



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AMBIENTAL**

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA  
ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS  
DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE (AREQUIPA), 2023”**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

Presentado por:

Milagros Marisol Montes Matos (0000-0001-7495-7639)

Asesor:

Fernando Javier Chavez Zegarra (0000-0002-2606-6556)

Lima – Perú

2023

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Lima, 10 de mayo del 2024.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Maiquel López Silva
Miembro: Mg. Olga Vadimovna Kostenko
Miembro: Mg. Catherine Mariela Coronado León

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE (AREQUIPA), 2023**

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Milagros Marisol Montes Matos**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Mg. Fernando Javier Chávez Zegarra

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Milagros Marisol Montes Matos		Nota (en letras): 13 (Trece)	
Aprobado ( X )	Aprobado - Muy buena ( )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Dr. Maiquel López Silva**  
Presidente



**Mg. Olga Vadimovna Kostenko**  
Miembro 1



**Mg. Catherine Mariela Coronado León**  
Miembro 2



**Mg. Fernando Javier Chávez Zegarra**  
Asesor

**ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR**

**DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN<sup>1</sup>**

Lima, jueves 16 de mayo del 2024

Señor,  
Dr. Carlos Zavalaga Reyes

**Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación  
Universidad Científica del Sur  
Presente. –**

De nuestra consideración,

Yo: Milagros Marisol Montes Matos, egresada de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor de tesis Fernando Javier Chávez Zegarra, declaramos que este informe final de tesis de investigación titulado: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE (AREQUIPA), 2023", sustentado para obtener el título/grado de (nombre) es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos <sup>2</sup>, que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,

**Firma tesista  
DNI: 74499186**

**Firma del asesor de tesis  
DNI: 09611620**

<sup>1</sup> En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD

<sup>2</sup> Los documentos están en: <https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/>

## INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

**Título del documento evaluado.** Evaluación de la eficiencia de la electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales de la junta administradora de servicios de saneamiento bello horizonte (Arequipa), 2023

**Autores.** Milagros Marisol Montes Matos

**Mecanismo de revisión de originalidad.** Evaluación con Turnitin (ID 2414144382).

**Resultado de la evaluación.** 9%

**Revisado por.** Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

**Comentarios sobre la revisión.** Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.

### v.2.0. Evaluación de la eficiencia

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="https://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://cdn.www.gob.pe">cdn.www.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://repositorio.cientifica.edu.pe">repositorio.cientifica.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%



## DEDICATORIA

A mi madre: Yolanda Ignacia Matos De La Cruz. Has sido, eres y serás mi ejemplo de fortaleza femenina. Eres el ser humano que aún me enseña mediante acciones que todo sacrificio cuesta, pero vale la pena.

A mis sobrinos, Luana y Santiago, por ese espíritu de curiosidad que inspira mis días. Su amor genuino me brinda de coraje. Ambos son dos rayitos de luz en mi vida. Los amo muchísimo. Siempre, luchen por sus sueños. Siempre es hoy.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la JASS Bello Horizonte – Majes por depositar la confianza en mi persona y otorgarme el apoyo a través del respaldo económico en un momento muy decisivo para mi desarrollo profesional. Al ingeniero José Emiliano Soza Luna, por darme el soporte intelectual y emocional cuando más lo necesitaba. A mi asesor de tesis, el ingeniero Fernando Javier Chávez Zegarra, por compartirme su conocimiento, tiempo y atención durante todo el desarrollo de la investigación. Al ingeniero Warren Reátegui Romero por la generosidad de ofrecerme su sabiduría para obtener la claridad que requería en el análisis e interpretación de resultados. Gracias a todos ustedes por la maravillosa oportunidad que hicieron posible esta investigación.

## INDICE GENERAL

.....	2
<b>DEDICATORIA</b> .....	3
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
<b>INDICE GENERAL</b> .....	5
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	8
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	9
<b>RESUMEN</b> .....	10
<b>ABSTRACT</b> .....	11
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	12
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	15
<b>2.1. Aguas residuales</b> .....	15
2.1.1. Clasificación de las aguas residuales .....	15
2.1.2. Riesgo ambiental de las aguas residuales .....	16
2.1.3. Normativa ambiental vigente en aguas residuales .....	17
2.1.4. Fases de tratamiento en aguas residuales .....	18
2.1.5. Métodos de tratamientos en aguas residuales .....	19
<b>2.2. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la JASS Bello Horizonte</b> .....	20
2.2.1. Etapas del proceso de tratamiento en la PTAR .....	21
2.2.2. Problemática de la PTAR .....	23
<b>2.3. Electrocoagulación</b> .....	24
2.3.1. Mecanismos de reacción en el proceso de electrocoagulación .....	24
2.3.2. Reacciones químicas en el proceso de electrocoagulación .....	26
2.3.3. Factores que influyen en la eficiencia del proceso de electrocoagulación ...	27
2.3.4. Ventajas y desventajas del proceso de electrocoagulación .....	30
<b>III. OBJETIVOS/HIPÓTESIS</b> .....	31
<b>3.1. Objetivo general</b> .....	31
<b>3.2. Objetivos específicos</b> .....	31
<b>IV. METODOLOGÍA</b> .....	32
<b>4.1. Área de estudio</b> .....	32

<b>4.2. Construcción del sistema de electrocoagulación</b> .....	33
4.2.1. Celda de electrocoagulación .....	33
4.2.2. Electroodos .....	34
4.2.3. Suministro de energía y sistema eléctrico .....	34
4.2.4. Funcionamiento del sistema de electrocoagulación .....	35
<b>4.3. Diseño de la investigación</b> .....	36
4.3.1. Diseño experimental .....	36
4.3.2. Técnica de recolección y preservación de la muestra .....	37
4.3.3. Tamaño del tratamiento .....	38
4.3.4. Tratamiento de electrocoagulación .....	39
<b>4.4. Medición de parámetros</b> .....	41
4.4.1. Parámetros de campo .....	41
4.4.2. Parámetros de laboratorio .....	41
<b>4.5. Eficiencia en el tratamiento de EC</b> .....	43
4.5.1. Eficiencia en la reducción de la DQO .....	43
4.5.2. Eficiencia Energética .....	43
<b>4.6. Análisis de datos</b> .....	44
<b>V.RESULTADOS</b> .....	45
<b>5.1. Caracterización fisicoquímica, microbiológica y parasitológica</b> .....	45
<b>5.2. Reducción de la DQO</b> .....	46
5.2.1. Tipo de electrodo .....	47
5.2.2. Voltaje aplicado .....	47
5.2.3. Tiempo de tratamiento .....	47
5.2.4. Eficiencia en la reducción de la DQO .....	48
5.2.5. Potencial de hidrógeno .....	50
5.2.6. Temperatura .....	51
5.2.7. Conductividad eléctrica .....	52
<b>5.3. Estadística inferencial</b> .....	53
5.3.1. Prueba estadística de normalidad de residuales .....	53
5.3.2. Prueba de hipótesis estadística en el proceso de electrocoagulación .....	54
5.3.3. Estadístico de bondad en el proceso de electrocoagulación .....	57
5.3.4. Ecuación de regresión .....	58

5.3.5. <i>Interacción en el proceso de electrocoagulación</i> .....	60
<b>5.4. Eficiencia energética</b> .....	61
<b>5.5. Comparación de los resultados</b> .....	62
<b>VI. DISCUSIÓN</b> .....	64
<b>VII. CONCLUSIONES</b> .....	77
<b>VIII.RECOMENDACIONES</b> .....	78
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	79
<b>X. ABREVIATURAS</b> .....	89
<b>XI. ANEXOS</b> .....	91

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de laguna de estabilización facultativa.....	22
Figura 2: Etapas del diseño de la PTAR Bello Horizonte.....	23
Figura 3: Mecanismos de reacción en el proceso de electrocoagulación.....	26
Figura 4: Imagen satelital de la PTAR de la JASS Bello Horizonte - Majes.....	32
Figura 5: Diagrama del diseño de la celda de electrocoagulación.....	33
Figura 6: Instalación de sistema de electrocoagulación.....	35
Figura 7: Diagrama del diseño experimental de la investigación.....	36
Figura 8: Toma de muestras en el Punto de Captación de la PTAR. ....	37
Figura 9: Diagrama del tamaño del tratamiento.....	39
Figura 10: Concentración de DQO vs. Tratamientos.....	46
Figura 11: Potencial de Hidrógeno vs. tratamientos.....	50
Figura 12: Temperatura vs. tratamientos.....	51
Figura 13: Conductividad eléctrica vs. tratamientos.....	52
Figura 14: Gráfica de probabilidad de residuos. ....	54
Figura 15: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	56
Figura 16: Gráfica de interacción de efectos principales en la reducción de la DQO. ...	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de las aguas residuales según su clasificación. ....	15
Tabla 2: Riesgo ambiental de los contaminantes presentes en aguas residuales. ....	16
Tabla 3: Descripción de las fases de tratamiento aplicadas en aguas residuales. ....	18
Tabla 4: Descripción de métodos de tratamiento aplicados en aguas residuales. ....	19
Tabla 5: Proceso de tratamiento en la PTAR en función al contaminante. ....	20
Tabla 6: Resultados del informe de análisis de muestra de agua residual vs. LMP. ....	23
Tabla 7: Descripción de los mecanismos de reacción en el proceso de EC. ....	25
Tabla 8: Reacciones químicas a nivel de electrodos dentro el proceso de EC. ....	27
Tabla 9: Ventajas y desventajas del proceso de electrocoagulación. ....	30
Tabla 10: Especificaciones de los tratamientos. ....	40
Tabla 11: Metodología aplicada en la medición de parámetros de laboratorio. ....	42
Tabla 12: Resultados pretratamiento frente a estándares ambientales. ....	45
Tabla 13: Eficiencia de la EC como tratamiento para la reducción de la DQO. ....	48
Tabla 14: Estadística descriptiva de los datos obtenidos de los tratamientos. ....	49
Tabla 15: Variación de los parámetros de campo bajo diferentes condiciones. ....	49
Tabla 16: Análisis de varianza (ANOVA). ....	55
Tabla 17: Resumen de los estadísticos de bondad. ....	57
Tabla 18: Densidad eléctrica ( $A/m^2$ ) registrada en cada tratamiento de EC. ....	61
Tabla 19: Energía eléctrica consumida por volumen tratado ( $kWh/m^3$ ). ....	61
Tabla 20: Resultados pre y post tratamiento frente a estándares ambientales. ....	63

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Evidencia de la aprobación del proyecto de tesis. ....	91
Anexo 2: Solicitud de colaboración para realizar el trabajo de investigación en la JASS Bello Horizonte. ....	92
Anexo 3: Carta de aceptación de colaboración con la JASS Bello Horizonte. ....	93
Anexo 4: Cadenas de custodia de informes de ensayo de laboratorio. ....	94
Anexo 5: Informes de Ensayo de Laboratorio. ....	95
Anexo 6: Adquisición del medidor combinado HI98129. ....	108
Anexo 7: Manual de instrucciones del medidor combinado HI98129. ....	108
Anexo 8: Constancia de disposición final de lodo residual. ....	109
Anexo 9: Evidencias fotográficas del desarrollo de la parte experimental. ....	109
Anexo 10: Muestras de agua residual pre y post tratamiento de EC. ....	111

## RESUMEN

El estudio se enfoca en abordar la contaminación ambiental causada por el inadecuado manejo de aguas residuales, destacando la creciente necesidad de soluciones tecnológicas como la electrocoagulación. El objetivo principal fue evaluar la eficiencia de este método en la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas residuales de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento “Bello Horizonte”, provenientes de una población rural en Arequipa. La metodología de la investigación se basó en un diseño factorial que incluyó ocho tratamientos con tres réplicas cada uno, variando factores como el tipo de electrodo, voltaje aplicado y tiempo de tratamiento. Se identificaron valores óptimos de parámetros de campo, como el potencial de hidrógeno (8.41), temperatura (24.2 °C) y conductividad eléctrica (1674 uS/cm), para lograr la mayor eficiencia. El tratamiento más efectivo (T5) utilizó electrodo de hierro, 5 voltios y 15 minutos de tratamiento, alcanzando eficiencias del 71.77% en DQO, 90.75% en demanda bioquímica de oxígeno, 83.33 % en sólidos suspendidos totales, 70.45% en aceites y grasas, 99.99% en coliformes termotolerantes y *E. coli*. Estos resultados se compararon con estándares de calidad ambiental. En términos de eficiencia energética, el tratamiento óptimo utilizó 5 V, con un amperaje de 0.98 A, la densidad de corriente fue 17.01 A/m<sup>2</sup> y la energía eléctrica consumida fue de 1.63 kWh para un volumen de 0.0075 m<sup>3</sup>. En resumen, la electrocoagulación se revela como un método práctico y prometedor para reducir eficazmente los parámetros de calidad en aguas residuales.

**Palabras clave:** Tratamiento de efluentes, método electroquímico, eficiencia de reducción, DQO.



## ABSTRACT

The study focuses on addressing environmental pollution caused by inadequate wastewater management, highlighting the growing need for technological solutions such as electrocoagulation. The main objective was to evaluate the efficiency of this method in reducing the chemical oxygen demand (COD) in wastewater from Administrative Board of Sanitation Services “Bello Horizonte”, coming from a rural population in Arequipa. The research methodology was based on a factorial design that included eight treatments with three replicates each, varying factors such as the type of electrode, applied voltage and treatment time. Optimal values of field parameters, such as hydrogen potential (8.41), temperature (24.2 °C), and electrical conductivity (1674 uS/cm), were identified to achieve the highest efficiency. The most effective treatment (T5) used iron electrode, 5 volts and 15 minutes of treatment, reaching efficiencies of 71.77% in COD, 90.75% in biochemical oxygen demand, 83.33% in total suspended solids, 70.45% in oils and fats, 99.99% in thermotolerant coliforms and E. coli. These results were compared with environmental quality standards. In terms of energy efficiency, the optimal treatment used 5 V, with an amperage of 0.98 A, the current density was 17.01 A/m<sup>2</sup> and the electrical energy consumed was 1.63 kWh for a volume of 0.0075 m<sup>3</sup>. In summary, electrocoagulation is revealed as a practical and promising method to effectively reduce quality parameters in wastewater.

**Keywords:** Effluent treatment, electrochemical method, reduction efficiency, COD.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es una de las necesidades primarias para asegurar la vida en el planeta. Aunque el 70 % de la superficie terrestre está cubierta por agua, solo el 2.5 % de esta es agua dulce, y apenas el 1 % de esa cantidad es accesible, siendo compartida por 7,600 millones de personas en todo el mundo (Naje et al., 2016). La población mundial superará los 9 mil millones para el año 2045 según las previsiones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Boinpally et al., 2023). En ese sentido, el crecimiento urbano, el incremento demográfico y el desarrollo económico son factores significativos que generan volúmenes cada vez mayores de efluentes (Qadir et al., 2020).

