, cinco, seis, siete y ocho (T4, T5, T6, T7 y T8) mediante el uso de electrodos de aluminio, así mismo, se obtuvieron valores óptimos en los tratamientos cuatro, cinco, seis y siete (T4, T5, T6 y T7) mediante el uso de electrodos de hierro.

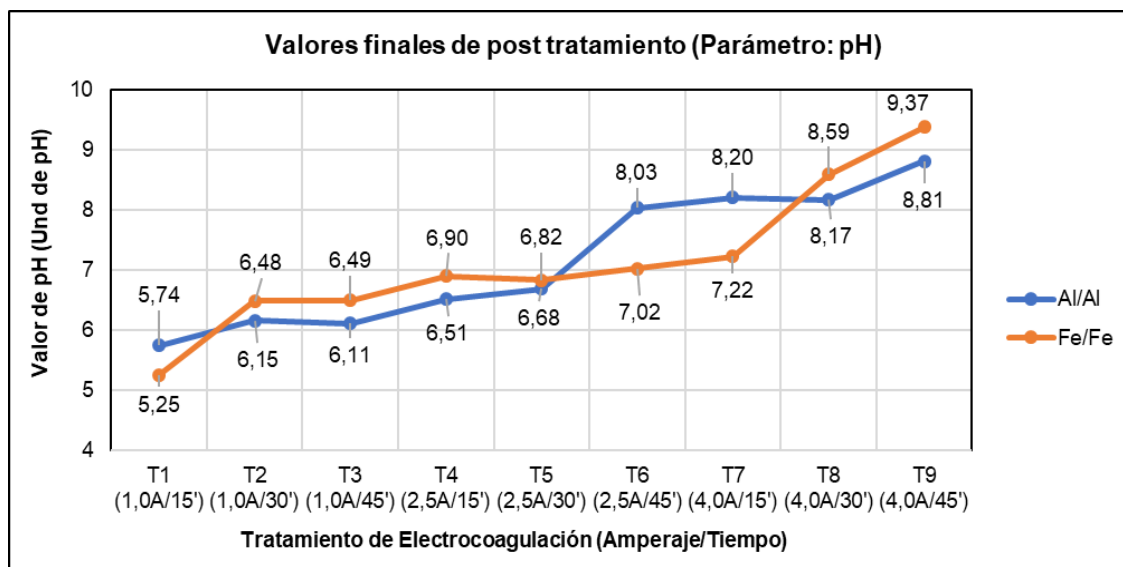


Figura 12

Valores finales de post tratamiento del parámetro pH.

Discusiones

Las condiciones óptimas del proceso encontradas fueron: 4,0 amperios con 45 minutos de remoción, mediante electrodos de aluminio, con las cuales se logró las mejores concentraciones promedias finales: 34,5 mg/L de DBO₅, 901,5 mg/L de DQO y 28 mg/L de SST; además, se observó un aumento de la temperatura del agua y un incremento del pH, a medida en que se aumenta las condiciones de amperaje y tiempo de remoción. Mediante el mismo proceso, pero aplicando 2,054 amperios en 20,27 minutos de tratamiento, Gardiman, et al. (2021) lograron niveles finales de remoción de 15,704 mg/L en DQO y 4,099 mg/L en SST.

Calderón (2019) logró remociones considerables de DQO aplicando condiciones óptimas de remoción de 30 minutos de tratamiento a 2 amperios de intensidad de corriente eléctrica; así mismo, Indigoyen (2019) en su investigación de electrocoagulación, removió parámetros orgánicos (DBO₅ y DQO) aplicando 7 amperios de corriente en 25 minutos de tratamiento, usando electrodos combinados (aluminio y hierro).

4.4 . Resultado específico 4

Evaluación de los niveles de remoción de la materia orgánica en función de DBO₅, DQO y SST, si estos son los adecuados para la emisión de estas aguas tratadas al ambiente y/o para uso de riego”.

Concentración representativa del parámetro de estudio DBO₅

La mejor concentración promedio del parámetro de estudio DBO₅ fue de 34,5 mg/L, dato registrado en el tratamiento nueve (T9) al aplicar 4,0 amperios con 45 minutos de tiempo de remoción, usando electrodos de aluminio; esto significa una remoción del 93,99% con respecto a su concentración promedio inicial (574 mg/L). Este valor final se encuentra por debajo de los LMP (100 mg/L), pero no logró alcanzar los ECA (15 mg/L). Así mismo, la mejor concentración promedio final registrado en los tratamientos con electrodos de hierro (323,5 mg/L), no alcanzaron dichos límites, demostrando su ineficiencia en la remoción de este parámetro de estudio. (Ver figura N° 13).

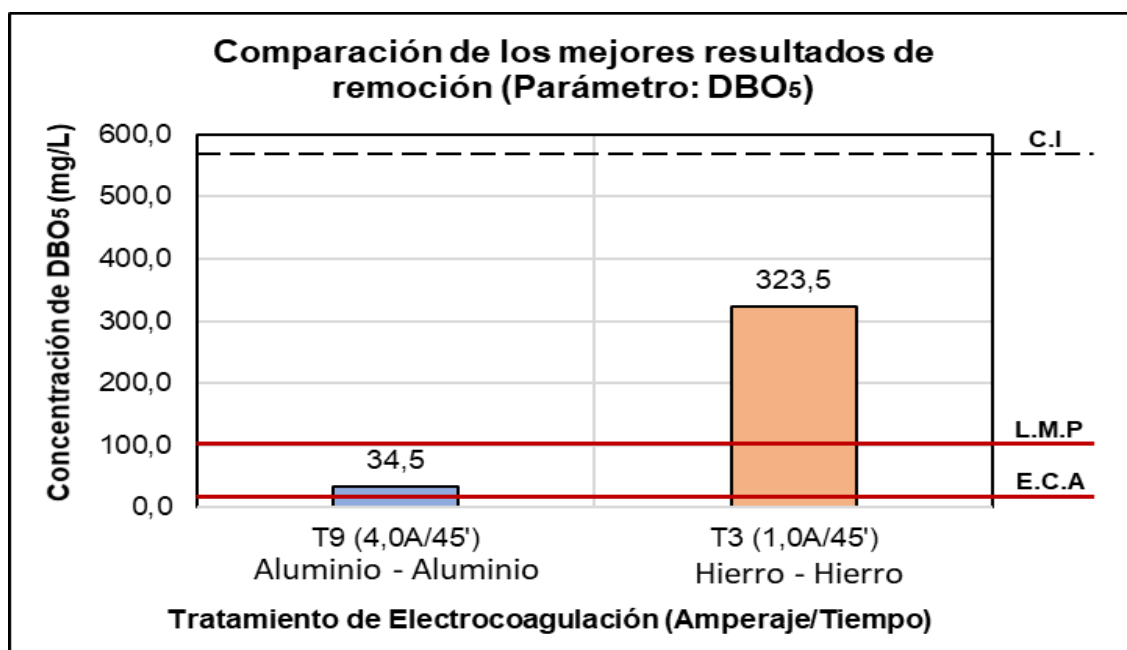


Figura 13

Comparación de los mejores resultados de remoción del parámetro DBO₅.

Concentración representativa del parámetro de estudio DQO

La mejor concentración promedio del parámetro de estudio DQO fue de 901,5 mg/L, valor registrado en el tratamiento nueve (T9) al aplicar 4,0 amperios con 45 minutos de tiempo de remoción usando electrodos de aluminio; esto significa una remoción del 87,78% con respecto a su concentración promedio inicial (7 376,8 mg/L). Este valor final

no logró alcanzar los LMP (200 mg/L) y tampoco logró alcanzar los ECA (40 mg/L), demostrando así su ineficiencia, aunque el porcentaje de remoción fue positivo.

Por otra parte, la mejor concentración final registrado en los tratamientos con electrodos de hierro (5 551,0 mg/L), tampoco alcanzaron los límites de LMP y ECA, demostrando su ineficiencia en la remoción de este parámetro. (Ver figura N° 14).

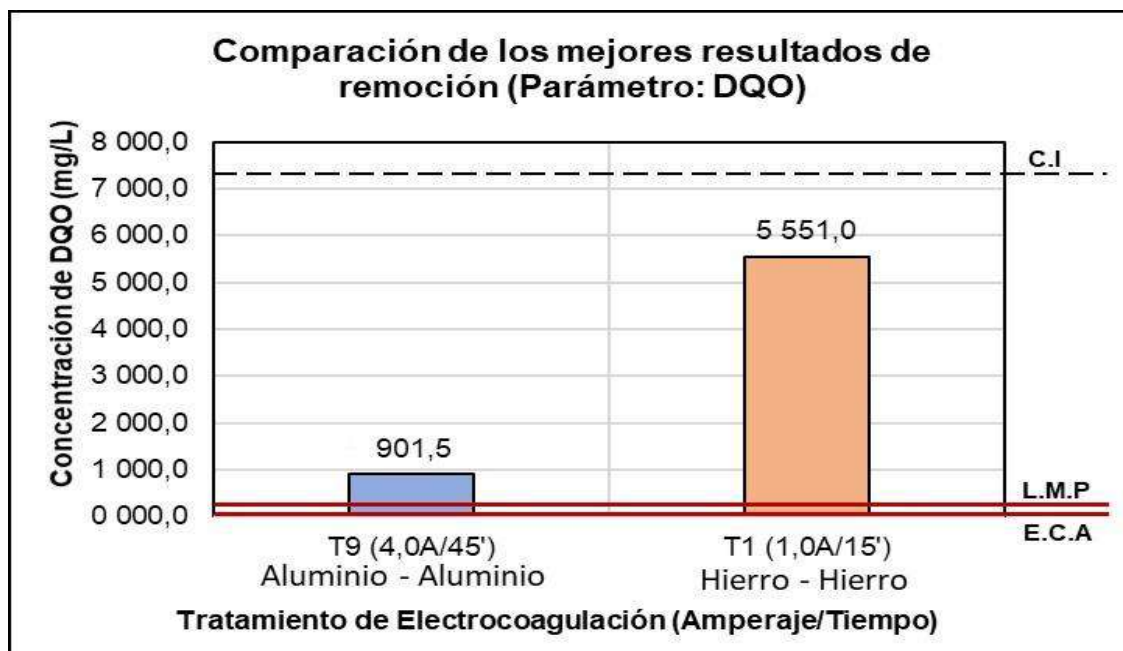


Figura 14

Comparación de los mejores resultados de remoción del parámetro DQO.