Las aguas residuales son la mayor fuente de contaminación ambiental que altera las condiciones ambientales físicas, químicas y biológicas del entorno cuando se descargan directamente, sin ningún tratamiento (Koyuncu & Arıman, 2020). Anualmente se generan 380 billones de m<sup>3</sup> de efluentes a nivel mundial. Además, en América Latina y el Caribe se producen alrededor de 30 billones de m<sup>3</sup> de efluentes al año (Qadir et al., 2020). Esta situación representa un desafío, sobretodo en países en vías de desarrollo, debido a las deficiencias en el suministro de agua, saneamiento e higiene (Khan et al., 2019).

De acuerdo con la producción mundial de aguas residuales, se estima que, en promedio, el 63 % se recolecta, el 52 % se somete a tratamiento y, en consecuencia, el 48% se liberan al medio ambiente sin tratamiento. Aunque ésta última cifra es menor en comparación con las estimaciones realizadas años anteriores (80 %) no deja de ser un riesgo ambiental y una problemática que atender (Jones et al., 2021), puesto que se espera que la producción de aguas residuales a nivel mundial aumente en 24 % para el 2030 y en un 51 % para el 2050 con respecto al nivel actual (Qadir et al., 2020).

En el Perú, el alcance de tratamiento de aguas residuales se sitúa entre el 50 % - 75 % y el porcentaje de agua reusada oscila entre 0 % – 5 % (Jones et al., 2021). Como resultado, se estima que el alcance del procesamiento de efluentes es del 71 % en áreas urbanas y del 68.1 % en zonas rurales (SUNASS, 2022). En el 2021, se reportó una disminución del 5.5 % en las descargas de efluentes domésticos sin tratar en comparación con el año anterior. Es decir, las descargas de efluentes domésticos sin tratar se redujeron de 270 millones de m<sup>3</sup> a 255 millones de m<sup>3</sup> del 2020 al 2021 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022).

Del mismo modo, el volumen de efluentes domésticos sin tratar descargados en la región Arequipa disminuyó de 37,994,489 m<sup>3</sup> en 2015 a 3,627,303 m<sup>3</sup> en 2021 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022). En otras palabras, el volumen de efluentes domésticos sin tratar en Arequipa se redujo en 90.45 %. Aquellas situaciones se originan a partir de la puesta en funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) La Chira en Lima en 2016 y, de manera similar, de la PTAR La Enlozada en Arequipa (SUNASS, 2022).

Bajo esa premisa, las aguas residuales deben ser tratadas, buscando garantizar la máxima eficiencia para disminuir y/o erradicar los contaminantes para su aprovechamiento, promover la sustentabilidad y asegurar la salud pública (Larios Meoño et al., 2015). La Política Nacional de Saneamiento busca principalmente “Ampliar la cobertura, mejorar la calidad y asegurar la sostenibilidad de los servicios de saneamiento, disminuir la brecha de infraestructura en el sector y garantizar el acceso a estos servicios, especialmente para las comunidades rurales y las personas de bajos recursos” (SUNASS, 2022).

La PTAR de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) “Bello Horizonte” ubicada en Arequipa aplica un tratamiento biofísico, aunque el valor requerido (200 mg/L) para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) sobrepasa en 151 mg/L los Límites Máximos Permisibles (LMP) de acuerdo con el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM. Sin embargo, se cuenta con el compromiso de mejorar el proceso de tratamiento en virtud del cumplimiento normativo ambiental vigente y el interés por el reúso de aguas residuales tratadas para la forestación de especies nativas.

La electrocoagulación es uno método alternativo emergente que está adquiriendo mayor relevancia aplicado al manejo de efluentes de múltiples orígenes (Anwer & Abdulmajeed, 2020). Es considerada una “tecnología verde” (Kuokkanen, 2016), debido a que evita el uso de productos químicos (Ariffin et al., 2017) y genera poca cantidad de lodos en comparación con otros métodos de tratamientos (Nagarajappa et al., 2015). Asimismo, presenta una alta eficiencia de reducción de contaminantes (como la DQO), eficiencia energética y rentabilidad (Papadopoulos et al., 2019).

En ese sentido, se ha empleado en diferentes contextos reales (Bukhari, 2008; Tanatt et al., 2018; Tir & Moulai-mostefa, 2008) debido a su amplia aplicabilidad (Zajda & Aleksander-Kwaterczak, 2019), especialmente en las zonas vulnerables donde faltan y/o no existan instalaciones adecuadas y suficientes (Khan et al., 2019). Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio es evaluar la eficiencia de la electrocoagulación como tratamiento para la reducción de la DQO presente en aguas residuales de la JASS “Bello Horizonte” (Arequipa), a fin de analizar su utilidad en la irrigación de plantas y, en consecuencia, preservar la fuente de agua superficial.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales (en adelante, “AR”) se generan mediante actividades antropogénicas que conducen a la alteración de la composición del agua dulce. Aunque en ocasiones, las características de las AR pueden ser semejantes; mayormente se diferencian entre ellas (Aguilar, 2015a).

Las AR están conformadas por 99.9 % en estado líquido y 0.1 % en estado sólido. Están compuestas por sustancias químicas, microorganismos, partículas materiales, y residuos líquidos y sólidos que, si no se tratan previamente las clasifican como no aptas para un uso posterior (Velásquez León, 2022).

#### *2.1.1. Clasificación de las aguas residuales*

Las AR se pueden clasificar de acuerdo a la actividad que se realice mediante el uso del recurso hídrico:

Tabla 1: Descripción de las aguas residuales según su clasificación.

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
Aguas residuales domésticas	Originadas por acciones cotidianas domésticas que modifican la estructura original del agua a través de la introducción de residuos orgánicos y químicos.
Aguas residuales industriales	Su composición depende de los procesos y actividades del sector específico en el que se produzcan.
Aguas residuales municipales	Originarios de establecimientos comerciales, gobiernos locales, espacios abiertos y plazas de mercado.
Aguas residuales por infiltraciones y drenaje pluvial	Se considera las que contribuyen al flujo de aguas residuales a través de los sistemas de alcantarillado municipales.

Fuente: (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

### 2.1.2. Riesgo ambiental de las aguas residuales

Las AR contienen contaminantes; para identificarlos, se utilizan métodos de análisis cuantitativos que determinan su composición química, y análisis cualitativos que revelan sus características físicas y biológicas (Aguilar, 2015a). A continuación, se menciona la trascendencia de los contaminantes en el ambiente.

Tabla 2: Riesgo ambiental de los contaminantes presentes en aguas residuales.

<b>Contaminantes</b>	<b>Riesgo Ambiental</b>
Sólidos en suspensión	La presencia de sólidos en suspensión puede ocasionar la formación de lodos y condiciones donde el nivel de oxígeno disuelto es insuficiente, provocando la alteración de procesos biogeoquímicos y proliferación de organismos anaerobios.
Materia orgánica biodegradable	Por lo general, se encuentran en altas concentraciones en efluentes domésticos. La descomposición de residuos orgánicos fácilmente degradables consume oxígeno disuelto en el agua, y se mide en función de la concentración de los parámetros DBO <sub>5</sub> y DQO.
Patógenos	Están presentes a un alto nivel en AR domésticas. Los organismos patógenos presentes en aguas residuales pueden transmitir enfermedades contagiosas. El principal parámetro son los coliformes.
Nutrientes	Los parámetros representativos son el nitrógeno y fósforo, los cuales se encuentran en alta concentración, conllevando al crecimiento excesivo de algas. Cuando estos nutrientes se vierten en el entorno acuático, pueden provocar la contaminación de AR subterráneas.
Materia orgánica no biodegradable	Los principales parámetros son los pesticidas, agentes tensoactivos, entre otros. Están presentes en una baja concentración en AR domésticas, pudiendo provocar toxicidad, reducción de transferencia de oxígeno y malos olores.
Metales pesados	Pueden estar presentes en bajas concentraciones en AR domésticas, pudiendo provocar inhibición del tratamiento biológico y contaminación de aguas subterráneas.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los parámetros representativos incluyen la concentración de la materia disuelta y la capacidad de conducción eléctrica, los cuales se encuentran en un nivel medio en efluentes domésticos. Una alta concentración de salinidad es dañina para las plantas, en caso de irrigación. A su vez, genera problemas de permeabilidad en el suelo debido a la presencia del sodio.

Fuente: (Von Sperling & Chernicharo, 2005).

### *2.1.3. Normativa ambiental vigente en aguas residuales*

La normativa ambiental vigente que regula las infraestructuras y procesos que permiten controlar y monitorear las ARD o municipales está regido por los LMP, de acuerdo con el D.S N°003-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles Para Los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, 2010). Cabe resaltar que es relevante supervisar también aquellas AR que ingresan, al igual que las que se descargan, para evaluar la eficiencia del procesamiento (Iriarte, 2019).

De igual modo, para realizar la vigilancia y el análisis del impacto en cuerpos de agua en la superficie, es necesario cumplir con el ECA-agua. Los valores máximos establecidos pueden variar según la clasificación y el uso previsto del cuerpo de agua (Velásquez León, 2022). Dado el interés en reutilizar los efluentes tratados para el riego de plantas, se ha tenido en cuenta la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, subcategoría D1: Riego de vegetales (Agua para riego no restringido), según el D.S N°004-2017-MINAM (Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Establecen Disposiciones Complementarias, 2017).

Tal como se ha mencionado en la problemática de la investigación, el parámetro principal de estudio es laDQO, ya que sobrepasa los LMP, según resultados del último informe de análisis de muestra de agua residual doméstica realizado por la JASS Bello Horizonte en el 2022 (ver Tabla 6). Por ello, se ha considerado un aspecto primordial en el análisis de la calidad del agua residual y la evaluación de rendimiento en el tratamiento de electrocoagulación (Pattanayak et al., 2020).

La DQO indica la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación de compuestos orgánicos, tanto biodegradables como no biodegradables (Aguilar, 2015a) que pueden encontrarse en cuerpos de agua tanto disueltas o en suspensión (Cazaudehore et al., 2019). La DQO proporciona información sobre la Carga Orgánica Total (COT), se correlaciona con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), el cual requiere menos tiempo de análisis como parte de su metodología (Boyles, 1997).

#### 2.1.4. Fases de tratamiento en aguas residuales

Es esencial evaluar la sostenibilidad ambiental del proceso de tratamiento (Zhang & Ma, 2020). Los tipos de tratamientos van a depender del grado de contaminación detectado. A continuación, se clasifica los principales dentro del proceso de tratamiento en aguas residuales.

Tabla 3: Descripción de las fases de tratamiento aplicadas en aguas residuales.

Fases	Descripción
Preliminar	Identificada como una fase destinada a la preparación y uniformización de los flujos de aguas residuales. Su propósito es realizar ajustes en los parámetros, eliminar partículas gruesas y de gran tamaño, y supervisar el ingreso de aguas residuales para prevenir posibles impactos en los tratamientos subsiguientes.
Primaria	En esta fase, se emplean métodos físicos con el fin de eliminar partículas mediante sedimentación, abordando tanto las partículas en suspensión como la sustancia orgánica, esta última tratada más detalladamente en etapas posteriores.
Secundaria	Se implementan acciones para regular las características químicas y microbiológicas con el objetivo de reutilizarlas o descargarlas cumpliendo estándares aplicables (Velásquez León, 2022).
Terciaria o Avanzada	Estos sistemas altamente especializados se centran en la eliminar contaminantes específicos o desinfectar el agua, abordando desafíos como elementos metálicos y materia disuelta. Son empleados cuando los manejos secundarios no alcanzan los estándares establecidos (Velásquez León, 2022).

Fuente: (Darban et al., 2020).



Es fundamental destacar que existen aguas residuales que pueden ser descontaminadas mediante la implementación de tratamiento primarios como secundarios. En este contexto, la decisión sobre el nivel de tratamiento a considerar en el diseño de una PTAR y la selección del método de tratamiento están estrechamente vinculadas a la composición específica del agua residual que se va a tratar (Velásquez León, 2022).

*2.1.5. Métodos de tratamientos en aguas residuales*

De acuerdo con las características y requerimientos del efluente se cuentan con métodos de tratamientos específicos (físicos, químicos, biológicos) enfocados a la reducción de contaminantes presentes en aguas residuales (Moussa et al., 2017). A continuación, se describe los métodos al respecto:

Tabla 4: Descripción de métodos de tratamiento aplicados en aguas residuales.

Métodos	Descripción
Físicos	Elimina impurezas del agua mediante procesos de separación, sedimentación y suspensión, sin la necesidad de añadir productos químicos que puedan cambiar la composición original del agua.
Químicos	Implica el uso de sustancias químicas para desequilibrar los elementos contaminantes y facilitar así su eliminación de manera más efectiva (Velásquez León, 2022).
Biológicos	Se fundamenta en la inoculación de microorganismos, ya sean anaeróbicos o aeróbicos, que descompongan la materia orgánica para utilizarla como fuente de alimento. La efectividad del proceso depende de garantizar condiciones ideales para el crecimiento y reproducción óptimos de estos microorganismos.
Combinados	Los métodos de tratamiento combinado son ampliamente utilizados, y dentro de esta categoría se encuentran los enfoques fisicoquímicos, bioquímicos y biofísicos. La elección del método se relaciona con las sustancias nocivas que se pretenden remover e y de las condiciones del agua que se este tratando (Velásquez León, 2022).

Fuente: (Moussa et al., 2017)

## 2.2. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la JASS Bello Horizonte

La JASS Bello Horizonte fue fundada y opera desde el 15 de setiembre de 2015, con el propósito de prestar servicios de saneamiento (agua potable y alcantarillado). Su objetivo es cubrir las necesidades de salubridad en los centros poblados del distrito de Majes (Junta Administradora de Servicios de Saneamiento, 2015). El abastecimiento de agua cruda proviene de la represa Condorama (SUNASS, 2019).

La PTAR capta las aguas residuales provienen de sectores rurales y hospital de Majes (SUNASS, 2019). El diseño de la PTAR abarca etapas conforme al tipo de tratamiento preliminar, primario y secundario, antes de su vertimiento (Ver Figura 3). Se lleva a cabo un tipo de tratamiento biofísico, el cual parte desde la separación de sólidos hasta la descomposición de materia orgánica mediante lagunas facultativas (Ver Tabla 5).

LA PTAR cuenta con cuatro lagunas facultativas (Ver Figura 1). Cada una tiene una dimensión aproximada de 90 m x 40 m x 1.5 m. El flujo de ingreso al punto de captación de la PTAR es de 6.5 litros/segundo. En ese sentido, la capacidad es limitada. La falta de implementación de métodos acorde a las necesidades representa un riesgo ambiental como ya se ha identificado y evaluado en párrafos anteriores.

Tabla 5: Proceso de tratamiento en la PTAR en función al contaminante.

<b>Fases</b>	<b>Métodos</b>	<b>Operación Unitaria</b>	<b>Contaminante</b>
Preliminar	Físico	Cámara de rejas	Sólidos de mediano a gran tamaño
Primario	Físico	Desarenador	Arena fina, arena gruesa y partículas sedimentables.
Secundario	Biológico	Laguna Facultativa	Materia orgánica

La JASS Bello Horizonte realiza una evaluación anual de la calidad de agua residual. Mientras que la Municipalidad Distrital de Majes y la SUNASS garantizan las condiciones de calidad en los servicios de saneamiento (SUNASS, 2019). Cabe mencionar que hay interés de parte de la JASS por el reúso y/o recirculación de las AR, ya que se reconocen como actividades operativas estratégicas en el marco de economía circular (Á. Arango Ruiz, 2005).