Concentración representativa del parámetro de estudio SST

La concentración óptima del parámetro de estudio SST fue de 28,0 mg/L, valor registrado en el tratamiento nueve (T9) al aplicar 4,0 amperios con 45 minutos de tiempo de remoción usando electrodos de aluminio; esto significa una remoción del 96,82% con respecto a su concentración inicial (879,5 mg/L). Este valor final se encuentra por debajo de los LMP (150 mg/L). Por otra parte, la mejor concentración final registrado en los tratamientos con electrodos de hierro (595,0 mg/L), no alcanzaron dichos límites, demostrando su ineficiencia en la remoción de este parámetro de estudio. (Ver figura N° 15).

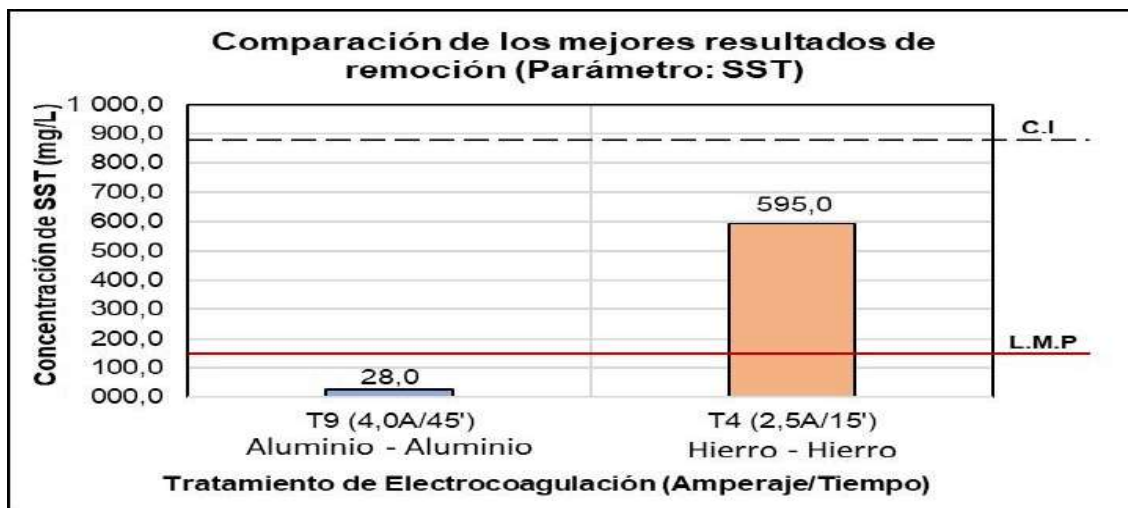


Figura 15

Comparación de los mejores resultados de remoción del parámetro SST.

Parámetros secundarios

Los valores promedios más elevados de temperatura se registraron en el tratamiento nueve (T9), específicamente a condiciones óptimas respecto a los valores de remoción de los parámetros de estudio, los valores finales promedios de temperatura fueron 29,0 °C mediante tratamiento con electrodos de aluminio y 29,4°C mediante tratamiento con electrodos de hierro; estos niveles finales son adecuados, debido a que se encuentran por debajo de los LMP. (Ver figura N° 16).

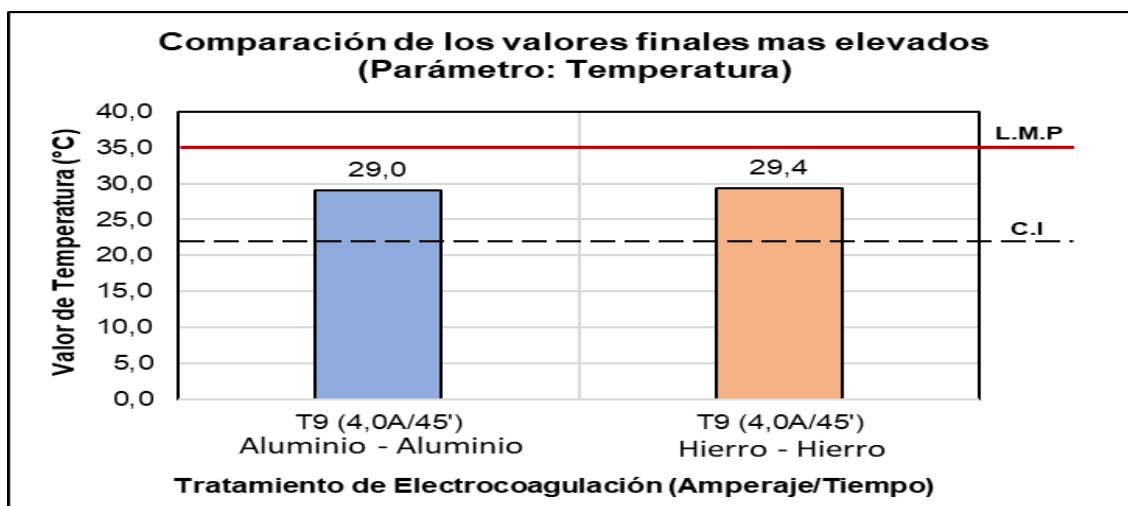


Figura 16

Comparación de los valores finales más elevados del parámetro Temperatura.

En cuanto a los valores promedios más elevados de pH, también se registraron en el tratamiento nueve (T9), específicamente a condiciones óptimas respecto a los valores de remoción de los parámetros de estudio, los valores finales promedios de pH fueron

8,81 mediante tratamiento con electrodos de aluminio y 9,37 mediante tratamiento con electrodos de hierro; estos niveles finales no son los más adecuados, debido a que no se encuentran entre los LMP y ECA. La tendencia del tratamiento por electrocoagulación de estas aguas residuales agrícolas es de neutralizar el pH, incluso, llegar a sobrepasar estos límites hasta alcalinizarla. (Ver figura N° 17).

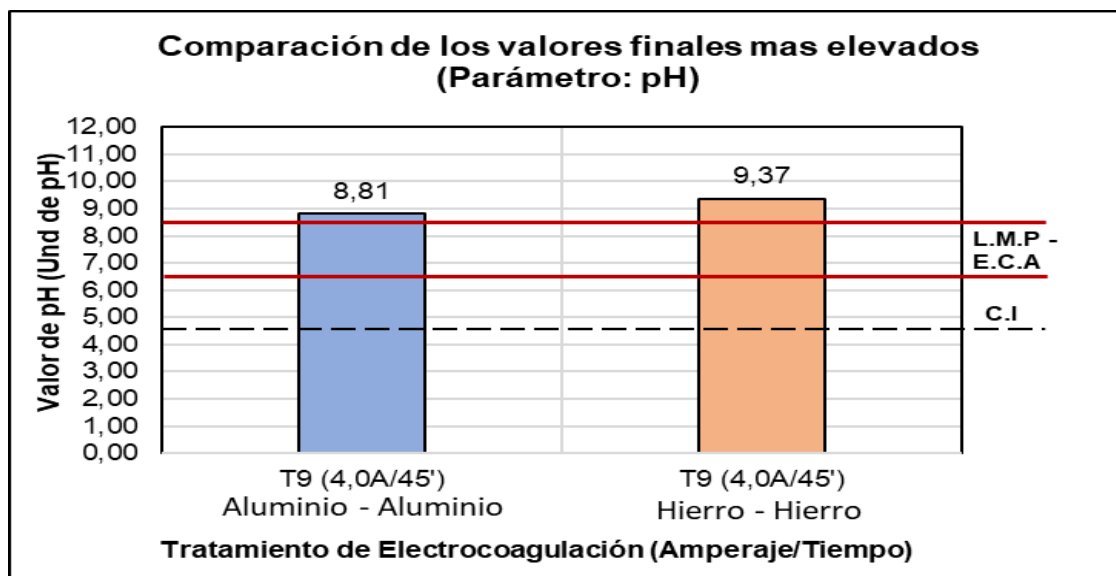


Figura 17

Comparación de los valores finales más elevados del parámetro pH.

Discusiones

Mediante el tratamiento por electrocoagulación de estas aguas residuales agrícolas del café, se logró obtener valores positivos y significativos de remoción del 93,99% en DBO_5 , 87,78% en DQO y 96,82% en SST, sin embargo, al comparar los niveles finales de remoción, se determinó que solo algunos parámetros de encuentran acordes a las normativas ambientales (DBO_5 y SST), mientras que el parámetro DQO no logró el límite y estándar requerido.

Dobrosz, et al. (2020) lograron remover el indicador de materia orgánica (DQO) de las aguas residuales de producción de café, a un nivel del 75%; mientras que Aguilar, et al. (2020) removieron la concentración de DQO, DBO_5 y SST de aguas residuales de la industria del curtido en 56,8%, 69,2 % y 99,9% respectivamente en función a su valor inicial; en ambas investigaciones se aplicó el proceso de electrocoagulación a condiciones favorables.

Cuba (2020) obtuvo resultados de remoción de 90,83% en DQO y 95,93% en SST, demostrando que las aguas residuales grises tratadas por electrocoagulación, pueden ser reutilizadas en riego de vegetales de acuerdo a la normativa. Así mismo, Indigoyen

(2019) logró niveles de remociones de 97,48% en DBO₅ y 97,81% en DQO, bajo condiciones óptimas de tratamiento, específicamente en aguas residuales industriales.

Análisis estadístico

Tabla 14

Resumen del análisis estadístico

Prueba estadística	Hipotesis de la prueba	Regla de decisión	Interpretación y decisión
Prueba de normalidad para los datos experimentales: Shapiro – Wilk. con $\alpha = 0.05$ y $1-\alpha = 95\%$.	H₀: Los datos tienen una distribución normal.	Si $p < 0,05$ se rechaza H ₀ y se acepta H ₁ .	De acuerdo al procesamiento de datos obtenidos en pre y post tratamiento (con 2 repeticiones, se rechaza H ₀ y se acepta H ₁ , es decir, los datos obtenidos para todos los parámetros de estudio (DBO ₅ , DQO y SST) no tienen una distribución normal, en tal sentido se utilizó una prueba estadística <u>no paramétrica</u> para constatar la hipótesis de la investigación. (Ver Anexo N°06).
	H₁: Los datos no tienen una distribución normal.	Si $p \geq 0,05$ se acepta H ₀ y se rechaza H ₁ .	
Prueba estadística para la constatación de la hipótesis de investigación: Wilcoxon para muestras relacionadas con $\alpha = 0.05$ y $1-\alpha = 95\%$.	H₀: $\mu_1 = \mu_2$	Si $p < 0,05$ se rechaza H ₀ y se acepta H ₁ .	De acuerdo al procesamiento de los datos obtenidos en pre y post tratamiento (con 2 repeticiones), se rechaza H ₀ y se acepta H ₁ , es decir, estadísticamente se evidencian diferencias significativas entre los datos obtenidos en pre y post tratamiento, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna de la investigación: “Si aplicamos el tratamiento por electrocoagulación, se removerá la materia orgánica en función de DBO ₅ , DQO y SST, en las aguas residuales agrícolas del café”. (Ver Anexo N°07).
	H₁: $\mu_1 \neq \mu_2$	Si $p \geq 0,05$ se acepta H ₀ y se rechaza H ₁ .	
Prueba estadística para la evaluación de los efectos entre variables de estudio, a partir del diseño factorial completo: ANOVA – TUKEY con $\alpha = 0.05$ y $1-\alpha = 95\%$.	H₀: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$, Las medias son iguales, no existen diferencias significativas	Si $p < 0,05$ se rechaza H ₀ y se acepta H ₁ .	De acuerdo al procesamiento de los datos obtenidos en pre y post tratamiento (con 2 repeticiones), se rechaza H ₀ y se acepta H ₁ , es decir, estadísticamente se evidencian diferencias significativas entre los datos obtenidos en post tratamiento, por lo tanto, los factores “Intensidad de Corriente” y “Tiempo de Remoción” ocasionan cambios en las concentraciones finales de DBO ₅ , DQO y SST. La prueba de Tukey indica que los mejores resultados de remoción de DBO ₅ , DQO y SST, se obtuvieron mediante el uso de electrodos de aluminio, empleando un amperaje de 4,0 y tiempo de remoción de 45 minutos, el cual corresponde al tratamiento nueve (T9). (Ver Anexo N°08).
	H₁: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$, Las medias son diferentes, existen diferencias significativas	Si $p \geq 0,05$ se acepta H ₀ y se rechaza H ₁ .	

CONCLUSIONES

La electrocoagulación es un método eficaz para tratar residuos líquidos (aguas mieles) con el fin de remover niveles de parámetros de materia orgánica, se logró obtener valores positivos y significativos del 93,99% en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), 87,78% en Demanda Química de Oxígeno (DQO) y 96,82% en Sólidos Suspendidos Totales (SST); generando de esta manera, una alternativa viable de tratamiento en este tipo de aguas residuales.

Las concentraciones promedias iniciales de los parámetros fisicoquímicos de estudio fueron: 574 mg/L en DBO_5 , 7 376,8 mg/L en DQO y 879,5 mg/L en SST, estos valores se encuentran en niveles desfavorables para su emisión directa al entorno natural, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR, así mismo, estas concentraciones impiden la reutilización de estos residuos líquidos para el riego de vegetales, según los Estándares de Calidad Ambiental (Categoría 3).

La elaboración o construcción del reactor de electrocoagulación a nivel planta piloto, estuvo basado en el análisis del contexto de la investigación como lo son: volumen de agua residual agrícola del café a tratar, características y condiciones del agua residual (parámetros de estudio), adquisición de equipos y materiales, eficiencia en la operación – mantenimiento y consumo energético.

Se obtuvieron las concentraciones adecuadas de post tratamiento al emplear 10 electrodos de aluminio (5 ánodos y 5 cátodos), a partir de las siguientes condiciones óptimas: 4,0 amperios de intensidad de corriente eléctrica, con 45 minutos en tiempo de remoción, en donde se logró remociones considerables de los tres parámetros de estudio relacionados a la materia orgánica. Se comprobó que el empleo de electrodos de aluminio en lugar de electrodos de hierro, generan mejores resultados de remoción.

Las concentraciones promedias finales de remoción de DBO_5 y SST al emplear electrodos de aluminio, se encuentran por debajo de los LMP y ECA (Cat.3), cumpliendo con las exigencias de dichas normativas para la emisión de estas aguas tratadas al ambiente y para ser usado en riego de vegetales; caso contrario, la concentración promedio final de DQO no logró alcanzar estos límites y estándares. En cuanto a los valores finales promedios obtenidos al emplear electrodos de hierro, estos se encuentran muy distantes de las normativas mencionadas.

RECOMENDACIONES

A futuros investigadores, tomar como referencia la metodología de la presente investigación, además se recomienda utilizar condiciones óptimas de tratamiento de electrocoagulación (4 amperios de intensidad de corriente eléctrica y 45 minutos de tiempo de remoción, utilizando electrodos de aluminio) para tratar aguas residuales agrícolas del café, o aguas residuales con características similares, es decir, aquellas con alta carga orgánica.

A futuros investigadores, se recomienda complementar y continuar esta investigación, implementando un pretratamiento al proceso de electrocoagulación de las aguas mieles del café, para mejorar la eficiencia en el tratamiento de depuración de estos contaminantes orgánicos, principalmente de DQO; así mismo, incluir al estudio, otros parámetros fisicoquímicos y microbiológicos relevantes, de acuerdo a las normativas ambientales vigentes.

A futuros investigadores, se recomienda la implementación de un reactor de electrocoagulación a escala real, en el área de beneficio del café de donde se extrajeron las muestras de estudio, en dimensiones proporcionales y en función al volumen total de agua residual que se genera por cada jornada de trabajo, considerando y respetando los parámetros de diseño establecidos en la presente investigación, los cuales fueron: material adecuado de electrodo, distanciamiento entre electrodos, espesor de electrodos, tipo de conexión y aplicación de condiciones adecuadas de tratamiento (intensidad de corriente y tiempo de remoción).

A la facultad de Ecología – UNSM, incentivar el desarrollo de investigaciones de este tipo, en las que se aborde temáticas referidos a las aplicaciones de tecnologías novedosas o poco utilizadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas.

A las entidades y autoridades competentes, proponer medidas de control en cuanto al problema de las emisiones de aguas mieles por parte de los agricultores del sector, para detener la contaminación de suelos y aguas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Ascón, E., Marrufo-Saldaña, L., & Neyra-Ascón, W. (2020). Efficiency of electrocoagulation method to reduce COD, BOD and TSS in tannery industry wastewater: Application of the box-behnken design. *Leather and Footwear Journal*, 20(3), 217–228. <https://doi.org/10.24264/lfj.20.3.1>
- Aguilar, J., & Bazán, J. (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 pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Akyol, A., Can, O., Demirbas, E., & Kobya, M. (2013). A comparative study of electrocoagulation and electro-Fenton for treatment of wastewater from liquid organic fertilizer plant. *Separation and Purification Technology*. V. 112, P. 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.03.036>
- Al-Qodah, Z., Al-Qudah, Y., & Assirey, E. (2019). Combined biological wastewater treatment with electrocoagulation as a post-polishing process: A review. *Separation Science and Technology*, v.55, n.13, p.2334-2352. <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1626891>
- Arango, A. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 2(1), pp. 49-56. Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia.
- Ayunque, J., Esteban, J., & Huere, J. (2022). *Tratamiento de aguas residuales con cámaras de electrocoagulación a escala de laboratorio*. Primera Edición. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.
- Barrera, C. (2014). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. Primera Edición. México D.F: Reverte Ediciones.
- Bermeo, M., & Bonilla, L. (2020). *Electrocoagulación y adsorción aplicadas al tratamiento de aguas residuales*. Primera Edición. Grupo Compas S.A.
- Braga, F., Xastre, T., Simões, E., & Lima, C. (2022). Removal of color and turbidity in sugarcane juice treated by electrocoagulation with aluminum electrodes. *Brazilian Journal of Food Technology [online]*. v. 24. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.23620>
- Calderón, V. (2019). *Remoción de contaminantes orgánicos de aguas residuales industriales por electrocoagulación, con adición de peróxido de hidrógeno, en un*

- reactor tubular*. Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Cepeda, M. (2018). *El Cultivo del Cafeto "el oro Café de la Agricultura"*. Primera Edición. Editorial Académica Española.
- Cuba, M. (2020). *Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales - Ate Vitarte*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Dobrosz, I., Gomez, M., & Ibarra, H. (2020). Tratamiento de aguas residuales de la industria del café soluble vía Electrocoagulación - Oxidación Anódica. Selección de los electrodos. *Rev.EIA. Esc. Ing.Antioq* [online], vol.17, n.34, pp.126-142. Epub Aug 31, 2021. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1328>.
- Fernández, Y., Sotto, K., & Vargas, L. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción+ Limpia*, V. 15(1), P. 93-110. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>
- Garaycochea, A. (2021). *Remoción de la Demanda Química de Oxígeno: Del Agua Residual del Procesamiento del Café Mediante Bioadsorbentes Derivados de Residuos Agrícolas*. Primera Edición. Editorial Académica Española.
- Gardiman, B., Guimarães, D., & Garcia, G. (2021). Avaliação da Qualidade de Águas Residuárias de Indústria Cafeeira Submetidas ao Tratamento Eletrolítico. *Rev. Virtual Quim.*, 2021, 13 (2), 323-334. DOI: 10.21577/1984-6835.20200149
- Gómez, H. (2018). *La electrocoagulación como proceso de descontaminación de aguas residuales y herramienta de educación químico – ambiental*. Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Hach (2022). Sólidos (Totales y Disueltos). Recuperado de: <https://es.hach.com/parameters/solids>
- Hanna instruments (2023). Demanda química de oxígeno. Recuperado de: <https://www.hannainst.es/blog/81/demanda-quimica-de-oxigeno>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. 6ta. Ed. México DF: McGRAW-HILL. 95 – 151 pp.
- Indigoyen, D. (2019). *Remoción de materia orgánica de aguas residuales de la industria láctea por el método de electrocoagulación, utilizando energía eólica*. Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). Producción de café se incrementó 17,0% en julio de 2021. Nota de prensa N° 146. (En Línea). Lima: Web del Instituto Nacional de Estadística e Informática. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-146-2021-inei.pdf>.
- Isaza, J., Zambrano, D., & Rodríguez, N. (1999). *Tratamiento de aguas residuales del lavado del café*. 1era. Ed. Colombia: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 20 pp.
- Koby, M., Oncel, M., Demirbas, E., Sik, E., Akyol, A., & Ince, M. (2014). The application of electrocoagulation process for treatment of the red mud dam wastewater from Bayer's process. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. V. 2, P. 2211-2220. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.09.008>
- Larue, O., Vorobiev, E., Vu., C., & Durand, B. (2003). Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions. *Revista Separation and Purification Technology*, V. 31 (2), P. 177-192. <https://doi.org/10.1016/S1383->
- Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *Quito: Revista CienciaAmerica - Universidad Tecnológica Indoamérica*. Vol. 3 (1) 34 – 39 pp. ISSN: 1390-9592.
- Magaña, L., Rojas, A., González, Y., & Ojeda, E. (2020). Remoción de contaminantes del residual lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio. *Tecnología Química*, V. 40(1), p. 17-34.
- M. Arivazhagan, C., & Tuvakara, F. (2015). Decolorization of distillery spent wash effluent by electro oxidation (EC and EF) and Fenton processes: A comparative study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, V.121, P. 142-148.
- Martínez, M. (2016). *Eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Martínez, M, Vega, I & Diaz, E. (2012). *Educación Superior: Prototipo didáctico de reactor tipo Batch para la enseñanza*. Primera Edición. Editorial Académica Española.
- Mayta, R., & Mayta, J. (2017). Removal of chromium and chemical oxygen demand of tannery wastewater by electrocoagulation. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(3), 331-340.