### *2.2.1. Etapas del proceso de tratamiento en la PTAR*

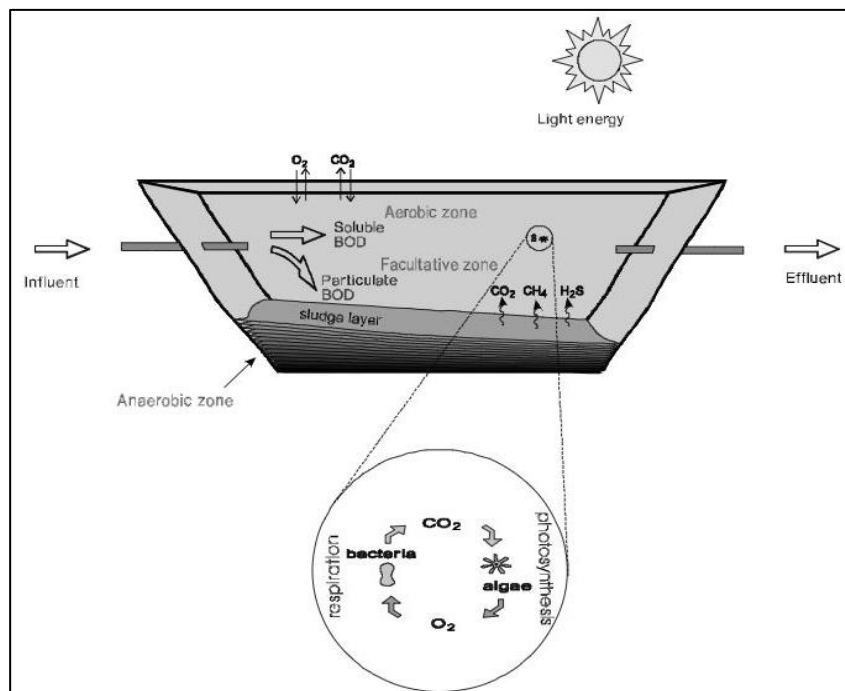
La PTAR realiza un tratamiento físico y biológico (lagunas facultativas). En entornos rurales, esta opción es preferida debido a que las condiciones de operación y mantenimiento son manejables, adaptándose a la realidad local (EPA, 2002). El tratamiento implica el almacenamiento de aguas residuales domésticas durante un tiempo razonable para que se produzcan procesos naturales de degradación de la materia orgánica mediante la acción de los microorganismos. A continuación, se describe las etapas que conforman el diseño de la PTAR de la JASS Bello Horizonte:

- a. **Captación:** Ingresan los efluentes domésticos provenientes de los centros poblados (B1, B2, B3, C1, C2, C3) y, a su vez, del efluentes del Hospital de Majes, con un caudal de ingreso de 6.5 litros/segundos (SUNASS, 2019).
- b. **Cámara de rejillas:** Es un conjunto de rejillas. Su función principal es retener y eliminar sólidos de mediano a grande tamaño que pueden estar presentes en los volúmenes de agua residual (Mackenzie, 2019).
- c. **Desarenador:** Se cuenta con un desarenador convencional de arrastre hidráulico. Su función principal es separar la arena y otros sedimentos más

pesados. Trabaja como un filtro natural que ayuda a mantener el sistema de tratamiento eficiente (Von Sperling & Chernicharo, 2005).

- d. Lagunas facultativas** Las lagunas facultativas desarrollan naturalmente tres capas distintas con una concentración de oxígeno que disminuye con la profundidad. La mezcla de aire asistida por el viento en la superficie, además de la producción de oxígeno de los microorganismos, generan una zona aeróbica, zona facultativa y una zona anaeróbica, generándose gases como  $CO_2$ ,  $CH_4$ , entre otros (Sperling, 2007).

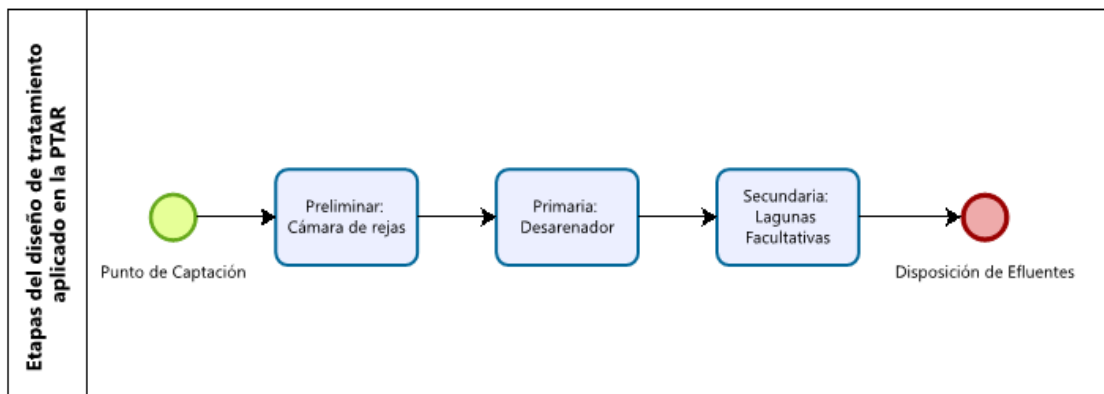
Figura 1: Esquema de laguna de estabilización facultativa.



Fuente: (Sperling, 2007).

Por lo tanto, las principales ventajas y desventajas de las lagunas facultativas están asociadas al predominio de las condiciones ambientales. Sin embargo, la capacidad restaurativa de la naturaleza requiere de tiempo para que las reacciones se completen (Sperling, 2007).

Figura 2: Etapas del diseño de la PTAR Bello Horizonte.



Powered by  
bizagi  
**Modeler**

Fuente: (Bizagi Modeler, 2023).

### 2.2.2. Problemática de la PTAR

De acuerdo con el último análisis de laboratorio, el valor de la DQO resultó por encima del valor que se estipula en los LMP (Límites Máximos Permisibles Para Los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, 2010). En efecto, se evidencia el incumplimiento en cuanto a la concentración de la DQO en comparación con la normativa ambiental vigente.

Tabla 6: Resultados del informe de análisis de muestra de agua residual vs. LMP.

Parámetros	Resultado	LMP	Unidad
Aceites y Grasas	2.4	20	mg/L
Coliformes Termotolerantes	7900	10,000	NMP/100mL
Demanda Bioquímica de Oxígeno	96	100	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	351	200	mg/L
Potencial de Hidrógeno	8.5	6.5 - 8.5	Unidad de pH
Sólidos Suspendidos Totales	83	150	mg/L
Temperatura	23.3	<35	°C

Fuente: (Bhios Laboratorios, 2022).

### 2.3. Electrocoagulación

La electrocoagulación (en adelante, “EC”), es un proceso electroquímico en el cual se emplea corriente eléctrica para desestabilizar las cargas de contaminantes. Este desequilibrio provoca la disolución del electrodo y la formación de flóculos que atrapan los contaminantes, facilitando su separación de la mezcla electrolítica (Sahu et al., 2014; Tahreen et al., 2020). Este método se emplea extensamente en el manejo de aguas procedentes de diversas fuentes, abordando contaminantes orgánicos, inorgánicos y patógenos (Moussa et al., 2017).

La aplicación de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales domésticas ha ido en aumento (Lacasa et al., 2019; Rodríguez et al., 2007). La literatura científica abarca estudios sobre la aplicación de la EC en el procesamiento de efluentes, tanto entorno de laboratorio como en pruebas piloto. En ese sentido, es importante examinar la influencia de las variables de operación para evaluar la viabilidad y eficiencia del proceso en las PTAR’s (Koyuncu & Arıman, 2020).

#### *2.3.1. Mecanismos de reacción en el proceso de electrocoagulación*

El principio básico de la EC proviene de la “electrólisis”. La electrólisis se basa en separar sustancias mediante el uso de electricidad. Michael Faraday formuló por primera vez el principio de la electrólisis en 1820 (P. Chen et al., 2005). En ese sentido, el proceso consta de una corriente continua que fluye a través de un electrolito, dando lugar a reacciones químicas en los electrodos y al sistema en general (An et al., 2016), tal como se muestra en la Figura 3.

El proceso de EC abarca varios mecanismos que funcionan sinérgicamente (Hakizimana et al., 2017). Ésta técnica aprovecha las ventajas proporcionadas por la coagulación, flotación y la electroquímica (Moussa et al., 2017). Por un lado, se reconoce tres mecanismos principales: Electrooxidación, Electrocoagulación y Electroflotación (Lin et al., 1998). Por otro lado, desde la generación y formación de flóculos, el proceso de electrocoagulación se puede clasificar mediante las siguientes etapas sucesivas:

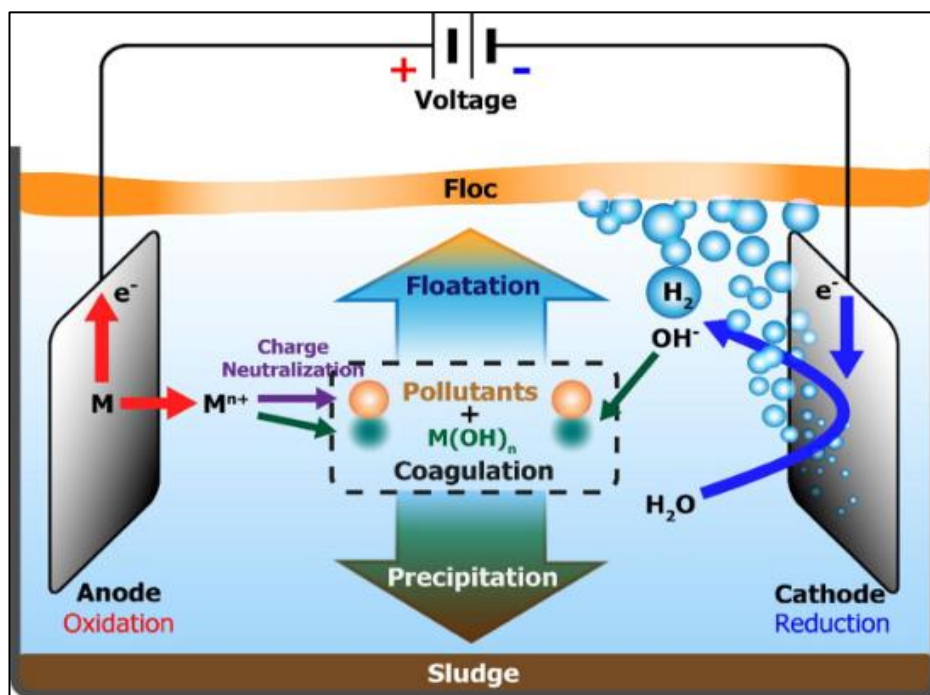
Tabla 7: Descripción de los mecanismos de reacción en el proceso de EC.

Mecanismos de reacción	Etapas	Descripción
Electrooxidación	Generación electroquímica de coagulantes y OH-	Se produce la oxidación del ánodo metálico, dando lugar a la formación de cationes metálicos, y simultáneamente, se oxida el agua para generar oxígeno gaseoso (O <sub>2</sub> ) en la solución de electrolitos. En el cátodo, el agua experimenta una reducción que resulta en la producción de gas hidrógeno (H <sub>2</sub> ) y aniones hidroxilo.
Electrocoagulación	Generación y transferencia de masa de los flóculos	Los cationes metálicos liberados en las reacciones anódicas reaccionan con las especies de hidroxilo generadas en el cátodo, formando hidróxidos metálicos. Este proceso conduce a la coagulación. Posteriormente, como resultado se forma una capa de lodo precipitado que captura y envuelve las partículas disueltas o suspendidas.
Electroflotación	Eliminación de contaminantes mediante adsorción de flóculos	Las pequeñas burbujas de H <sub>2</sub> generadas por el cátodo se adhieren a la superficie de los flóculos y contaminantes electrogenerados, provocándolos así a ascender a la superficie del agua residual, donde finalmente son removidos. Los mecanismos de eliminación varían según el tipo de contaminante presente.

Fuente: (Tegladza et al., 2021).

Es importante destacar que existe una variedad de perspectivas en la literatura respecto a los mecanismos de reacción fundamentales. Por lo tanto, se requiere un enfoque estructurado para comprender la electrocoagulación y sus parámetros de control relacionados con el rendimiento del procedimiento. Esto permitirá un pronóstico a priori del tratamiento aplicado a los tipos de contaminantes que se pretenden eliminar (Holt et al., 2005).

Figura 3: Mecanismos de reacción en el proceso de electrocoagulación.



Fuente: (An et al., 2016).

### 2.3.2. Reacciones químicas en el proceso de electrocoagulación

Los procesos químicos principales incluyen la disolución de cationes metálicos en el ánodo, junto con la generación de iones hidroxilo y gas hidrógeno en el cátodo (An et al., 2016). Los iones liberados ayudan a neutralizar las cargas de las partículas, dando inicio al proceso de coagulación y eliminación de contaminantes, ya sea por precipitación o fusión de materiales coloidales por flotación (Sahu et al., 2014).



Tabla 8: Reacciones químicas a nivel de electrodos dentro el proceso de EC.

Nivel	Reacciones químicas
Ánodo	$M_{(s)} \rightarrow M_{(aq)}^{n+} + ne^{-} \quad (1)$ $2 H_2O_{(l)} \rightarrow 4H^{+}_{(aq)} + O_{2(g)} + 4e^{-} \quad (2)$
Cátodo	$M_{(aq)}^{n+} + ne^{-} \rightarrow M_{(s)} \quad (3)$ $2H_2O_{(l)} + 2e^{-} \rightarrow H_2 + 2OH^{-}_{(aq)} \quad (4)$

Fuente: (Islam & Didar, 2017).

Las interacciones en los electrodos de hierro ( $Fe^{+2}$ ) y de aluminio ( $Al^{+3}$ ) generan y emiten iones positivos ( $e^{+}$ ) y también negativos ( $e^{-}$ ). Mientras que en el ánodo libera los iones metálicos y se descompone con el tiempo, el cátodo no se desintegra y se mantiene intacto (Ezechi et al., 2020). Los iones metálicos formarán hidróxidos metálicos durante las reacciones electroquímicas (Velásquez León, 2022). Estos hidróxidos metálicos serán los agentes coagulantes con alta afinidad por los contaminantes que posteriormente terminarán siendo removidos (Tahreen et al., 2020).