- Milla, A. (2019). *Equipo de electrocoagulación con electrodos móviles para el tratamiento de aguas de pozo*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2015). Situación actual del café en el país. (En Línea). Lima: Web del Ministerio de Agricultura y Riego. Disponible en: <https://www.midagri.gob.pe/portal/485-feria-scaa/10775-el-cafe-peruano>.
- Ministerio del Ambiente (2010). Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales LMP. (En Línea). Lima: Web del MINAM. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>
- Ministerio del Ambiente (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. (En Línea). Lima: Web del MINAM. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto->
- Molina, L. (1999). *Gastos defensivos del beneficio de café en la zona pacífica central de Nicaragua*. Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.
- Morales, N., & Acosta, G. (2010). Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas. *Bogotá: Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. Vol.20 (1), pp.33-44. ISSN 0124-8170.
- Morales, E., Hurtado, R., Chávez, S., Collazos, E., & Sanchez, T. (2021). Sistemas de tratamiento y reutilización de aguas mieles de café: Un enfoque de desarrollo sustentable para los caficultores de países en desarrollo. *Revista Científica Pakamuros*, V. 9(2), P. 97-110. <https://doi.org/10.37787/8f1evv33>
- Morales, E., Oliva, M., Rascón, J., & Milla, M. (2020). Sistemas de tratamiento de aguas mieles de café en la Provincia de Rodríguez de Mendoza, Perú. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, V. 7(1), P. 84-96. DOI:10.23850/24220582.2918
- Palacios, A. (2019). *Estudio sobre los principales problemas existentes en las lagunas de estabilización*. Trabajo de investigación, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú.
- Pantoja, R., & Armero, D. (2019). La electrocoagulación, una alternativa para el tratamiento de aguas residuales en el departamento de Nariño. *Boletín Informativo CEI*, 6(2), 84-87.

- Parga, J, Vazquez, V & De los Santos, A. (2011). *Eliminación de Sustancias Tóxicas del Agua con Electrocoagulación*. Primera Edición. Editorial Académica Española.
- Piña, M., Martín, A., González, C., Prieto, F., Guevara, A., & García, J. (2011). Review of design variables and operation conditions in electrocoagulation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química [online]*. vol.10, n.2, pp.257-271. ISSN 1665-2738.
- Restrepo, A., Arango, A., & Garcés, L. (2006). La electrocoagulación: Retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Caldas: Revista Producción + Limpia*, Vol. 1 (2) 68 pp. ISSN: 1909 – 0455.
- Rivas, J., & Rojas, M. (2020). *Tratamiento de aguas residuales por el método de electrocoagulación del sistema PTAR de la laguna de estabilización San José Lambayeque*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Rodríguez, Y., Fuentes, Miguel., Beleño, O., & Montoya, L. (2021). Electrocoagulación como alternativa de tratamiento de aguas residuales mixtas originadas en la industria del procesamiento de lácteos y cárnicos. *Tecnura*, V. 25(67), P. 26-39. <https://doi.org/10.14483/22487638.15769>
- Rojas, R., Alvarado, L., Borjas, R., Carbonell, E., Castro, V., & Julca, A. (2020). Caracterización de fincas productoras de café convencional y orgánico en el valle del Alto Mayo, región San Martín, Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, V. 7(2), P. 100-111.
- Romero, J. (2009). *Calidad del Agua*. Tercera Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Russell, D. (2012). *Tratamiento de aguas residuales, un enfoque práctico*. Primera Edición. Editorial Reverte.
- Sahu, O., & Chaudhari, P. (2015). Electrochemical treatment of sugar industry wastewater: COD and color removal. *Journal of Electroanalytical Chemistry* V. 739: P. 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2014.11.037>
- Torres, L., Sanín, A., Arango, A., & Serna, J. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista Ion*, V. 32(2), P. 59-66. DOI: 10.18273/revion.v32n2-2019006
- Valencia, E., Aragón, R., & Romero, J. (2012). Potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Nátaga en cultivo de cacao

(Theobroma cacao L.). Bogotá: Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 2012. Vol 15(1) 77–86pp. <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n1.2012.804>

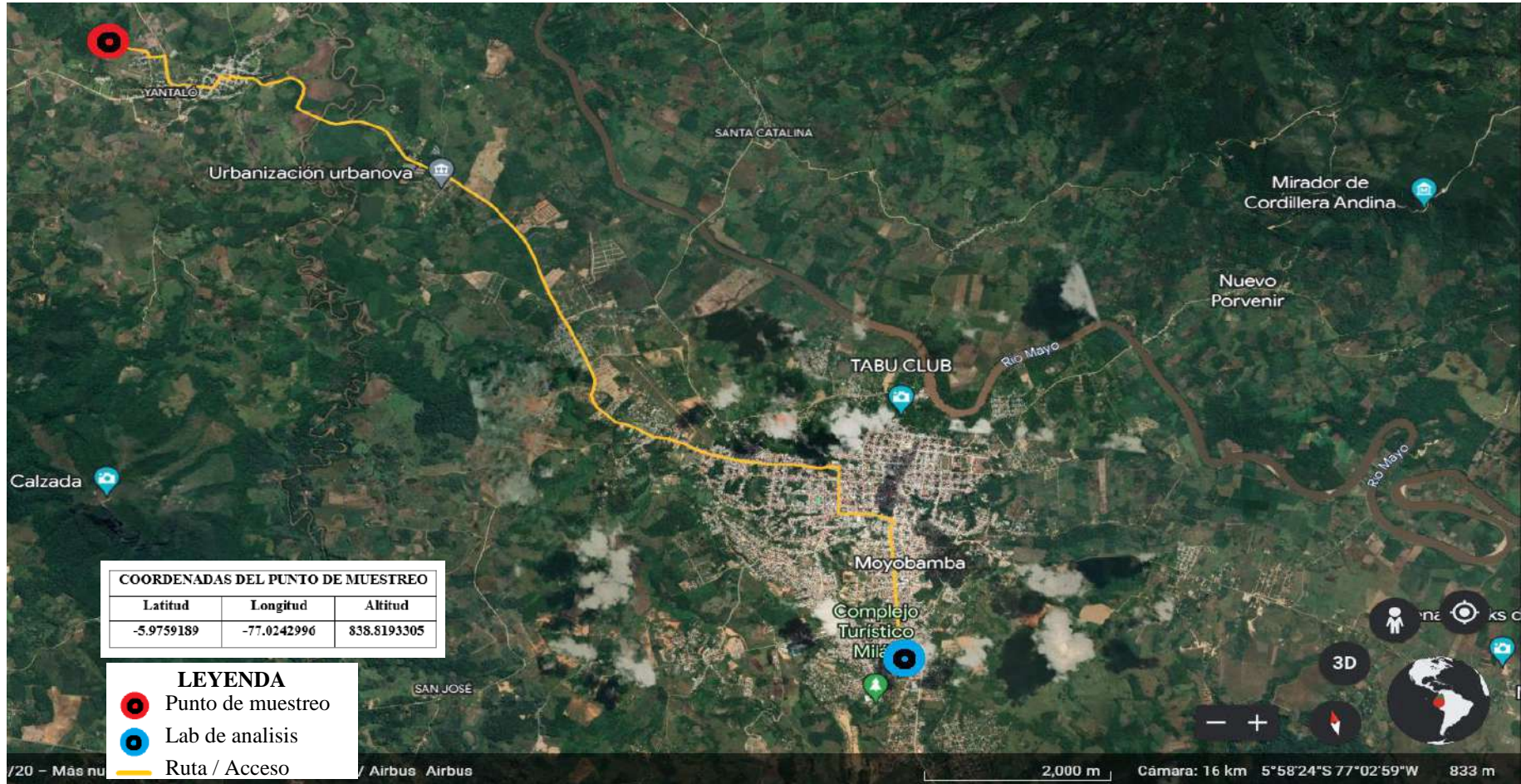
Vidal, J., Espinoza, C., Contreras, N., & Salazar, R. (2017). Elimination of industrial textile DYE by electrocoagulation using iron electrodes. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 62(2), 3519-3524. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072017000200019>.

Villabona, A., Tejada, C., & Contreras, R. (2021). Electrocoagulation as an Alternative for the Removal of Chromium (VI) in Solution. *Tecnura*, 25(68), 28-42, 2021. <https://doi.org/10.14483/22487638.17088>

Villon, A., & Reátegui, W. (2019). Electrocoagulación y electroflotación para reducir contenido orgánico y turbidez en aguas residuales urbanas simuladas. Lima: *Revista Tecnia*, vol. 29 N.º 1. <https://doi.org/10.21754/tecnica.v29i1.346>

ANEXOS

ANEXO 01: Ubicación del punto de muestreo, laboratorio de análisis y ruta de acceso



ANEXO 02: Acta de autorización para ingreso a área de beneficio de café, para la extracción de muestras

ACTA DE AUTORIZACIÓN

YO **EMILIO LABAJOS VILLACORTA**, identificado con DNI 00814229, agricultor cafetalero dedicado a la producción, procesamiento y comercialización de café, **AUTORIZO** al tesista de posgrado **Bach. DELMESTER CHUQUIMBALQUI MARINA**, el ingreso a mi instalación de beneficio de café para realizar el muestreo del agua residual del lavado de café, con fines académicos y de investigación, el cual será empleado para la ejecución del proyecto de investigación: **ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCION DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LAS AGUAS RESIDUALES AGRÍCOLAS DEL CAFÉ, MOYOBAMBA, SAN MARTÍN 2023**, correspondiente a la tesis de posgrado del programa de maestría en Ciencias con mención en Gestión Ambiental, de la Unidad de Posgrado de la Universidad Nacional de San Martín.