### 2.3.3. Factores que influyen en la eficiencia del proceso de electrocoagulación

#### a) Efecto del tipo de electrodo

La elección del material del electrodo es uno de los pasos principales para obtener la eficiencia del proceso EC (Kotz et al., 1991). Se han utilizado diferentes materiales, que incluyen Al, Fe, Ag, Zn, entre otros (Mickley, 2009). El hierro y el aluminio son los más usados debido a su fácil disponibilidad, bajo precio monetario y mejor disolución. Se prefiere el Fe porque es relativamente más barato (Shen et al., 2003). Sin embargo, se ha identificado que los electrodos de aluminio muestran una mayor eficiencia en comparación con los electrodos de hierro en la reducción de la concentración de aceite y grasas (Boinpally et al., 2023).

#### b) Efecto de la distancia entre electrodos

La eficiencia del proceso disminuye drásticamente cuando hay un espacio innecesario entre los electrodos (Hashim et al., 2020). El espacio entre electrodos se llena parcialmente con gases durante la electrólisis (Bayramoglu et al., 2007). Las tasas de eliminación más altas se observaron en las proximidades (Nigri et al., 2020). Además, aumentar la distancia entre electrodos aumentó significativamente el consumo de energía (Hashim et al., 2020), el cual puede tener un impacto significativo en el costo total del tratamiento (Ghosh et al., 2008).

#### c) Efecto de la disposición de los electrodos

La disposición de los electrodos no es un detalle menor en la eficiencia del tratamiento. Los sistemas de electrocoagulación se componen típicamente de electrodos en forma de placas metálicas y el agua fluye a través del espacio entre estas placas, tomando una trayectoria vertical u horizontal (G. Chen, 2004). Cabe señalar que los electrodos pueden ser de tipo monopolar o bipolar (Islam & Didar, 2017).

#### d) Efecto del pH

El pH de la solución es otro factor que juega un papel vital en los procesos electroquímicos (G. Chen et al., 2000). El pH inicial es un parámetro clave cuando se selecciona la coagulación química o la EC para el tratamiento del agua (Shafaei et al., 2011). Tiene un efecto sobre la conductividad eléctrica de la solución, la disolución de los electrodos, la formación de los hidróxidos y el potencial zeta de las partículas coloidales (Sahu et al., 2014).

#### e) Efecto de la densidad de corriente

La densidad de corriente es el parámetro operativo clave, que afecta no solo el tiempo de respuesta del sistema, sino que también influye en el modo de reducción de contaminantes. En el proceso EC, el espacio entre electrodos es fijo y la corriente variable (Taira et al., 1998). Debido a que este factor está ligado a asuntos económicos, es relevante profundizar sobre su influencia en la eficiencia a escala real (Restrepo et al., 2006).

#### f) Efecto del tiempo de reacción

El tiempo de reacción está relacionado directamente con el incremento de la concentración de partículas, ya que este proceso facilita la unión y asentamiento de los sólidos. Es decir, se forman más burbujas que, al elevarse, arrastran las partículas de residuos hacia la superficie en una capa espumosa, lo cual estimula el desarrollo de los grumos y la sedimentación. Un ligero ajuste en el tiempo tiene un gran impacto en la cantidad de sólidos producidos (Aguilar, 2015a).

#### g) Efecto de la temperatura

El aumento de la temperatura promueve la movilidad molecular, lo que resulta en mayor colisión de partículas, formación de flóculos y eliminación de los contaminantes. Se investigó el efecto de la temperatura en el tratamiento electroquímico del agua de sentina. Se descubrió que el transporte de masa aumentaba con la temperatura de reacción, lo que en consecuencia mejoraba la eliminación de la Demanda Química de Oxígeno (An et al., 2016).

#### h) Efecto de la conductividad eléctrica

Un incremento en la capacidad de conducción de energía eléctrica conlleva a un aumento en la intensidad de corriente. Si se conserva el voltaje suministrado a la celda de electrocoagulación y, además, se eleva la capacidad de conducción, manteniendo constante la intensidad de corriente constante, se produce una disminución en la fuerza eléctrica aplicada (Restrepo et al., 2006).

#### 2.3.4. Ventajas y desventajas del proceso de electrocoagulación

La electrocoagulación, como todo método de tratamiento, presenta ventajas y desventajas. Entre las más relevantes se encuentran la siguientes:

Tabla 9: Ventajas y desventajas del proceso de electrocoagulación.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necesidad reducida de reactivos químicos.</li> <li>▪ Costo operativo reducido ligado al consumo de reactivos químicos.</li> <li>▪ Lodos resultantes en menor cantidad y más compactos.</li> <li>▪ Menor impacto ambiental debido la cantidad generada de lodos.</li> <li>▪ Alta eficiencia en reducción de elementos polucionantes.</li> <li>▪ Los elementos perjudiciales son transportados por los gases hacia la parte superior.</li> <li>▪ Bajo requerimiento de energía eléctrica.</li> <li>▪ Posibilidad de usar energía solar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necesidad de mantenimiento.</li> <li>▪ La capa de óxido en el ánodo podría reducir la eficiencia del proceso al obstaculizar el flujo de corriente eléctrica.</li> <li>▪ Necesidad de reemplazo de electrodos.</li> <li>▪ Necesidad de agua con alta conductividad.</li> <li>▪ Podría representar un alto costo de operación, dependiendo del precio de la energía eléctrica de la zona.</li> <li>▪ Los lodos generados podrían contener altas concentraciones de metales.</li> <li>▪ Falta de diseño sistemático del reactor.</li> </ul>

Fuente: (Hakizimana et al., 2017).

### III.OBJETIVOS/HIPÓTESIS

#### 3.1. Objetivo general

- ✓ Evaluar la eficiencia de la electrocoagulación como tratamiento para la reducción de la Demanda Química de Oxígeno presente en aguas residuales de la Junta Administrativa de Servicios de Saneamiento Bello Horizonte (Arequipa), 2023.

#### 3.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto del tipo de electrodo, voltaje aplicado y tiempo de tratamiento en la reducción de la DQO y otros parámetros (demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, coliformes termotolerantes, *E. coli* y huevos de helmintos).
2. Analizar la variación del pH, la temperatura y la conductividad eléctrica sobre la eficiencia de reducción de la DQO.
3. Estimar la eficiencia energética de la electrocoagulación (energía eléctrica consumida y la densidad eléctrica) para el tratamiento que logró la mayor reducción de la DQO.
4. Comparar los resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y parasitológico de las muestras de aguas residuales después de aplicar el tratamiento de EC con las normativas nacionales vigentes (LMP y ECA-agua).

## IV.METODOLOGÍA

### 4.1. Área de estudio

La PTAR de la JASS Bello Horizonte está ubicada en el distrito de Majes, provincia de Caylloma, región Arequipa. Se encuentra situada sobre una superficie de terreno que pertenece a la Autoridad Autónoma de Majes (AUTODEMA). Las coordenadas de la PTAR en UTM WGS 84 son: 789051 E, 8189195 N, cuadrante 18k, 1232 m.s.n.m (Bhios Laboratorio, 2023).

Figura 4: Imagen satelital de la PTAR de la JASS Bello Horizonte - Majes.



Fuente: (Google Earth Pro, 2023).

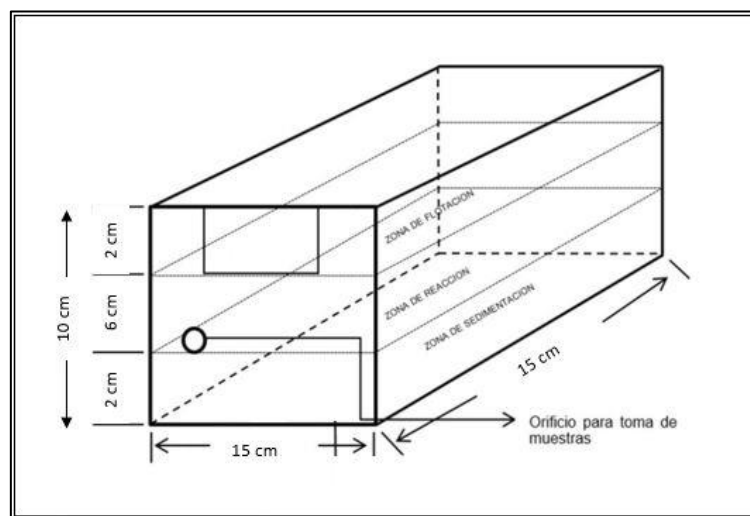
#### 4.2. Construcción del sistema de electrocoagulación

La configuración del sistema se compone por una fuente de poder y electrodos (ánodo y cátodo) monopolares posicionados de forma paralela, conectados entre sí y sumergidos en un recipiente con agua residual (electrolito) a ser tratada (Hakizimana et al., 2017; Koyuncu & Ariman, 2020; Tahreen et al., 2020) (Ver Figura 6).

##### *4.2.1. Celda de electrocoagulación*

La celda fue elaborada de acuerdo con la metodología de (A. Arango Ruiz & Garcés Giraldo, 2007), que opera mediante un sistema de tratamiento por lotes, en el cual el agua que ingresa es completamente tratada antes de ser retirada al 100 % (Chezeau et al., 2020). El material de la celda fue vidrio, tal como se empleó en la investigación de (Tamani Aguirre, 2017) y tuvo una capacidad útil de 2 litros, teniendo como referencia a (Mayta & Mayta, 2017). Se consideró la investigación de (Apaza Medina, 2022) para determinar el tamaño de la celda: 15 cm x 15 cm x 10 cm. Se incluyó un tomador de muestra en una de las caras de la celda para obtener las muestras tratadas.

Figura 5: Diagrama del diseño de la celda de electrocoagulación.



Fuente: (A. Arango Ruiz & Garcés Giraldo, 2007).



#### *4.2.2. Electrodo*

Los materiales utilizados como electrodos fueron aluminio y hierro por su fácil accesibilidad, los cuales se instalaron en paralelo a lo largo de la celda, tal como se desarrolló en la investigación de (Aguilar, 2015a). El área total de los electrodos fue de 0.0576 m<sup>2</sup> y se diseñaron como placas rectangulares (Tyagi et al., 2014); bajo una medida de 0.08 m de ancho, 0.12 m de largo y un espesor de 2 mm, teniendo en cuenta las dimensiones de la celda.

Se empleó 6 placas de electrodos, 3 de ellas de hierro y 3 de aluminio (Mollah et al., 2004). El número de electrodos que se instaló dentro de la celda fue determinado de acuerdo con la metodología de (A. Arango Ruiz & Garcés Giraldo, 2007). Se propuso una distancia de 3.5 cm entre la placa de electrodo a la cara lateral de la celda, en dirección al tomador de muestra para permitir el flujo del agua residual a tratar.

Se incluyó como soporte y anclaje de los electrodos una tubería de 8 cm de largo de policloruro de vinilo (PVC) de ½" cortada por la mitad de manera longitudinal. En cada tubería resultante se acopló un espacio para las placas. La distancia entre las placas de electrodos fue de 1 cm y se instalaron en paralelo y de manera intercalada, tal como se llevó a cabo en el experimento de (Aguilar, 2015a).

#### *4.2.3. Suministro de energía y sistema eléctrico*

La fuente de energía que se adquirió tuvo un rango de voltaje de 0 – 12 V, una capacidad de corriente de 5 A, con regulador de voltaje y una pantalla digital que permitió identificar el voltaje aplicado. Se trató de un equipo de 2.5 kilogramos, el cual contaba con dos conexiones para conectar los cables de los polos opuestos (Aguilar, 2015a).



La conexión se realizó con cable de calibre 12, desde la fuente de poder hasta unirse a los electrodos mediante pinzas. Estaba equipado con un botón de encendido/apagado, una entrada para conectar a una toma de corriente y una carcasa de metal resistente. Además, incluía una tarjeta con protección frente a excesos de carga eléctrica y cortocircuitos, considerando el modelo usado en la investigación de (Velásquez León, 2022).

#### 4.2.4. Funcionamiento del sistema de electrocoagulación

La celda de electrocoagulación funcionó utilizando un sistema de tratamiento por lotes, en la cual se sometió 6 L de agua residual obtenida de la muestra compuesta del punto de captación de la PTAR Bello Horizonte a tiempos de reacción distintos (15 y 30 minutos), a su vez, se aplicó diferentes niveles de voltaje (5 V y 10 V), tal como se trabajó en otro estudio (S. Singh et al., 2016).

Figura 6: Instalación de sistema de electrocoagulación.



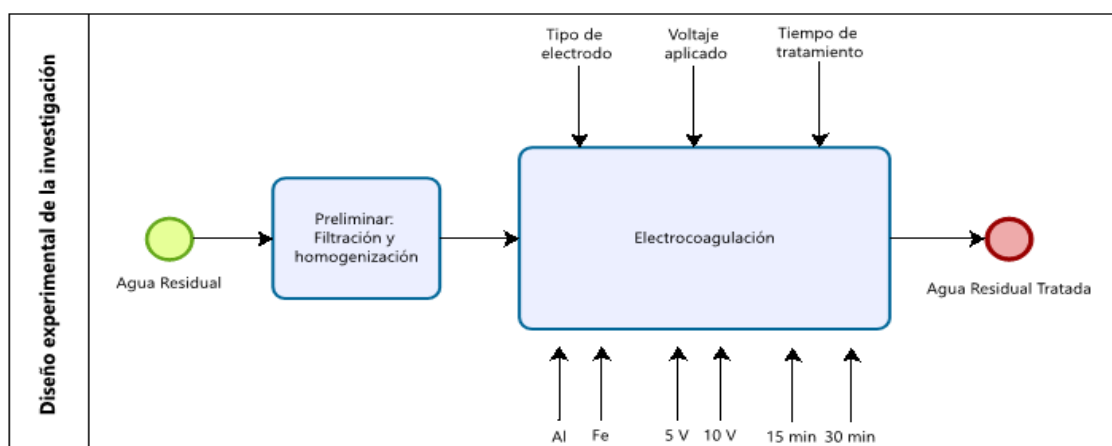
4.3. Diseño de la investigación

4.3.1. Diseño experimental

La muestra compuesta se recolectó del punto de captación de la PTAR de estudio. Se empleó el protocolo establecido por la American Water Works Association (AWWA), quién establece métodos estandarizados para la evaluación de la calidad de agua y efluentes (American Water Works Association, 2023). Las muestras se almacenaron en un bidón esterilizado. Luego, se acondicionaron en una fase preliminar mediante filtración y homogenización.

El diseño experimental incluyó la manipulación de variables independientes (tipo de electrodo, voltaje aplicado y tiempo de tratamiento) para explicar la variable dependiente (reducción de la DQO). El tratamiento de EC se realizó en el laboratorio de la JASS, ubicado a 10 km de la PTAR. Las muestras tratadas de AR fueron transportadas para su análisis.

Figura 7: Diagrama del diseño experimental de la investigación.



Powered by  
bizagi  
**Modeler**

Fuente: (Bizagi Modeler, 2023).

4.3.2. *Técnica de recolección y preservación de la muestra*

La muestra compuesta se realizó siguiendo el método estándar propuesto por la AWWA. La toma de muestras fue cada 2 horas (8:00 am, 10:00 am y 12:00 pm). Para acceder al punto de captación, se empleó un tomador de muestra que consistía en un balde plástico con una capacidad de 1 galón. Este fue sujetado a una soga de ¼” de una longitud de 2 m.

Se obtuvo una muestra compuesta de 25 L a la cual se midió los parámetros de campo (Ver Tabla 10). Luego, esta fue filtrada a través de una malla rashell, tal como se realizó en una investigación previa de (Tamani Aguirre, 2017), para asegurar la retención de sólidos con un tamaño mayor a 1 mm y a fin de maximizar la eficiencia del tratamiento.

Figura 8: Toma de muestras en el Punto de Captación de la PTAR.



Además, se llevó a cabo la homogenización de las muestras de AR, dado que se recolectaron en diferentes momentos del día. Finalmente, toda la muestra compuesta filtrada y homogenizada fue ingresada a un bidón aséptico de suficiente capacidad. (Velásquez León, 2022). Esto se realizó con el propósito de uniformizar la muestra y obtener una muestra representativa.

Una vez aplicado cada tratamiento, se retiró la muestra de AR tratada del reactor batch con ayuda de un jarrón limpio y seco, a través de la válvula de ½" implementada en la celda. Seguidamente, se vació cada una de las muestras tratadas en sus respectivos envases de capacidad de 500 mL, previamente rotulados. Por último, se colocaron dichos envases dentro de una caja hermética de material aislante y se mantuvieron bajo refrigeración (5 °C), para su preservación, hasta ser analizadas (Ver Anexo 4).

#### *4.3.3. Tamaño del tratamiento*

Del total de la muestra compuesta de 25 L, se usó 6 L para los tratamientos (T1 al T8), en los cuales se contemplaron 3 repeticiones por cada uno, de acuerdo con el estudio del autor (Tamani Aguirre, 2017). Se incluyó una muestra de control al inicio (T0 inicial), a fin de caracterizar el AR. Así como, se incluyó un T0 final al cual se le aplicó las especificaciones del tratamiento óptimo resultante en la reducción de la DQO, con el propósito de comparar los resultados de los demás parámetros de laboratorio con el T0 inicial.

Figura 9: Diagrama del tamaño del tratamiento.



Nota: V= Voltaje; DQO= Demanda Química de Oxígeno; DBO<sub>5</sub>= Demanda Bioquímica de Oxígeno; SST= Sólidos Suspendidos Totales; A&G= Aceites y Grasas; CTT= Coliformes Termotolerantes; *E. coli*; HH= Huevos de Helmintos, pH= Potencial de hidrógeno; T=Temperatura; CE=Conductividad eléctrica.

#### 4.3.4. Tratamiento de electrocoagulación

Se empleó un diseño factorial, basado en tres variables independientes, cada una con dos niveles distintos: tipo de electrodo (Al y Fe), voltaje aplicado (5 y 10 V) y tiempo de tratamiento (15 y 30 min). Los niveles de las variables se consideraron de las investigaciones previas de (Aguilar, 2015b), (Reátegui-Romero, Tuesta-Tinoco, et al., 2020) y (Tamani Aguirre, 2017), respectivamente.

Cada tratamiento de EC se llevó a cabo dentro del reactor batch. De modo que, con ayuda de un cronómetro, la fuente de energía con pantalla digital y el regulador de voltaje implementado pudo efectuarse cada condición experimental. Las muestras de AR, una vez tratadas y envasadas, fueron transportadas vía terrestre a Bhios laboratorio para determinarse los parámetros de laboratorio mencionados a continuación.

Tabla 10: Especificaciones de los tratamientos.

Tratamientos	Tipo de electrodo	Voltaje (V)	Tiempo de tratamiento (min)	Repeticiones	Agua usada por tratamiento (L)	Parámetros de laboratorio	Parámetros de campo
T0 inicial	N/A	N/A	N/A	1	5	DQO, DBO <sub>5</sub> , SST, A&G, CTT, <i>E.coli</i> y HH	pH, T y CE
T1	Aluminio	5	15	3	0.75	DQO	pH, T y CE
T2	Aluminio	5	30	3	0.75	DQO	pH, T y CE
T3	Aluminio	10	15	3	0.75	DQO	pH, T y CE
T4	Aluminio	10	30	3	0.75	DQO	pH, T y CE
T5	Hierro	5	15	3	0.75	DQO	pH, T y CE
T6	Hierro	5	30	3	0.75	DQO	pH, T y CE
T7	Hierro	10	15	3	0.75	DQO	pH, T y CE
T8	Hierro	10	30	3	0.75	DQO	pH, T y CE
T0 final	S/D	S/D	S/D	1	5	DBO <sub>5</sub> , SST, A&G, CTT, <i>E.coli</i> y HH	pH, T y CE

Nota: N/A= No Aplica; S/D= Sin dato; V= Voltaje; DQO= Demanda Química de Oxígeno; DBO<sub>5</sub>= Demanda Bioquímica de Oxígeno; SST= Sólidos Suspendidos Totales; A&G= Aceites y Grasas; CTT= Coliformes Termotolerantes; *E. coli*; HH= Huevos de Helmintos.

La medición de los parámetros de campo se realizó al momento en la cual se alcanzó la condición experimental. Por último, la cantidad de lodos generados se colocaron en una bolsa de plástico ziploc hasta ser dispuestos a través de la empresa llamada “ECO-MISTI S.A.C” (Ver Anexo 8), quién ejecuta el servicio de disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y de seguridad.

#### 4.4. Medición de parámetros

Los instrumentos y metodologías aplicadas para la medición de los parámetros de interés, ya sean de campo o laboratorio, se muestran en líneas posteriores (Ver Tabla 11). Cabe precisar que los parámetros de campo se midieron antes y después de cada tratamiento, aunque dentro del sistema de EC.

##### *4.4.1. Parámetros de campo*

Los parámetros que se analizaron en campo fueron: Potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T) y conductividad eléctrica (CE). La medición se realizó con ayuda de un medidor combinado de la empresa EQUINLAB S.A.C, de marca HANNA Instruments, modelo HI98129, el cual fue adquirido por la JASS Bello Horizonte (Ver Anexo 6 y 7). Se llevó un registro de los parámetros en una bitácora de campo. Se corroboró la vigencia de calibración del instrumento antes de ser usado (Vyas & Jethoo, 2015).

##### *4.4.2. Parámetros de laboratorio*

Los parámetros de laboratorio fueron DQO, DBO<sub>5</sub>, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (A&G), Coliformes Termotolerantes (CTT), *Escherichia coli* (E.coli) y Huevos de helmintos (HH). Cabe mencionar que, únicamente, al parámetro “HH” le corresponde un método que no ha sido acreditado y el método usado para el parámetro “A&G” queda fuera del alcance de la acreditación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL) (Ver Anexo 5). Pese a ello, se optó por dicho laboratorio, por razones de índole económicas y por la cercanía al área de estudio.



Tabla 11: Metodología aplicada en la medición de parámetros de laboratorio.

Parámetros	Metodología
DQO	Método estándar para el examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF. Acreditado por: INACAL. Unidad: mg/L
DBO <sub>5</sub>	Método estándar para el examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF. Prueba DBO de 5 días. Acreditado por: INACAL. Unidad: mg/L
SST	Método estándar para el examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF. Acreditado por: INACAL. Unidad: mg/L
A&G	Método estándar para el examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF. Unidad: mg/L
CTT	Método estándar para el examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF. Acreditado por: INACAL. Unidad: NMP/100 mL
HH	Método estándar para el examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF. Unidad: Huevos/L
<i>E. coli</i>	Método estándar para el examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF. Acreditado por: INACAL. Unidad: NMP/100 mL

Fuente: (Bhios Laboratorio, 2023).

Cabe mencionar que, en general, el análisis de los parámetros de laboratorio fueron determinados mediante el método estándar para el examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF, considerándose distintas partes metodológicas del estándar antemencionado (Ver Anexo 5) (Bhios Laboratorio, 2023).



#### 4.5. Eficiencia en el tratamiento de EC

##### 4.5.1. Eficiencia en la reducción de la DQO

Se usó los datos de reducción de la DQO para determinar los porcentajes de eficiencia alcanzada en cada réplica. El cálculo para determinar la eficiencia se realizó mediante la Ecuación 1 (Hamada et al., 2018; Rahman & Borhan, 2014).

$$DQO (\%) = \frac{(DQO_i - DQO_f)}{DQO_i} \times 100 \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

DQO (%): Porcentaje de reducción de la DQO.

DQO<sub>i</sub>: Concentración de DQO inicial (mg/L)

DQO<sub>f</sub>: Concentración de DQO final (mg/L)

##### 4.5.2. Eficiencia Energética

- Densidad Eléctrica

La densidad eléctrica se determina mediante la Ecuación 2, en la cual se plantea la división de la corriente suministrada en amperios (A) y el área total de los electrodos en metros cuadrados (m<sup>2</sup>):

$$\text{Densidad Eléctrica (A/m}^2\text{)} = \frac{\text{Corriente suministrada}}{\text{Área total de los electrodos}} \text{ (Ecuación 2)}$$

- Energía Eléctrica Consumida (EEC)

Para hallar la Energía Eléctrica Consumida (EEC) del tratamiento con condiciones óptimas se realizó el cálculo del consumo de energía por unidad volumen tratado (kWh/m<sup>3</sup>). Para ello, se aplicó la siguiente Ecuación 3, empleada en la investigación de (Reátegui-Romero, Morales-Quevedo, et al., 2020):

$$EEC \text{ (kWh/m}^3\text{)} = \frac{0.001 (V \times I \times t)}{V_t} \text{ (Ecuación 3)}$$

Donde:

V: Voltaje en voltios (V)

I: Corriente en amperios (A)

t: Tiempo en horas (h)

V<sub>t</sub>: Volumen tratado en metros cúbicos (m<sup>3</sup>)

#### 4.6. Análisis de datos

El procesamiento de la información se realizó a través de Minitab 19. Se aplicó un diseño de experimento tipo factorial (tres factores y dos niveles por triplicado) y se procesaron los datos para la generación de tablas, figuras y para determinar el efecto de las variables independientes (tipo de electrodo, voltaje aplicado, tiempo de tratamiento), mientras que en la variable dependiente (reducción de la DQO) se realizaron la prueba de normalidad, análisis de varianza (Tamani Aguirre, 2017), diagrama de Pareto, gráficas de dispersión, ecuación del modelo y gráfica de efectos principales.

## V.RESULTADOS

### 5.1. Caracterización fisicoquímica, microbiológica y parasitológica

En la Tabla 12, se muestran los parámetros de campo y laboratorio determinados antes del tratamiento, con el propósito de identificar los valores iniciales del pH, la temperatura y la conductividad eléctrica dentro el proceso electroquímico y comparar los resultados iniciales con los estándares establecidos, como los LMP (DS N°003-2010-MINAM) y el ECA-agua (D.S N°004-2017-MINAM).

Se observa que los parámetros de laboratorio que resultaron por encima de los LMP y ECA-agua fueron DQO y DBO<sub>5</sub>. El valor de SST excedió los LMP, mas no fue posible compararlo con el ECA-agua, ya que no aplica dicho parámetro. A su vez, el valor de A&G excedió el ECA-agua, pero cumplió con los LMP. Para el caso de los CTT, su valor excedió ambas normativas. Para el caso de la *E. coli* su valor excedió el ECA-agua, mas no fue posible compararlo con los LMP, ya que no aplica dicho parámetro. Finalmente, el parámetro HH cumplió con el ECA-agua.

Tabla 12: Resultados pretratamiento frente a estándares ambientales.

Parámetros	Unidad	Resultados	Estándares	
		Pre Tratamiento	LMP	ECA agua
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	790	200	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	508	100	15
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	222	150	N/A
Aceites y Grasas (A&G)	mg/L	8.8	20	5
Numeración de Coliformes Termotolerantes (CTT)	NMP/100 mL	1.70E+11	10,000	1,000
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1.70E+11	N/A	1,000
Huevos de Helminthos (HH)	Huevos/L	<1	N/A	1
Potencial de Hidrógeno (*)	Unidad de pH	7.87	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Temperatura (*)	°C	22.70	<35	Δ3
Conductividad Eléctrica (*)	uS/cm	2,035	N/A	2,500

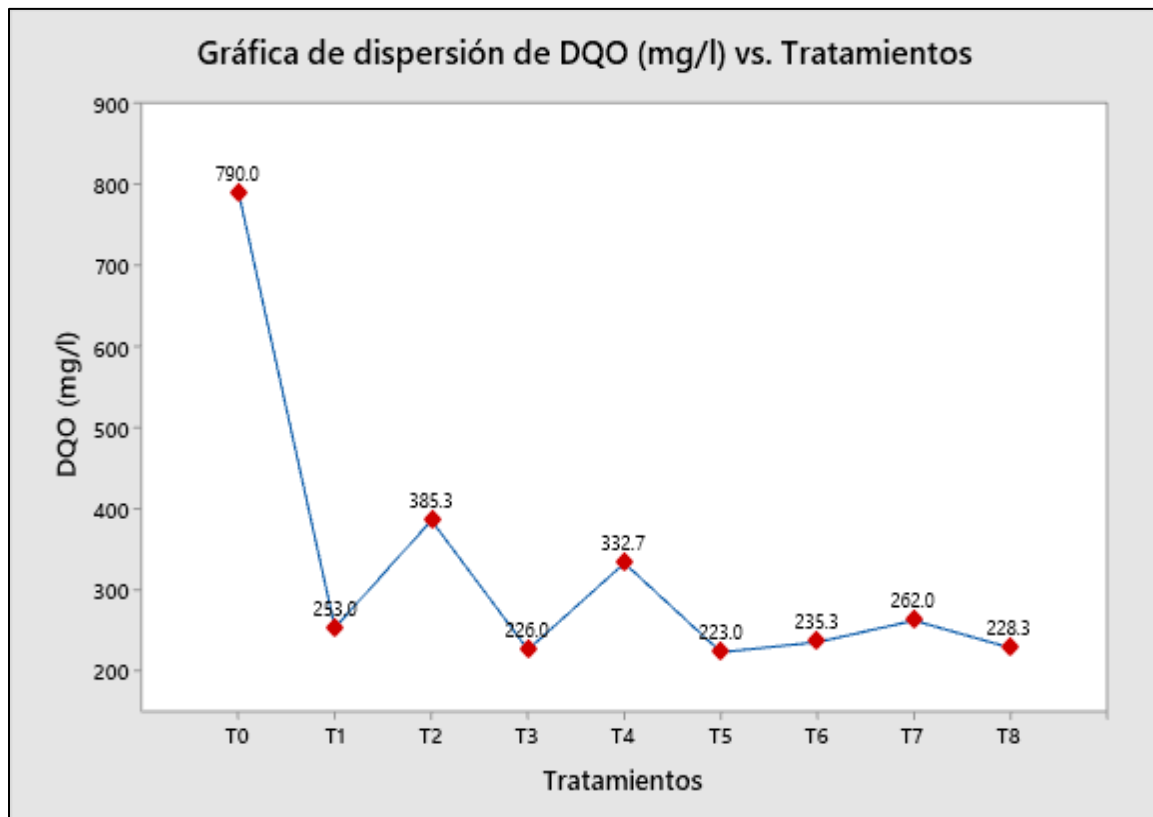
(\*): Parámetros de campo

5.2. Reducción de la DQO

En la Figura 10, se ilustra la variación de la concentración de la DQO en todos los tratamientos (T1-T8), incluyendo la muestra control inicial (T0). Por un lado, los tratamientos T2 (Al, 5V, 30 min) y T4 (Al, 10V, 30 min) presentan concentraciones más altas, con valores de 385.3 mg/L y 332.7 mg/L, respectivamente.