Los días de muestreo y volumen de muestra a extraer, queda definido de la siguiente manera:

MUESTREO	FECHA	VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL
01	22-06-2023	19 L
02	28-06-2023	19 L
03	06-07-2023	19 L
04	13-07-2023	19 L
05	20-07-2023	19 L
06	27-07-2023	19 L
Muestra Total		114 L

Yantaló 18/06/2023



EMILIO LABAJOS VILLACORTA
DNI 00814229

ANEXO 03: Autorización para ingreso al laboratorio de Ingeniería Sanitaria

FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Moyobamba, 10 de julio 2023

CARTA N° 023-2023-SIV.UNSM/FE/RLIS

Señor Blga. M.Sc.

ASTRITH RUIZ RIOS

Decano de la Facultad de Ecología

Asunto: AUTORIZACIÓN PARA INGRESO AL LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA

Referencia: exp. N° 2614-2023-FECOL, prov. 2029.

Me dirijo a usted para saludarlo cordialmente a su persona y a la vez; indicar que, según la referencia indicada, tesista **Delmester Chuquimbalqui Marina**, identificado con DNI: **72774910**, egresado del Programa de Maestría en Ciencias con Mención en Gestión Ambiental; presenta solicitud para ingresar al laboratorio de Ingeniería Sanitaria, estando en la fase experimental de la Tesis: **“Electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica en las aguas residuales agrícolas del café, Moyobamba, San Martín, 2023”**, por lo que requiere el uso del laboratorio de Ingeniería Sanitaria, para los análisis respectivos.

El tesista debe ingresar al laboratorio de Ingeniería Sanitaria conjuntamente con su asesor **Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza**, a partir del día **07 de julio del presente año**, cumpliendo con todos los protocolos de bioseguridad.

Por lo indicado; como responsable del laboratorio de Ingeniería Sanitaria; expreso la respectiva **conformidad**; sugiriendo a su Decanatura informar al interesado el permiso de ingreso a los ambientes de la Facultad, en coordinación con Vigilancia.



Stábler Yagoth Vásquez
 INGENIERO SANITARIO
 CIP N° 215448

Encargado laboratorio ingeniería sanitaria
 Facultad de Ecología de la UNSM

**ANEXO 04: Registro de datos del laboratorio (análisis de concentraciones
iniciales de parámetros fisicoquímicos – Pre Tratamiento)**

Tabla 15

Registro de concentraciones y valores iniciales de los parámetros.

Muestra	Parámetro	Unidad	Conc. Inicial	L.M.P	E.C.A
M1	SST	mg/L	890	150	----
	DBO ₅	mg/L	520	100	15
	DQO	mg/L	7 550	200	40
	Temperatura	°C	22,6	< 35	----
	pH	Und. De pH	4,73	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
M2	SST	mg/L	876	150	----
	DBO ₅	mg/L	620	100	15
	DQO	mg/L	7 706	200	40
	Temperatura	°C	21,5	< 35	----
	pH	Und. De pH	4,82	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
M3	SST	mg/L	884	150	----
	DBO ₅	mg/L	514	100	15
	DQO	mg/L	7001	200	40
	Temperatura	°C	21,0	< 35	----
	pH	Und. De pH	4,50	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
M4	SST	mg/L	860	150	----
	DBO ₅	mg/L	590	100	15
	DQO	mg/L	7 014	200	40
	Temperatura	°C	22,1	< 35	----
	pH	Und. De pH	4,80	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
M5	SST	mg/L	885	150	----
	DBO ₅	mg/L	660	100	15
	DQO	mg/L	7 580	200	40
	Temperatura	°C	23,0	< 35	----
	pH	Und. De pH	4,17	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
M6	SST	mg/L	882	150	----
	DBO ₅	mg/L	540	100	15
	DQO	mg/L	7 410	200	40
	Temperatura	°C	23,1	< 35	----
	pH	Und. De pH	4,47	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5

Tabla 16

Registro de los promedios de concentraciones y valores iniciales de los parámetros.

Parámetro	Unidad	Prom. Conc. Inicial	L.M.P	E.C.A
SST	mg/L	879,5	150	----
DBO ₅	mg/L	574	100	15
DQO	mg/L	7 376,8	200	40
Temperatura	°C	22,2	< 35	----
pH	Und. De pH	4,58	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5

**ANEXO 05: Registro de datos del laboratorio (análisis de concentraciones finales
de parámetros fisicoquímicos – Post Tratamiento)**

Tabla 17

Registro de concentraciones y valores finales de los parámetros. (Primera y Segunda Repetición).

Tratamiento	Parámetro	Unidad	Concentración Final			
			Primera Repetición		Segunda Repetición	
			Al / Al	Fe / Fe	Al / Al	Fe / Fe
T1 (1,0A/15')	SST	mg/L	495	616	464	656
	DBO ₅	mg/L	330	305	314	365
	DQO	mg/L	5 964	5 570	5 701	5 532
	Temperatura	°C	25,8	25,9	25,4	25,5
	pH	Und. De pH	5,88	5,40	5,60	5,10
T2 (1,0A/30')	SST	mg/L	491	632	469	611
	DBO ₅	mg/L	324	321	302	351
	DQO	mg/L	5 578	5 804	5 513	5 820
	Temperatura	°C	26,2	25,7	25,8	25,6
	pH	Und. De pH	6,20	6,50	6,10	6,46
T3 (1,0A/45')	SST	mg/L	480	639	486	640
	DBO ₅	mg/L	312	314	300	333
	DQO	mg/L	5 563	5 813	5 511	5 808
	Temperatura	°C	26,3	26,6	26,0	26,4
	pH	Und. De pH	6,01	6,60	6,20	6,37
T4 (2,5A/15')	SST	mg/L	234	610	237	580
	DBO ₅	mg/L	227	320	259	329
	DQO	mg/L	3 069	5 920	4 124	5 908
	Temperatura	°C	26,4	26,6	26,6	26,6
	pH	Und. De pH	6,56	6,80	6,45	6,99
T5 (2,5A/30')	SST	mg/L	134	614	165	587
	DBO ₅	mg/L	125	392	112	355
	DQO	mg/L	3 055	5 898	3 410	5 860
	Temperatura	°C	26,7	26,9	26,7	27,0
	pH	Und. De pH	6,71	6,80	6,65	6,84
T6 (2,5A/45')	SST	mg/L	92	644	100	647
	DBO ₅	mg/L	104	418	99	402
	DQO	mg/L	2 801	6 004	2 734	6 013
	Temperatura	°C	26,6	27,2	26,9	27,6
	pH	Und. De pH	8,05	6,93	8,00	7,10
T7 (4,0A/15')	SST	mg/L	76	647	81	661
	DBO ₅	mg/L	83	413	80	415
	DQO	mg/L	1 250	6 180	1 452	6 215
	Temperatura	°C	26,7	28,0	26,7	28,6
	pH	Und. De pH	8,09	7,00	8,30	7,44
T8 (4,0A/30')	SST	mg/L	56	640	39	649
	DBO ₅	mg/L	79	450	79	455
	DQO	mg/L	1 080	6 240	1 002	6 300
	Temperatura	°C	27,4	28,7	27,7	28,7
	pH	Und. De pH	8,23	8,90	8,1	8,27
T9 (4,0A/45')	SST	mg/L	25	707	31	652
	DBO ₅	mg/L	30	456	39	462
	DQO	mg/L	914	6 681	889	6 744
	Temperatura	°C	29,1	29,5	28,9	29,3
	pH	Und. De pH	8,63	9,61	8,98	9,13

Tabla 18

Registro de concentraciones y valores finales de los parámetros. (Promedio Final).

Tratamiento	Parámetro	Unidad	Concentración Final	
			Al / Al	Fe / Fe
T1 (1,0A/15')	SST	mg/L	479,5	636,0
	DBO ₅	mg/L	322,0	335,0
	DQO	mg/L	5 832,5	5 551,0
	Temperatura	°C	25,6	25,7
	pH	Und. De pH	5,74	5,25
T2 (1,0A/30')	SST	mg/L	480,0	621,5
	DBO ₅	mg/L	313,0	336,0
	DQO	mg/L	5 545,5	5 812,0
	Temperatura	°C	26,0	25,7
	pH	Und. De pH	6,15	6,48
T3 (1,0A/45')	SST	mg/L	483,0	639,5
	DBO ₅	mg/L	306,0	323,5
	DQO	mg/L	5 537,0	5 810,5
	Temperatura	°C	26,2	26,5
	pH	Und. De pH	6,11	6,49
T4 (2,5A/15')	SST	mg/L	235,5	595,0
	DBO ₅	mg/L	243,0	324,5
	DQO	mg/L	3 596,5	5 914,0
	Temperatura	°C	26,5	26,6
	pH	Und. De pH	6,51	6,90
T5 (2,5A/30')	SST	mg/L	149,5	600,5
	DBO ₅	mg/L	118,5	373,5
	DQO	mg/L	3 232,5	5 879,0
	Temperatura	°C	26,7	27,0
	pH	Und. De pH	6,68	6,82
T6 (2,5A/45')	SST	mg/L	96,0	645,5
	DBO ₅	mg/L	101,5	410,0
	DQO	mg/L	2 767,5	6 008,5
	Temperatura	°C	26,8	27,4
	pH	Und. De pH	8,03	7,02
T7 (4,0A/15')	SST	mg/L	78,5	654,0
	DBO ₅	mg/L	81,5	414,0
	DQO	mg/L	1 351,0	6 197,5
	Temperatura	°C	26,7	28,3
	pH	Und. De pH	8,20	7,22
T8 (4,0A/30')	SST	mg/L	47,5	644,5
	DBO ₅	mg/L	79,0	452,5
	DQO	mg/L	1 041,0	6 270,0
	Temperatura	°C	27,6	28,7
	pH	Und. De pH	8,17	8,59
T9 (4,0A/45')	SST	mg/L	28,0	679,5
	DBO ₅	mg/L	34,5	459,0
	DQO	mg/L	901,5	6 712,5
	Temperatura	°C	29,0	29,4
	pH	Und. De pH	8,81	9,37