Por otro lado, los tratamientos T5 (Fe, 5V, 15 min) y T8 (Fe, 10V, 30 min) muestran concentraciones más bajas, con valores de 223 mg/L y 228.3 mg/L, respectivamente. Es así que, las concentraciones evidencian que hay diferencias entre los tratamientos. Aunque, cabe mencionar que el tratamiento T5 fue donde se logró obtener la menor concentración de la DQO.

Figura 10: Concentración de DQO vs. Tratamientos.



### 5.2.1. Tipo de electrodo

Los tratamientos con ánodo de Al (T1 - T4) mostraron reducciones menores en la DQO en comparación al grupo de tratamientos donde se usó Fe (T5 - T8). Se observaron mayores promedios en T1 (61.98 %) y T3 (71.39 %), siendo T3 el más notable. En contraste, los mayores promedios se registraron en T5 (71.77 %) y T8 (71.10 %), siendo el T5 el más destacado. En ese sentido, al contrastar los tratamientos más efectivos, T5 resulta ser el más sobresaliente (Tabla 13).

### 5.2.2. Voltaje aplicado

En los tratamientos con 5 V (T1, T2, T5 y T6), se lograron mayores promedios de reducción (%) en T5 (71.77 %) y T6 (70.21 %). En consecuencia, T1 (61.98 %) y T2 (51.22 %) tuvieron menores promedios. A partir de los mayores promedios, el T5 fue el más destacado. En los demás tratamientos en los que se aplicó 10 V (T3, T4, T7 y T8), se lograron mayores promedios de reducción en T3 (71.39 %) y T8 (71.10 %). Por lo tanto, los menores promedios de reducción tuvieron lugar en T4 (57.89 %) y T7 (66.84 %). A partir de los mayores promedios, el T3 fue el más destacado. Se compara, los tratamientos más destacados y el T5 resulta ser el más eficaz (Tabla 13).

### 5.2.3. Tiempo de tratamiento

Los tratamientos con 15 min de EC (T1, T3, T5 y T7) mostraron las mayores reducciones en T3 (71.39 %) y T5 (71.77 %), mientras que T1 (61.98 %) y T7 (66.84 %) tuvieron reducciones menores. En los tratamientos de 30 min de EC (T2, T4, T6 y T8), las mayores reducciones se observaron en T6 (70.21 %) y T8 (71.10 %), mientras que T2 (51.22 %) y T4 (57.89 %) tuvieron las menores. Al comparar T8 y T5, este último tratamiento resulta ser el más sobresaliente (Tabla 13).

#### 5.2.4. Eficiencia en la reducción de la DQO

A partir de los valores de concentración de la DQO (mg/L) en cada réplica, se obtuvo el promedio de la eficiencia alcanzada (%) para todos los tratamientos. Cabe mencionar que las réplicas T2-R1 y el T5-R3 alcanzaron un porcentaje mínimo (48.99 %) y máximo (73.29 %) en la reducción de la DQO, respectivamente.

Tabla 13: Eficiencia de la EC como tratamiento para la reducción de la DQO.

Tratamientos	Réplicas	Tipo de electrodo	Voltaje (V)	Tiempo de tratamiento (min)	DQO (mg/l)	Eficiencia (%)	Promedio de eficiencia (%)
T0	T0 inicial	N/A	N/A	N/A	790	-	-
T1	T1-R1	Aluminio	5	15	248	68.61	67.98
	T1-R2	Aluminio	5	15	268	66.08	
	T1-R3	Aluminio	5	15	243	69.24	
T2	T2-R1	Aluminio	5	30	403	48.99	51.22
	T2-R2	Aluminio	5	30	368	53.42	
	T2-R3	Aluminio	5	30	385	51.27	
T3	T3-R1	Aluminio	10	15	233	70.51	71.39
	T3-R2	Aluminio	10	15	220	72.15	
	T3-R3	Aluminio	10	15	225	71.52	
T4	T4-R1	Aluminio	10	30	340	56.96	57.89
	T4-R2	Aluminio	10	30	340	56.96	
	T4-R3	Aluminio	10	30	318	59.75	
T5	T5-R1	Hierro	5	15	243	69.24	71.77
	T5-R2	Hierro	5	15	215	72.78	
	T5-R3	Hierro	5	15	211	73.29	
T6	T6-R1	Hierro	5	30	235	70.25	70.21
	T6-R2	Hierro	5	30	243	69.24	
	T6-R3	Hierro	5	30	228	71.14	
T7	T7-R1	Hierro	10	15	310	60.76	66.84
	T7-R2	Hierro	10	15	223	71.77	
	T7-R3	Hierro	10	15	253	67.97	
T8	T8-R1	Hierro	10	30	218	72.41	71.10
	T8-R2	Hierro	10	30	234	70.38	
	T8-R3	Hierro	10	30	233	70.51	

En la Tabla 14, se observa que se llegó a una reducción máxima por encima del 53 % en promedio. A continuación, se detallan los resultados de la estadística descriptiva acorde a los tratamientos realizados, incluyendo valores de media, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación, mínimo, mediana y máximo.

Tabla 14: Estadística descriptiva de los datos obtenidos de los tratamientos.

Tratamientos	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo
T1	67.98	1.68	2.80	2.46	66.08	68.61	69.24
T2	51.22	2.22	4.91	4.33	48.99	51.27	53.42
T3	71.39	0.83	0.69	1.16	70.51	71.52	72.15
T4	57.89	1.61	2.59	2.78	56.96	56.96	59.75
T5	71.77	2.21	4.87	3.08	69.24	72.78	73.29
T6	70.21	0.95	0.90	1.35	69.24	70.25	71.14
T7	66.84	5.59	31.29	8.37	60.76	67.97	71.77
T8	71.10	1.14	1.29	1.60	70.38	70.51	72.41

En la Tabla 15, se visualizan los promedios de los parámetros de campo: pH, T y CE. Estos parámetros son útiles como indicadores de la evaluación de los cambios acontecidos en el sistema de EC. Bajo esa premisa, se registraron las mediciones correspondientes pre y post tratamiento de EC.

Tabla 15: Variación de los parámetros de campo bajo diferentes condiciones.

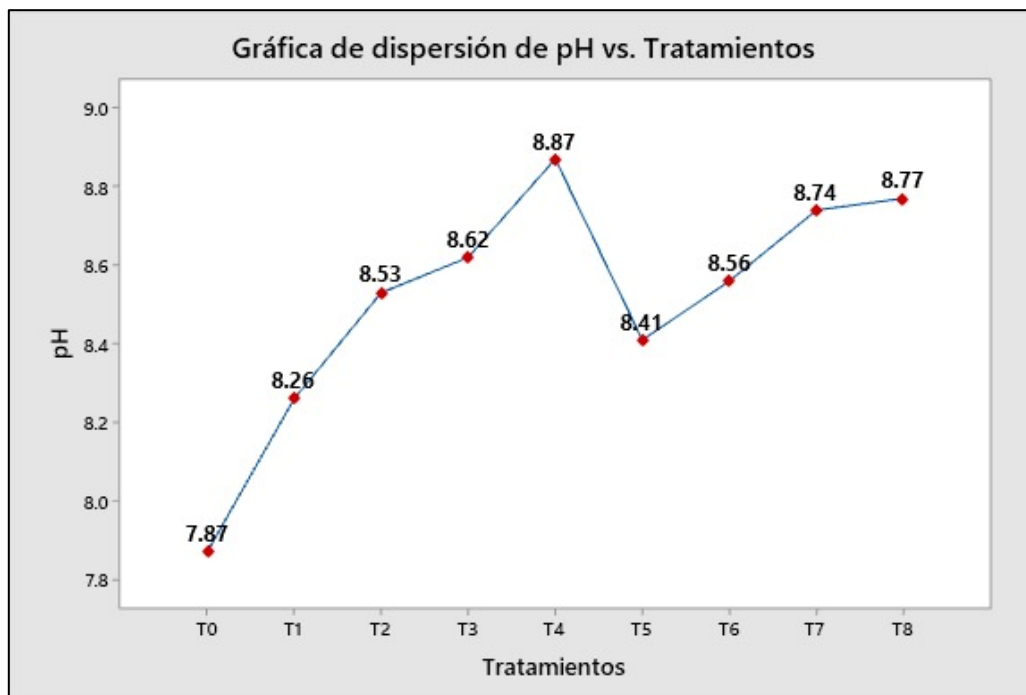
Tratamientos	Tipo de electrodo	Voltaje (V)	Tiempo de tratamiento (min)	pH	T (°C)	CE (µS/cm)
T0	N/A	N/A	N/A	7.87	22.7	2035
T1	Aluminio	5	15	8.26	24.3	1702
T2	Aluminio	5	30	8.53	24.6	1742
T3	Aluminio	10	15	8.62	24.7	1658
T4	Aluminio	10	30	8.87	25.7	1735
T5	Hierro	5	15	8.41	24.2	1674
T6	Hierro	5	30	8.56	24.5	1680
T7	Hierro	10	15	8.74	25.1	1769
T8	Hierro	10	30	8.77	25.3	1655

5.2.5. *Potencial de hidrógeno*

En la Figura 11, se observa la variación del pH desde del pretratamiento (T0) y después de cada tratamiento (T1-T8). Se inicia con el tratamiento un pH de 7.87. En general, los tratamientos con electrodos de Al muestran un aumento gradual en el pH a medida que se incrementa el voltaje aplicado y el tiempo de tratamiento. Cabe mencionar que la gráfica muestra una tendencia ascendente.

El tratamiento T4 (Al, 10 V, 30 min) tiene el pH más alto entre los tratamientos de Al, llegando a un valor de 8.87. Asimismo, los tratamientos con electrodos de Fe también presentan un aumento en el pH, pero, en comparación con los tratamientos de Al, estos valores son ligeramente más bajos. El pH más elevado entre los tratamientos de hierro, se observó en el T8 (Fe, 10 V, 30 min), alcanzando un valor de 8.77. A su vez, se infiere que la EC parece tener un efecto alcalinizante en el tratamiento de AR.

Figura 11: Potencial de Hidrógeno vs. tratamientos.



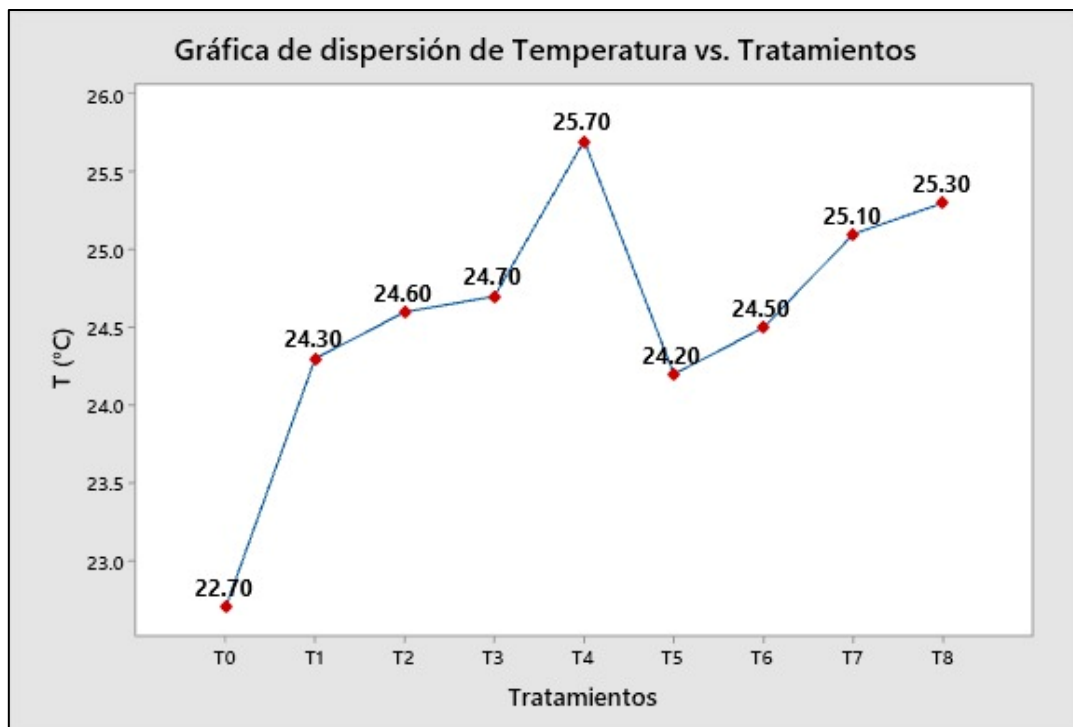


5.2.6. Temperatura

En la Figura 12, se observa la alternación de la temperatura (en °C) desde el pretratamiento (T0 = 22.7°C) y después de cada tratamiento de EC (T1-T8). A medida que se aplica el tratamiento de EC, se evidencia un aumento en la temperatura en general. Todos tratamientos, ya sea que se haya trabajado con electrodos de Al o Fe, muestran un patrón ascendente.

Sin embargo, las temperaturas más altas registradas ocurrieron en los tratamientos en los cuales el voltaje aplicado y tiempo de tratamiento fueron mayores. Entre ellos tenemos a T4 (Al, 10 V, 30 min) y T8 (Fe, 10 V, 30 min). En estos tratamientos se llegó a valores de temperatura de 25.7 °C y 25.3 °C, respectivamente. Cabe resaltar que este cambio térmico podría estar asociado a la eficiencia del proceso de EC.

Figura 12: Temperatura vs. tratamientos.