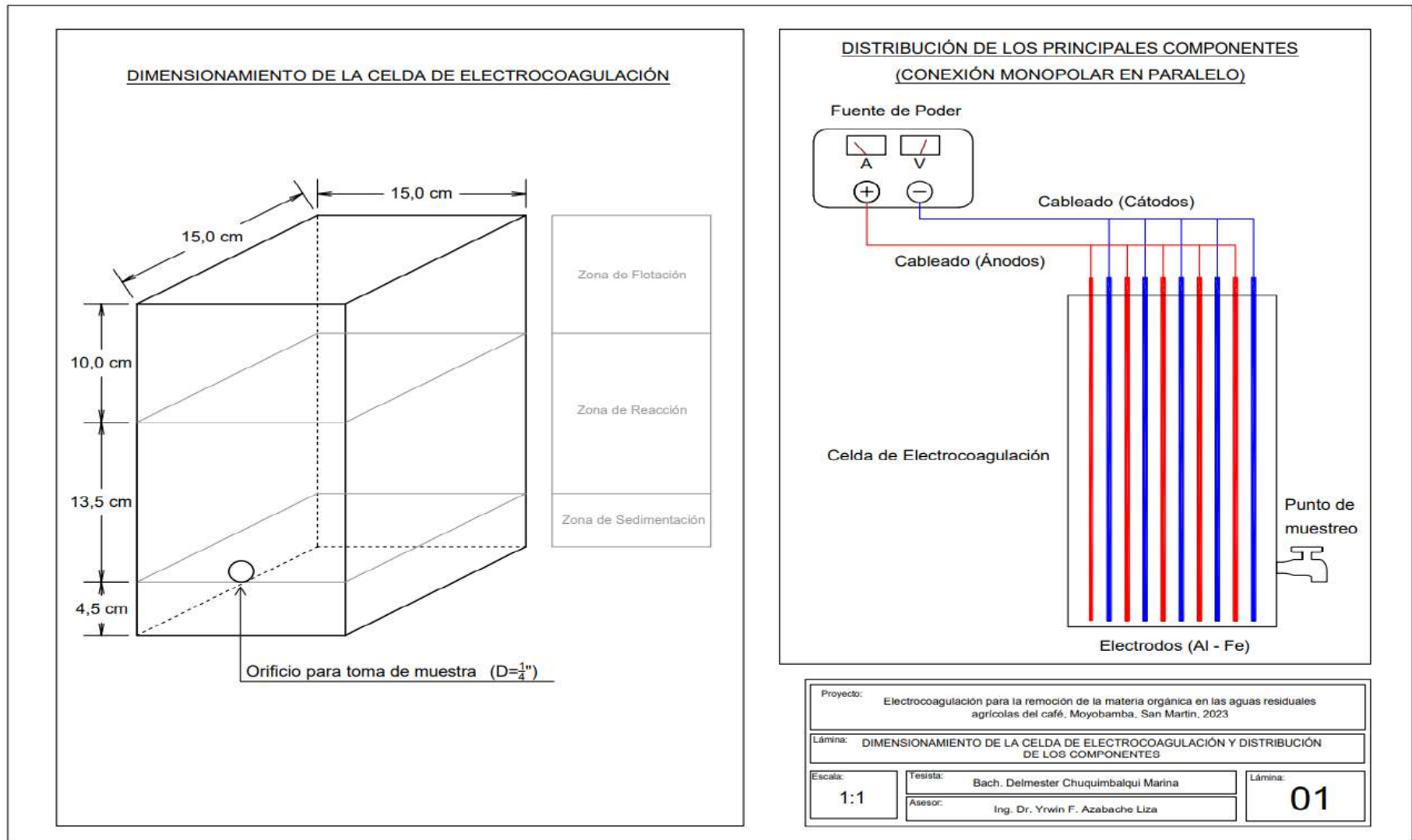
ANEXO 06: Registro de datos del laboratorio (Promedios y comparaciones de los mejores resultados post tratamiento)

Tabla 19

Registro de concentraciones y valores finales de los parámetros. (Comparación de los mejores promedios con las normativas ambientales).

Parámetro	Unidad	Electrodo	Tratamiento	Concentrafiion final óptima	L.M.P	E.C.A
DBO ₅	mg/L	Al / Al	T9 (4,0A/45')	34,5	100	15
		Fe / Fe	T3 (1,0A/45')	323,5		
DQO	mg/L	Al / Al	T9 (4,0A/45')	901,5	200	40
		Fe / Fe	T1 (1,0A/15')	5 551,0		
SST	mg/L	Al / Al	T9 (4,0A/45')	28,0	150	----
		Fe / Fe	T4 (2,5A/15')	595,0		
Temperatura	°C	Al / Al	T9 (4,0A/45')	29,0	< 35	----
		Fe / Fe	T9 (4,0A/45')	29,4		
pH	Und	Al / Al	T9 (4,0A/45')	8,81	6,5 –	6,5 –
		Fe / Fe	T9 (4,0A/45')	9,37		

ANEXO 07: Dimensionamiento y distribución de los componentes del reactor de electrocoagulación



ANEXO 08: Prueba de normalidad para datos experimentales**Tabla 20***Prueba de normalidad (Parámetro: DBO₅ / Electrodo de Aluminio).*

Shapiro – Wilk			
	Estadístico	gl	Sig. (p)
Pre Tratamiento	0,856	18	0,011
Post Tratamiento	0,836	18	0,005

Fuente: IBM SPSS

Tabla 21*Prueba de normalidad (Parámetro: DBO₅ / Electrodo de Hierro).*

Shapiro – Wilk			
	Estadístico	gl	Sig. (p)
Pre Tratamiento	0,856	18	0,011
Post Tratamiento	0,910	18	0,088

Fuente: IBM SPSS

Tabla 22*Prueba de normalidad (Parámetro: DQO / Electrodo de Aluminio).*

Shapiro – Wilk			
	Estadístico	gl	Sig. (p)
Pre Tratamiento	0,805	18	0,002
Post Tratamiento	0,865	18	0,015

Fuente: IBM SPSS

Tabla 23*Prueba de normalidad (Parámetro: DQO / Electrodo de Hierro).*

Shapiro – Wilk			
	Estadístico	gl	Sig. (p)
Pre Tratamiento	0,805	18	0,002
Post Tratamiento	0,914	18	0,101

Fuente: IBM SPSS

Tabla 24*Prueba de normalidad (Parámetro: SST / Electrodo de Aluminio).*

Shapiro – Wilk			
	Estadístico	gl	Sig. (p)
Pre Tratamiento	0,802	18	0,002
Post Tratamiento	0,803	18	0,002

Fuente: IBM SPSS

Tabla 25*Prueba de normalidad (Parámetro: SST / Electrodo de Hierro).*

Shapiro – Wilk			
	Estadístico	gl	Sig. (p)
Pre Tratamiento	0,802	18	0,002
Post Tratamiento	0,939	18	0,281

Fuente: IBM SPSS

ANEXO 09: Prueba estadística para la constatación de la hipótesis de investigación

Tabla 26

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: DBO₅ / Electrodo de Aluminio).

Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
La mediana de diferencias entre Pre Tratamiento y Post Tratamiento es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	<0,001	Rechace la hipótesis nula.
N total: 18		Media (Pre. Trat): 574,0	
Estadístico de prueba: 0,000		Desv. Est: (Pre. Trat): 55,4765	
Error estándar: 22,962		Media (Pos. Trat): 177,667	
Estadístico de prueba estandarizado: -3,724		Desv. Est: (Pos. Trat): 113,3527	
Sig. Asintótica (Prueba bilateral): <0,001			

a. El nivel de significación es de 0,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Fuente: IBM SPSS

Tabla 27

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: DBO₅ / Electrodo de Hierro).

Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
La mediana de diferencias entre Pre Tratamiento y Post Tratamiento es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	<0,001	Rechace la hipótesis nula.
N total: 18		Media (Pre. Trat): 574,0	
Estadístico de prueba: 0,000		Desv. Est: (Pre. Trat): 55,4765	
Error estándar: 22,962		Media (Pos. Trat): 380,889	
Estadístico de prueba estandarizado: -3,724		Desv. Est: (Pos. Trat): 54,7507	
Sig. Asintótica (Prueba bilateral): <0,001			

a. El nivel de significación es de 0,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Fuente: IBM SPSS

Tabla 28

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: DQO / Electrodo de Aluminio).

Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
La mediana de diferencias entre Pre Tratamiento y Post Tratamiento es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	<0,001	Rechace la hipótesis nula.
N total: 18		Media (Pre. Trat): 7 376,833	
Estadístico de prueba: 0,000		Desv. Est: (Pre. Trat): 282,9299	
Error estándar: 22,962		Media (Pos. Trat): 3311,667	
Estadístico de prueba estandarizado: -3,724		Desv. Est: (Pos. Trat): 1935,1567	
Sig. Asintótica (Prueba bilateral): <0,001			

a. El nivel de significación es de 0,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Fuente: IBM SPSS

Tabla 29

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: DQO / Electrodo de Hierro).

Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
La mediana de diferencias entre Pre Tratamiento y Post Tratamiento es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	<0,001	Rechace la hipótesis nula.
N total: 18		Media (Pre. Trat): 7 376,833	
Estadístico de prueba: 0,000		Desv. Est: (Pre. Trat): 282,9299	
Error estándar: 22,962		Media (Pos. Trat): 6017,222	
Estadístico de prueba estandarizado: -3,724		Desv. Est: (Pos. Trat): 328,0790	
Sig. Asintótica (Prueba bilateral): <0,001			

a. El nivel de significación es de 0,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Fuente: IBM SPSS

Tabla 30

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: SST / Electrodo de Aluminio).

Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
La mediana de diferencias entre Pre Tratamiento y Post Tratamiento es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	<0,001	Rechace la hipótesis nula.
N total: 18		Media (Pre. Trat): 879,5	
Estadístico de prueba: 0,000		Desv. Est: (Pre. Trat): 9,9366	
Error estándar: 22,962		Media (Pos. Trat): 230,8	
Estadístico de prueba estandarizado: -3,724		Desv. Est: (Pos. Trat): 191,28	
Sig. Asintótica (Prueba bilateral): <0,001			

a. El nivel de significación es de 0,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Fuente: IBM SPSS

Tabla 31

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (Parámetro: SST / Electrodo de Hierro).

Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
La mediana de diferencias entre Pre Tratamiento y Post Tratamiento es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	<0,001	Rechace la hipótesis nula.
N total: 18		Media (Pre. Trat): 879,5	
Estadístico de prueba: 0,000		Desv. Est: (Pre. Trat): 9,9366	
Error estándar: 22,962		Media (Pos. Trat): 635,111	
Estadístico de prueba estandarizado: -3,724		Desv. Est: (Pos. Trat): 29,2673	
Sig. Asintótica (Prueba bilateral): <0,001			

a. El nivel de significación es de 0,050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Fuente: IBM SPSS

ANEXO 10: Diseño factorial (ANOVA y Prueba de Tukey)

ANOVA

Tabla 32

Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: DBO₅ / Electrodo: Aluminio).

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	217 334,000 ^a	8	27 166,750	223,085	<,001
Intersección	568 178,000	1	568 178,000	4 665,695	<,001
IntensidadCorriente	190 405,333	2	95 202,667	781,774	<,001
TiempoRemoción	14 446,333	2	7 223,167	59,314	<,001
IntensidadCorriente * TiempoRemoción	12 482,333	4	3 120,583	25,625	<,001
Error	1 096,000	9	121,778		
Total	786 608,000	18			
Total corregido	218 430,000	17			

a. R al cuadrado = ,995 (R al cuadrado ajustada = ,991)

Fuente: IBM SPSS

Tabla 33

Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: DBO₅ / Electrodo: Hierro).

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	47 643,778 ^a	8	5 955,472	16,164	<,001
Intersección	2 611 374,222	1	2 611 374,222	7 087,566	<,001
IntensidadCorriente	37 722,111	2	18 861,056	51,191	<,001
TiempoRemoción	5 094,111	2	2 547,056	6,913	,015
IntensidadCorriente * TiempoRemoción	4 827,556	4	1 206,889	3,276	,064
Error	3 316,000	9	368,444		
Total	2 662 334,000	18			
Total corregido	50 959,778	17			

a. R al cuadrado = ,935 (R al cuadrado ajustada = ,877)

Fuente: IBM SPSS

Tabla 34

Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: DQO / Electrodo: Aluminio).

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	62 978 559,000 ^a	8	7 872 319,875	103,648	<,001
Intersección	197 408 450,000	1	197 408 450,000	2 599,095	<,001
IntensidadCorriente	61 963 003,000	2	30 981 501,500	407,905	<,001
TiempoRemoción	839 281,333	2	419 640,667	5,525	,027
IntensidadCorriente * TiempoRemoción	176 274,667	4	44 068,667	,580	,685
Error	683 575,000	9	75 952,778		
Total	261 070 584,000	18			
Total corregido	63 662 134,000	17			

a. R al cuadrado = ,989 (R al cuadrado ajustada = ,980)

Fuente: IBM SPSS

Tabla 35*Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: DQO / Electrodo: Hierro).*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1 823 715,111 ^a	8	227 964,389	336,672	<,001
Intersección	651 725 338,889	1	651 725 338,889	962 508,705	<,001
IntensidadCorriente	140 4597,444	2	702 298,722	1 037,199	<,001
TiempoRemoción	259 940,778	2	129 970,389	191,948	<,001
IntensidadCorriente * TiempoRemoción	159 176,889	4	39 794,222	58,771	<,001
Error	6 094,000	9	677,111		
Total	653 555 148,000	18			
Total corregido	1 829 809,111	17			

a. R al cuadrado = ,997 (R al cuadrado ajustada = ,994)

Fuente: IBM SPSS

Tabla 36*Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: SST / Electrodo: Aluminio).*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	620 564,000 ^a	8	77 570,500	487,354	<,001
Intersección	959 112,500	1	959 112,500	6 025,838	<,001
A) IntensidadCorriente	598 143,000	2	299 071,500	1 878,983	<,001
B) TiempoRemoción	11 834,333	2	5 917,167	37,176	<,001
AB) IntensidadCorriente * TiempoRemoción	10 586,667	4	2 646,667	16,628	<,001
Error	1 432,500	9	159,167		
Total	1 581 109,000	18			
Total corregido	621 996,500	17			

a. R al cuadrado = ,998 (R al cuadrado ajustada = ,996)

Fuente: IBM SPSS

Tabla 37*Pruebas de efectos inter-sujetos (Variable dependiente: SST / Electrodo: Hierro).*

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	11 070,778 ^a	8	1 383,847	3,568	,038
Intersección	7 260 590,222	1	7 260 590,222	18 718,222	<,001
A) IntensidadCorriente	6 325,778	2	3 162,889	8,154	,010
B) TiempoRemoción	3 614,778	2	1 807,389	4,660	,041
AB) IntensidadCorriente * TiempoRemoción	1 130,222	4	282,556	,728	,595
Error	3 491,000	9	387,889		
Total	7 275 152,000	18			
Total corregido	14 561,778	17			

a. R al cuadrado = ,760 (R al cuadrado ajustada = ,547)

Fuente: IBM SPSS

Prueba de Tukey**Tabla 38**

Prueba de Tukey para los factores "Intensidad de Corriente" y "Tiempo de Remoción" (Variable dependiente: DBO₅ / Electrodo: Aluminio)

Amperio	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
4,0	6	65,000		
2,5	6		154,333	
1,0	6			313,667
Sig.		1,000	1,000	1,000
Minuto	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
45,0	6	147,333		
30,0	6		170,167	
15,0	6			215,500
Sig.		1,000	1,000	1,000

El término de error es la media cuadrática (Error) = 121,778

Fuente: IBM SPSS

Tabla 39

Prueba de Tukey para los factores "Intensidad de Corriente" y "Tiempo de Remoción" (Variable dependiente: DBO₅ / Electrodo: Hierro)

Amperio	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
1,0	6	331,500		
2,5	6		369,333	
4,0	6			441,833
Sig.		1,000	1,000	1,000
Minuto	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	
15,0	6	357,833		
30,0	6	387,333	387,333	
45,0	6		397,500	
Sig.		,061	,644	

El término de error es la media cuadrática (Error) = 368,444

Fuente: IBM SPSS

Tabla 40

Prueba de Tukey para los factores "Intensidad de Corriente" y "Tiempo de Remoción" (Variable dependiente: DQO / Electrodo: Aluminio)

Amperio	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
4,0	6	1 097,833		
2,5	6		3 198,833	
1,0	6			5 638,333
Sig.		1,000	1,000	1,000
Minuto	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	
45,0	6	3 068,667		
30,0	6	3 273,000	3 273,000	
15,0	6		3 593,333	
Sig.		,438	,165	

El término de error es la media cuadrática (Error) = 75952,778

Tabla 41

Prueba de Tukey para los factores "Intensidad de Corriente" y "Tiempo de Remoción" (Variable dependiente: DQO / Electrodo: Hierro)

Amperio	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
1,0	6	5 724,500		
2,5	6		5 933,833	
4,0	6			6 393,333
Sig.		1,000	1,000	1,000
Minuto	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
15,0	6	5 887,500		
30,0	6		5 987,000	
45,0	6			6 177,167
Sig.		1,000	1,000	1,000

El término de error es la media cuadrática (Error) = 677,111

Fuente: IBM SPSS

Tabla 42

Prueba de Tukey para los factores "Intensidad de Corriente" y "Tiempo de Remoción" (Variable dependiente: SST / Electrodo: Aluminio)

Amperio	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
4,0	6	51,333		
2,5	6		160,333	
1,0	6			480,833
Minuto	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
45,0	6	202,333		
30,0	6		225,667	
15,0	6			264,500

El término de error es la media cuadrática (Error) = 159,167

Fuente: IBM SPSS

Tabla 43

Prueba de Tukey para los factores "Intensidad de Corriente" y "Tiempo de Remoción" (Variable dependiente: SST / Electrodo: Hierro)

Amperio	N	Subconjunto para alfa = 0,05	
		1	2
2,5	6	613,667	
1,0	6	632,333	632,333
4,0	6		659,333
Minuto	N	Subconjunto para alfa = 0,05	
		1	2
30,0	6	622,167	
15,0	6	628,333	628,333
45,0	6		654,833

El término de error es la media cuadrática (Error) = 387,889

Fuente: IBM SPSS

ANEXO 11: Ficha de validación de datos experimentales con fechas de ejecución



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
FACULTAD DE ECOLOGÍA**

Jr. Prolongación 20 de abril Cuadra 3 – S/N – Moyobamba, Teléfono 042-562458

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUÍMICOS

SOLICITANTE : Delmester Chuquimbalqui Marina
PUNTO DE MUESTREO : Área de beneficio de lavado de café (UTM 5°58'24"S – 77°02'59"W) – 833m
TIPO DE MUESTRA : Agua residual agrícola de café – aguas mieles
LUGAR : Distrito de Yantaló, Provincia Moyobamba
LUGAR DE ANALISIS : Laboratorio de Ingeniería Sanitaria – FECOL - UNSM
HORA : 08:00 am
MUESTREADOR : Delmester Chuquimbalqui Marina
FECHA DE EMISIÓN : 30 / 07 / 2023

Resultados de pre tratamiento 01 (Fecha de muestreo: 22-06-2023 / Fecha de análisis: 22-06-2023)

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	SST	mg/L	890,0
02	DBO ₅	mg/L	520
03	DQO	mg/L	7 550
04	Temperatura	°C	22,6
05	pH	Und de pH	4,73

Resultados de pre tratamiento 02 (Fecha de muestreo: 28-06-2023 / Fecha de análisis: 28-06-2023)

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	SST	mg/L	876,0
02	DBO ₅	mg/L	620
03	DQO	mg/L	7 706
04	Temperatura	°C	21,5
05	pH	Und de pH	4,82

Resultados de pre tratamiento 03 (Fecha de muestreo: 06-07-2023 / Fecha de análisis: 06-07-2023)

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	SST	mg/L	884,0
02	DBO ₅	mg/L	514
03	DQO	mg/L	7 001
04	Temperatura	°C	21,0
05	pH	Und de pH	4,50