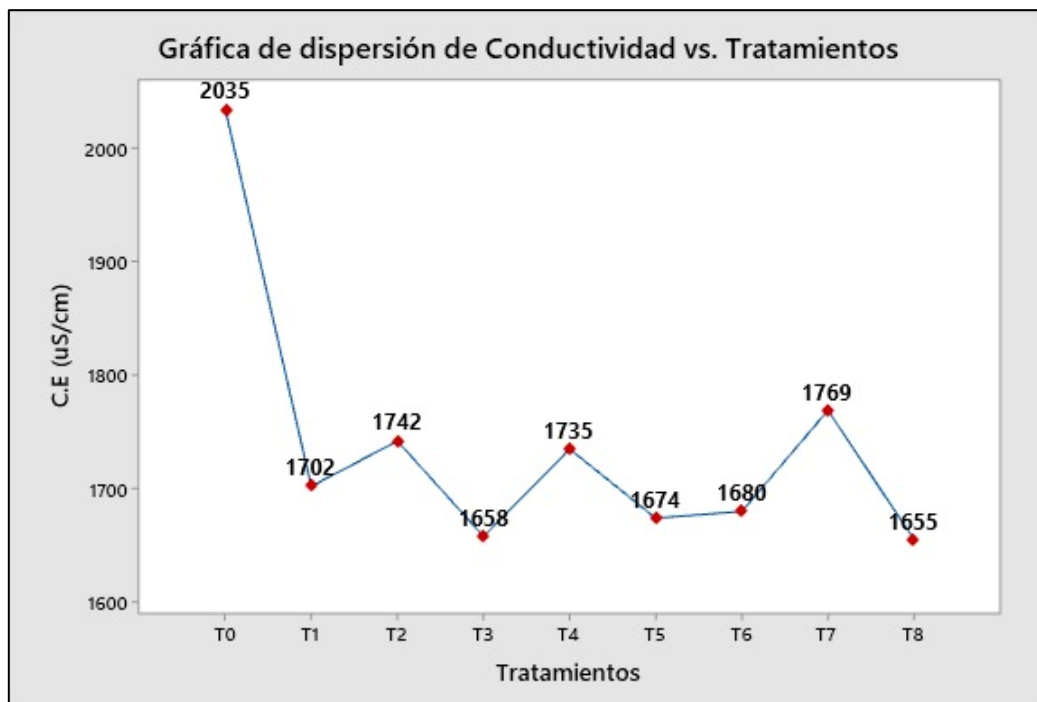


5.2.7. Conductividad eléctrica

En la Figura 13, se observa la modificación de la CE desde del pretratamiento (T0 = 2035  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) hasta después de cada tratamiento (T1-T8). En los tratamientos con electrodos de Al (T1-T4), se aprecia alternancia. Es decir, en el tratamiento T1 (Al, 5 V, 15 min) hay una disminución a 1702  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que en T2 (Al, 5 V, 30 min) aumenta ligeramente a 1742  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en T3 (Al, 10 V, 15 min) disminuye a 1658  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en T4 (Al, 10 V, 30 min) vuelve a aumentar a 1735  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Por otro lado, en los tratamientos con electrodos de Fe (T5-T8), también se aprecia variabilidad. En este caso, el tratamiento T5 (Fe, 5 V, 15 min) hay una disminución a 1674  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en el T6 (Fe, 5 V, 30 min) aumenta ligeramente a 1680  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Asimismo, en el T7 (Fe, 10 V, 15 min) aumenta a 1769  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que en T8 disminuye a 1655  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cabe señalar que estos cambios podrían modificar la composición iónica del AR.

Figura 13: Conductividad eléctrica vs. tratamientos.



### 5.3. Estadística inferencial

#### 5.3.1. Prueba estadística de normalidad de residuales

Es necesario analizar la normalidad de los residuos ( $e_{ij}$ ) generados por la diferencia entre la respuesta observada ( $Y_{ij}$ ) y la respuesta predicha ( $\hat{Y}_{ij}$ ) por el modelo en cada tratamiento (Gutierrez Pulido & De La Vara Salazar, 2012):

$$e_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_{ij} \text{ (Ecuación 4)}$$

Es, decir, se evalúan estadísticamente los residuos mediante la prueba de normalidad de Anderson Darling (AD) (Cerna Huerttas & Gamboa Zavala, 2021). Por lo tanto, las hipótesis de prueba para el análisis de la normalidad son las siguientes:

$H_0$ : Los residuos siguen una distribución normal.

$H_1$ : Los residuos no siguen una distribución normal.

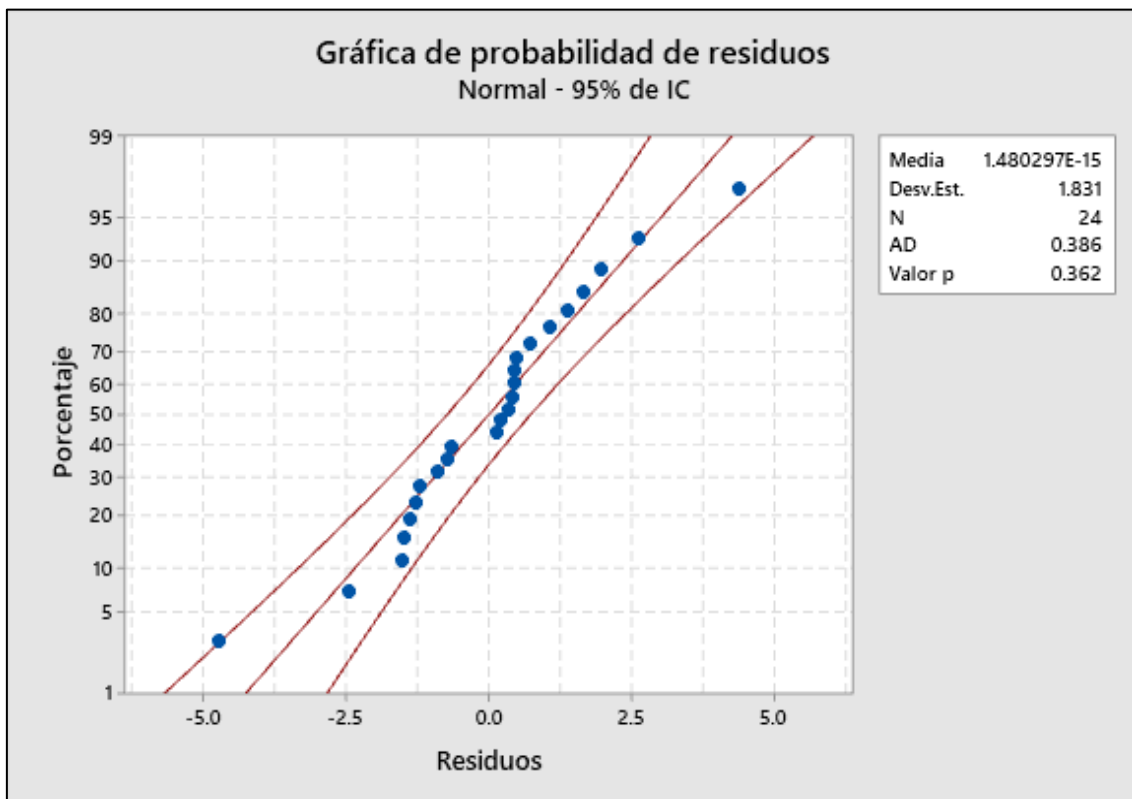
Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = 0.05.

Si el valor  $p < \alpha$ , se rechaza  $H_0$ .

Si el valor  $p > \alpha$ , no se rechaza  $H_0$ .

En la Figura 14, se observa que dentro de un intervalo de confianza del 95 % los datos se encuentran en proximidad de la curva de distribución normal ajustada (Cerna Huerttas & Gamboa Zavala, 2021), con un coeficiente (AD) = 0.386 relacionado con el número de tratamientos (N=24). Así mismo, dado que el valor  $p$  es de 0.362 y excede el nivel de significancia de 0.05, no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ). Entonces, se concluye que los residuos tienen una distribución normal.

Figura 14: Gráfica de probabilidad de residuos.



5.3.2. Prueba de hipótesis estadística en el proceso de electrocoagulación

Debido a que los datos exhiben una distribución normal, se ha empleado una prueba estadística paramétrica (Cerna Huerttas & Gamboa Zavala, 2021). En ese sentido, las hipótesis estadísticas son:

$H_0$ :  $T_1=T_2=T_3=T_4=T_5=T_6=T_7=T_8$ , no hay diferencias significativas entre las medias de la reducción de la DQO.

$H_1$ : Por lo menos uno de los  $T_i$  es diferente de los demás.

Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = 0.05

Si el valor  $p < \alpha$ , se rechaza  $H_0$ .

Si el valor  $p > \alpha$ , no se rechaza  $H_0$ .

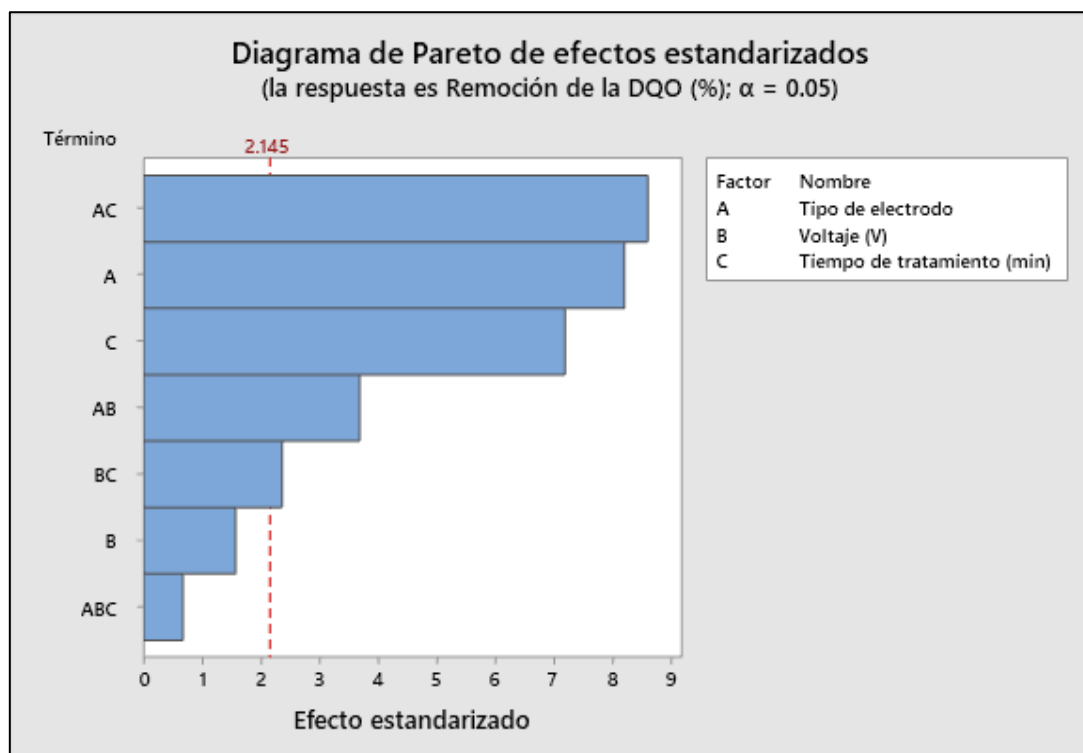
En la Tabla 16, según el análisis de varianza, los valores p para las variables “tipo de electrodo” y “tiempo de tratamiento” son menores al nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), indicando rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, los promedios de los tratamientos son diferentes entre sí, destacando la influencia significativa de estos factores en la reducción de la DQO. Sin embargo, el factor “voltaje” muestra un valor p mayor al nivel de significancia, sugiriendo que su impacto no es tan significativo en comparación con los otros dos factores.

Tabla 16: Análisis de varianza (ANOVA).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	1205.97	133.997	24.34	0.000
Bloques	2	21.59	10.796	1.96	0.178
Lineal	3	668.89	222.962	40.49	0.0001
Tipo de electrodo	1	370.55	370.550	67.30	0.0001
Voltaje (V)	1	13.65	13.652	2.48	0.138
Tiempo de tratamiento (min)	1	284.68	284.683	51.70	0.0001
Interacciones de 2 términos	3	513.01	171.004	31.06	0.000
Tipo de electrodo*Intensidad de corriente (A)	1	74.92	74.925	13.61	0.002
Tipo de electrodo*Tiempo de tratamiento (min)	1	407.23	407.227	73.96	0.000
Intensidad de corriente (A)*Tiempo de tratamiento (min)	1	30.86	30.861	5.60	0.033
Interacciones de 3 términos	1	2.48	2.484	0.45	0.513
Tipo de electrodo*Intensidad de corriente (A)*Tiempo de tratamiento (min)	1	2.48	2.484	0.45	0.513
Error	14	77.09	5.506		
Total	23	1283.06			

En la Figura 15, se muestra que el factor “tipo de electrodo” (A) y “tiempo de tratamiento” (C) influyen de manera notable en la reducción de la DQO ya que exceden el nivel de referencia generado (2.145) por Minitab19, en concordancia con el nivel de significancia de 0.05. Además, cabe mencionar que la influencia del factor “voltaje” (B) no llega a aproximarse al valor de referencia; por lo tanto, la influencia del voltaje aplicado como factor individual, no es tan notable en la reducción de la DQO.

Figura 15: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.



### 5.3.3. Estadístico de bondad en el proceso de electrocoagulación

En la Tabla 17, se observa el error estándar de la estimación (S) y los coeficientes de determinación ( $R^2$ ). A partir de dichos coeficientes, se identifica que el  $R^2$  ajustado adquiere un valor de 90.13 %, el cual nos indica que las variables independientes “tipo de electrodo”, “voltaje” y “tiempo de tratamiento” influyen en la reducción de la DQO (Cerna Huerttas & Gamboa Zavala, 2021).

Tabla 17: Resumen de los estadísticos de bondad.

S	R-cuadrado	R-cuadrado. (ajustado)	R-cuadrado. (predicho)
2.34655	93.99 %	90.13 %	82.34 %

Donde:

- S: Es la estimación de la desviación estándar de los residuos en el modelo de regresión. Un S más pequeño indica una menor dispersión de los residuos y, por lo tanto, un mejor ajuste del modelo.
- $R^2$ : Este es un indicador clave en modelos de regresión y varía entre 0 % y 100 %.

\*R-cuadrado: Indica cuánta variabilidad en la variable dependiente puede ser explicada por el modelo.

\*R-cuadrado ajustado: Es similar al R-cuadrado, sin embargo, tiene en cuenta el número de predictores (variables independientes) en el modelo.

\*R-cuadrado predicho: Se utiliza para evaluar la capacidad predictiva del modelo.

Un valor alto es indicativo que el modelo debería tener un buen desempeño en nuevas observaciones (Gutierrez Pulido & De La Vara Salazar, 2012).

#### 5.3.4. Ecuación de regresión

La ecuación de regresión se emplea con la finalidad de explicar cómo la respuesta está relacionada con los términos incluidos en el modelo. Es una representación algebraica que sirve para modelar relaciones complejas entre múltiples variables. La ecuación de regresión tiene la forma siguiente (Astorga Gómez, 2014):

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde:

- “y” es lo que estamos tratando de predecir o explicar (la respuesta).
- “b<sub>0</sub>” es la constante. Representa el valor esperado de la variable respuesta cuando todos los términos predictores son cero.
- “b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>,...,b<sub>k</sub>” son coeficientes asociados con los términos predictores.
- “X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>,...,X<sub>k</sub>”son los valores específicos de los términos predictores.