Resultados de pre tratamiento 04 (Fecha de muestreo: 13-07-2023 / Fecha de análisis: 13-03-2023)

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	SST	mg/L	860,0
02	DBO ₅	mg/L	590
03	DQO	mg/L	7 014
04	Temperatura	°C	22,1
05	pH	Und de pH	4,80

Resultados de pre tratamiento 05 (Fecha de muestreo: 20-07-2023 / Fecha de análisis: 20-07-2023)

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	SST	mg/L	885,0
02	DBO ₅	mg/L	660
03	DQO	mg/L	7 580
04	Temperatura	°C	23,0
05	pH	Und de pH	4,17

Resultados de pre tratamiento 06 (Fecha de muestreo: 27-07-2023 / Fecha de análisis: 27-07-2023)

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
01	SST	mg/L	882,0
02	DBO ₅	mg/L	540
03	DQO	mg/L	7 410
04	Temperatura	°C	23,1
05	pH	Und de pH	4,47

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
Docente guía y Especialista en Análisis y Calidad del Agua



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
 Jr. Prolongación 20 de abril Cuadra 3 – S/N – Moyobamba, Teléfono 042-562458

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUÍMICOS

SOLICITANTE : Delmester Chuquimbalqui Marina
PUNTO DE MUESTREO : Área de beneficio de lavado de café (UTM 5°58'24"S – 77°02'59"W) – 833m
TIPO DE MUESTRA : Agua residual agrícola de café – aguas mieles
LUGAR : Distrito de Yantaló, Provincia Moyobamba
LUGAR DE ANALISIS : Laboratorio de Ingeniería Sanitaria – FECOL - UNSM
HORA : 09:30 am
MUESTREADOR : Delmester Chuquimbalqui Marina
FECHA DE EMISIÓN : 30 / 07 / 2023

Resultados de post tratamiento con electrodos de aluminio y hierro (Primera repetición)

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS	TRATAMIENTO	RESULTADOS DE PRIMERA REPETICIÓN	
					Al / Al	Fe / Fe
01	SST	mg/L	22-06-2023	T1 (1,0A / 15')	495	616
				T2 (1,0A / 30')	491	632
				T3 (1,0A / 45')	480	639
			28-06-2023	T4 (2,5A / 15')	234	610
				T5 (2,5A / 30')	134	614
				T6 (2,5A / 45')	92	644
			06-07-2023	T7 (4,0A / 15')	76	647
				T8 (4,0A / 30')	56	640
				T9 (4,0A / 45')	25	707
02	DBO ₅	mg/L	22-06-2023	T1 (1,0A / 15')	330	305
				T2 (1,0A / 30')	324	321
				T3 (1,0A / 45')	312	314
			28-06-2023	T4 (2,5A / 15')	227	320
				T5 (2,5A / 30')	125	392
				T6 (2,5A / 45')	104	418
			06-07-2023	T7 (4,0A / 15')	83	413
				T8 (4,0A / 30')	79	450
				T9 (4,0A / 45')	30	456
03	DQO	mg/L	22-06-2023	T1 (1,0A / 15')	5 964	5 570
				T2 (1,0A / 30')	5 578	5 804
				T3 (1,0A / 45')	5 563	5 813
			28-06-2023	T4 (2,5A / 15')	3 069	5 920
				T5 (2,5A / 30')	3 055	5 898
				T6 (2,5A / 45')	2 801	6 004
			06-07-2023	T7 (4,0A / 15')	1 250	6 180
				T8 (4,0A / 30')	1 080	6 240
				T9 (4,0A / 45')	914	6 681
04	Temperatura	°C	22-06-2023	T1 (1,0A / 15')	25,8	25,9
				T2 (1,0A / 30')	26,2	25,7
				T3 (1,0A / 45')	26,3	26,6
			28-06-2023	T4 (2,5A / 15')	26,4	26,6
				T5 (2,5A / 30')	26,7	26,9
				T6 (2,5A / 45')	26,6	27,2
			06-07-2023	T7 (4,0A / 15')	26,7	28,0
				T8 (4,0A / 30')	27,4	28,7
				T9 (4,0A / 45')	29,1	29,5
05	pH	Und. pH	22-06-2023	T1 (1,0A / 15')	5,88	5,40
				T2 (1,0A / 30')	6,20	6,50
				T3 (1,0A / 45')	6,01	6,60
			28-06-2023	T4 (2,5A / 15')	6,56	6,80
				T5 (2,5A / 30')	6,71	6,80
				T6 (2,5A / 45')	8,05	6,93
			06-07-2023	T7 (4,0A / 15')	8,09	7,00
				T8 (4,0A / 30')	8,23	8,90
				T9 (4,0A / 45')	8,63	9,61

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
 Docente guía y Especialista en Análisis y Calidad del Agua



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
 Jr. Prolongación 20 de abril Cuadra 3 – S/N – Moyobamba, Teléfono 042-562458

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUÍMICOS

SOLICITANTE : Delmester Chuquimbalqui Marina
PUNTO DE MUESTREO : Área de beneficio de lavado de café (UTM 5°58'24"S – 77°02'59"W) – 833m
TIPO DE MUESTRA : Agua residual agrícola de café – aguas mieles
LUGAR : Distrito de Yantaló, Provincia Moyobamba
LUGAR DE ANALISIS : Laboratorio de Ingeniería Sanitaria – FECOL - UNSM
HORA : 09:30 am
MUESTREADOR : Delmester Chuquimbalqui Marina
FECHA DE EMISIÓN : 30 / 07 / 2023

Resultados de post tratamiento con electrodos de aluminio y hierro (Segunda repetición)

ITEM	PARÁMETRO	UNIDAD	FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS	TRATAMIENTO	RESULTADOS DE SEGUNDA REPETICIÓN				
					Al / Al	Fe / Fe			
01	SST	mg/L	13-07-2023	T1 (1,0A / 15')	464	656			
				T2 (1,0A / 30')	469	611			
				T3 (1,0A / 45')	486	640			
			20-07-2023	T4 (2,5A / 15')	237	580			
				T5 (2,5A / 30')	165	587			
				T6 (2,5A / 45')	100	647			
			27-07-2023	T7 (4,0A / 15')	81	661			
				T8 (4,0A / 30')	39	649			
				T9 (4,0A / 45')	31	652			
			02	DBO ₅	mg/L	13-07-2023	T1 (1,0A / 15')	314	365
							T2 (1,0A / 30')	302	351
							T3 (1,0A / 45')	300	333
20-07-2023	T4 (2,5A / 15')	259				329			
	T5 (2,5A / 30')	112				355			
	T6 (2,5A / 45')	99				402			
27-07-2023	T7 (4,0A / 15')	80				415			
	T8 (4,0A / 30')	79				455			
	T9 (4,0A / 45')	39				462			
03	DQO	mg/L				13-07-2023	T1 (1,0A / 15')	5 701	5 532
							T2 (1,0A / 30')	5 513	5 820
							T3 (1,0A / 45')	5 511	5 808
			20-07-2023	T4 (2,5A / 15')	4 124	5 908			
				T5 (2,5A / 30')	3 410	5 860			
				T6 (2,5A / 45')	2 734	6 013			
			27-07-2023	T7 (4,0A / 15')	1 452	6 215			
				T8 (4,0A / 30')	1 002	6 300			
				T9 (4,0A / 45')	889	6 744			
			04	Temperatura	°C	13-07-2023	T1 (1,0A / 15')	25,4	25,5
							T2 (1,0A / 30')	25,8	25,6
							T3 (1,0A / 45')	26,0	26,4
20-07-2023	T4 (2,5A / 15')	26,6				26,6			
	T5 (2,5A / 30')	26,7				27,0			
	T6 (2,5A / 45')	26,9				27,6			
27-07-2023	T7 (4,0A / 15')	26,7				28,6			
	T8 (4,0A / 30')	27,7				28,7			
	T9 (4,0A / 45')	28,9				29,3			
05	pH	Und. pH				13-07-2023	T1 (1,0A / 15')	5,60	5,10
							T2 (1,0A / 30')	6,10	6,46
							T3 (1,0A / 45')	6,20	6,37
			20-07-2023	T4 (2,5A / 15')	6,45	6,99			
				T5 (2,5A / 30')	6,65	6,84			
				T6 (2,5A / 45')	8,00	7,10			
			27-07-2023	T7 (4,0A / 15')	8,30	7,44			
				T8 (4,0A / 30')	8,10	8,27			
				T9 (4,0A / 45')	8,98	9,13			

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
 Docente guía y Especialista en Análisis y Calidad del Agua

ANEXO 12: Panel Fotográfico

Fotografía 1
Toma de muestra durante el lavado del café.



Fotografía 2
Puesta en marcha del reactor para el tratamiento por electrocoagulación.



Fotografía 3

Comparación de muestra inicial y muestra final, tratamiento con electrodos de aluminio a 4,0 amperios y 45 minutos.



Fotografía 4

Mediciones de los parámetros de investigación.

Electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica en las aguas residuales agrícolas del café, Moyobamba, San Martín, 2023

por Delmester Chuquimbalqui

Fecha de entrega: 01-ago-2024 01:53p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2425431768

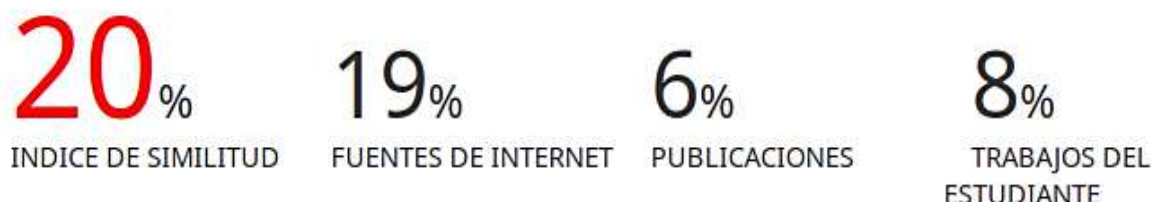
Nombre del archivo: ST._GEST.AMB.__Delmester_Chuquimbalqui_Marina_-_01.08.2024.docx (7.43M)

Total de palabras: 19489

Total de caracteres: 105951

Electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica en las aguas residuales agrícolas del café, Moyobamba, San Martín, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	www.grupo-epm.com Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.upeu.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1%