Según las variables y niveles, se formula la ecuación de regresión. Se considera la constante (66.050). Seguidamente, se le suma o resta el resultado que arroja el programa de multiplicar los coeficientes con los valores de los términos predictores, a fin de evaluar el impacto del tipo de electrodo, voltaje aplicado y tiempo de tratamiento en la reducción de la DQO. A continuación, se desprende la ecuación de regresión aplicada a la presente investigación:

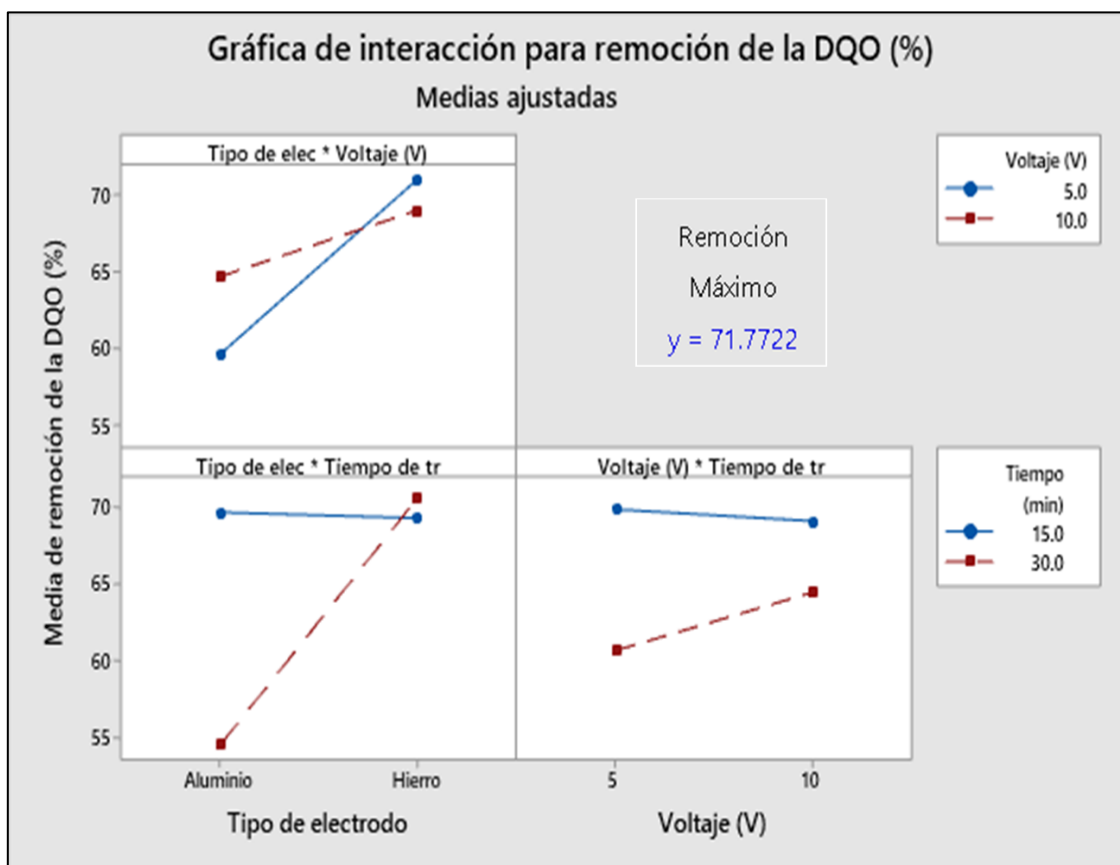


Reducción = 66.050 - 3.929 Tipo de electrodo\_Aluminio  
 de la DQO + 3.929 Tipo de electrodo\_Hierro - 0.754 Voltaje (V)\_5  
 (%) + 0.754 Voltaje (V)\_10 + 3.444 Tiempo de tratamiento (min)\_15  
 - 3.444 Tiempo de tratamiento (min)\_30  
 - 1.767 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\_Aluminio 5  
 + 1.767 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\_Aluminio 10  
 + 1.767 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\_Hierro 5  
 - 1.767 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\_Hierro 10  
 + 4.119 Tipo de electrodo\*Tiempo de tratamiento (min)\_Aluminio 15  
 - 4.119 Tipo de electrodo\*Tiempo de tratamiento (min)\_Aluminio 30  
 - 4.119 Tipo de electrodo\*Tiempo de tratamiento (min)\_Hierro 15  
 + 4.119 Tipo de electrodo\*Tiempo de tratamiento (min)\_Hierro 30  
 + 1.134 Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_5 15  
 - 1.134 Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_5 30  
 - 1.134 Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_10 15  
 + 1.134 Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_10 30  
 - 0.322 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_Aluminio 5 15  
 + 0.322 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_Aluminio 5 30  
 + 0.322 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_Aluminio 10 15  
 - 0.322 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_Aluminio 10 30  
 + 0.322 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_Hierro 5 15  
 - 0.322 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_Hierro 5 30  
 - 0.322 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_Hierro 10 15  
 + 0.322 Tipo de electrodo\*Voltaje (V)\*Tiempo de tratamiento (min)\_Hierro 10 30

5.3.5. Interacción en el proceso de electrocoagulación

La condición óptima del proceso de electrocoagulación ocurrió cuando se trabajó con el Fe como ánodo, con un voltaje aplicado de 5 V, bajo un tiempo de tratamiento de 15 min. En consecuencia, se logró reducir el mayor porcentaje (71.77 %) en promedio. Dicha condición óptima se considerará para la determinación de la eficiencia del resto de parámetros de laboratorio (Tabla 20).

Figura 16: Gráfica de interacción de efectos principales en la reducción de la DQO.



#### 5.4. Eficiencia energética

A continuación, se revela la densidad eléctrica ligada a cada tratamiento mediante la siguiente Tabla:

Tabla 18: Densidad eléctrica ( $A/m^2$ ) registrada en cada tratamiento de EC.

Tratamientos	Amperaje (A)	Área total de electrodos ( $m^2$ )	Densidad de Corriente ( $A/m^2$ )	Densidad de Corriente ( $mA/cm^2$ )
T1	1.14	0.0576	19.79	1.98
T2	1.79		31.08	3.11
T3	2.03		35.24	3.52
T4	2.74		47.57	4.76
T5	0.98		17.01	1.70
T6	1.47		25.52	2.55
T7	1.96		34.03	3.40
T8	2.58		44.79	4.48

La corriente eléctrica que se suministró al tratamiento T5 fue la menor con respecto a las demás. Por lo tanto, se logró la mejor eficiencia energética en dicho tratamiento, ya que la EEC fue menor, tal como se muestra en la siguiente Tabla. En otras palabras, se consumió 1.63 kWh para tratar  $0.00075 m^3$  de AR.

Tabla 19: Energía eléctrica consumida por volumen tratado ( $kWh/m^3$ ).

Tratamientos	Tiempo (h)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (kW)	EEC (kWh)	Volumen Tratado ( $m^3$ )	Eficiencia Energética ( $kWh/m^3$ )
T1	0.25	5	1.14	0.0057	0.0014	0.00075	1.90
T2	0.25	5	1.79	0.0090	0.0022	0.00075	2.98
T3	0.50	10	2.03	0.0203	0.0102	0.00075	13.53
T4	0.50	10	2.74	0.0274	0.0137	0.00075	18.27
T5	0.25	5	0.98	0.0049	0.0012	0.00075	1.63
T6	0.25	5	1.47	0.0074	0.0018	0.00075	2.45
T7	0.50	10	1.96	0.0196	0.0098	0.00075	13.07
T8	0.50	10	2.58	0.0258	0.0129	0.00075	17.20

### 5.5. Comparación de los resultados

En la Tabla 20, se presentan los parámetros de campo y laboratorio determinados pre y post tratamiento, a fin de evaluar la eficiencia de la EC, analizar el efecto del pH, la temperatura y conductividad eléctrica dentro el proceso electroquímico bajo diferentes condiciones y comparar los resultados finales con estándares establecidos en las normativas aplicables (LMP y ECA-agua).

Por un lado, se confirma que el valor del pH se encuentra dentro del rango de valores establecidos por las normativas pertinentes, al igual que el valor de la temperatura se encuentra por debajo de del valor aceptable. Así también, el valor de la conductividad eléctrica, no fue posible compararlo con los LMP, ya que este parámetro no está dentro de su alcance; sin embargo, el valor se encuentra por debajo del valor correspondiente establecido en el ECA-agua, sugiriendo el reúso de aguas residuales tratadas para riego de plantas, conforme al interés de la JASS Bello Horizonte.

Por otro lado, los parámetros de laboratorio DBO<sub>5</sub>, SST, A&G, *E. coli* y HH cumplieron con los valores de acuerdo con los estándares aplicables LMP y ECA-agua, a diferencia de los parámetros DQO y CTT. Sin embargo, a pesar de que se haya logrado una alta eficiencia de reducción en estos dos últimos parámetros, alcanzando porcentajes del 71.77 % y 99.99 %, respectivamente, es fundamental que el método de EC sea complementado con otros tratamientos específicos para asegurar el cumplimiento legal en la reducción de dichos parámetros.

Tabla 20: Resultados pre y post tratamiento frente a estándares ambientales.

Parámetros	Unidad	Resultados			Estándares	
		Pre Tratamiento	Post Tratamiento	Eficiencia (%)	LMP	ECA agua
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	790	223	71.77	200	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	508	47	90.75	100	15
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	222	37	83.33	150	N/A
Aceites y Grasas (A&G)	mg/L	8.8	2.6	70.45	20	5
Numeración de Coliformes Termotolerantes (CTT)	NMP/100 mL	1.70E+11	4,900,000	99.99	10,000	1,000
Numeración de <i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1.70E+11	2	99.99	N/A	1,000
Huevos de Helmintos (HH)	Huevos/L	<1	<1	NA	N/A	1
Potencial de Hidrógeno (*)	Unidad de pH	7.87	8.41	-	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Temperatura (*)	°C	22.7	24.2	-	<35	Δ3
Conductividad Eléctrica (*)	uS/cm	2035	1,676	-	N/A	2,500

(\*): Parámetros de campo

En la Tabla 20, se revela la eficiencia alcanzada del resto de parámetros de laboratorio tras aplicarse el tratamiento de electrocoagulación, considerando las condición óptima obtenida de acuerdo con el tratamiento T5 (Fe, 5 V y 15 min), donde se obtuvo la mayor reducción de la DQO. En ese sentido, se alcanzó la eficiencia del 71.77 % en la DQO, 90.75 % en la DBO<sub>5</sub>, 83.33 % en los SST, 70.45 % en A&G, 99.99 % en CTT y *E. coli*.

Cabe mencionar que la determinación de la eficiencia del parámetro “HH” no fue factible de calcular, debido a la unidad en la que se presenta. Sin embargo, se evidencia que el valor obtenido se encuentra por debajo de la normativa vigente. Por tanto, el valor cumple con la subcategoría correspondiente, la cual está establecida en el ECA-agua. En ese sentido, los resultados respaldan de manera satisfactoria la eficiencia de la EC como tratamiento aplicable en aguas residuales.

## VI. DISCUSIÓN

Las aguas residuales muestreadas en el punto de captación de la PTAR de estudio presentan contaminación, debido a que los parámetros DQO, DBO<sub>5</sub>, SST y CTT sobrepasan los LMP, de acuerdo con el D.S N°003-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles Para Los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, 2010). En ese sentido, la causa de la contaminación está relacionada con el tipo de residuos producidos en los hogares, los cuales están influenciados por el estilo de vida de los habitantes (G. H. Chen et al., 2020).

Asimismo, las descargas de aguas residuales de diversas fuentes, de residuos y el crecimiento urbano (Velásquez León, 2022) contribuyen al aumento de la concentración de parámetros de calidad de cuerpos de agua (Larios Meoño et al., 2015). El autor (G. H. Chen et al., 2020) establece una razón típica de nivel medio (2 – 2.5) entre la concentración de la DQO y la DBO<sub>5</sub>, la cual no se verifica en la caracterización realizada en el presente estudio. Sin embargo, aclara que una razón de nivel bajo (1.5 – 2) es indicio que una parte significativa de la materia orgánica será susceptible de degradación a través de procesos biológicos.

Dicho resultado podría estar ligado a la descarga de efluentes provenientes del Hospital de Majes. En ese sentido, (Cruz-Morató et al., 2014) señala que las aguas residuales municipales presentan comúnmente niveles de contaminación similares encontrados en aguas residuales hospitalarias, ya que en la mayoría de los países se vierten a sistemas de alcantarillado público, donde son tratadas juntamente con las aguas residuales municipales.

De acuerdo con (Shokoohi et al., 2017), las concentraciones de DQO y DBO<sub>5</sub> obtenidas corresponden a una muestra de agua residual hospitalaria, donde la caracterización reveló rangos similares para la DQO (750-850 mg/L) y DBO<sub>5</sub> (400-500 mg/L). Asimismo, la caracterización realizada por (Smoczyński et al., 2017) muestra un rango de concentración semejante para la DQO (609-737 mg/L).

En efecto, se evidencia que, por lo general, las PTAR's no se diseñan de manera estratégica para eliminar la amplia gama de contaminantes que suelen estar presentes en los desechos líquidos provenientes de hospitales (Verlicchi et al., 2015). Debido a las altas concentraciones de diversos productos farmacéuticos y desinfectantes, son consideradas mezclas complejas capaces de generar importantes riesgos ambientales (Lee et al., 2014).

A raíz de la variabilidad de la composición de las aguas residuales domésticas y/o municipales, la mayoría de los métodos tradicionales no llegan a satisfacer los niveles de concentración según los parámetros de calidad (Cerna Huerttas & Gamboa Zavala, 2021). Por lo tanto, la EC se considera una opción viable como tratamiento extensivo (Islam & Didar, 2017) ya que tiene el potencial de reemplazar a métodos convencionales al ser una alternativa prometedora, eficaz y económica (Hashim et al., 2020).

En consecuencia, la eficiencia del 71.77 % que se logró se asemeja al resultado promedio obtenido por (Koyuncu & Arıman, 2020) y (Kurt et al., 2008), con 73 % y 70 %, respectivamente. Aquellas investigaciones emplearon aguas residuales domésticas y electrodos de Fe, aunque la escala de cada investigación fue a distinto nivel: la primera fue a una escala real y la segunda a una escala de laboratorio con reactor batch. De igual

manera, (Nasrullah et al., 2017) obtuvo la mayor eficiencia usando electrodos de Fe, con un 74 % de reducción en la DQO, 70 % en la DBO<sub>5</sub> y 66 % en SST.

En cambio, (Zaied et al., 2020) menciona que el Al tiene mayor efectividad que el Fe en la eliminación de la DQO. Del mismo modo, (An et al., 2016) afirma que la máxima reducción de la DQO se logró al utilizar electrodos de Al, que cumplieron el papel de ánodo y cátodo en un mismo sistema. A su vez, (Priya & Jeyanthi, 2019) emplearon electrodos de Cu y Al, logrando la mayor reducción de DQO del 87 %. No obstante, (Linares-Hernández et al., 2009) alcanzó una significativa reducción de la turbidez (80 %) mediante el uso de electrodos de Al, mientras que el Fe demostró ser más eficiente que el aluminio en el decremento de la DQO (70 %) en aguas residuales industriales complejas.

Bajo esta premisa, es fundamental evaluar el proceso de tratamiento conforme al efecto de las variables independientes en la eficiencia del proceso de EC (Kobyta et al., 2020; Zaied et al., 2020). De acuerdo con el presente estudio, las variables o factores “tipo de electrodo” y “tiempo de tratamiento” llegaron a desarrollar una influencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la reducción de la DQO; a diferencia del “voltaje aplicado” que su impacto no fue tan significativo en comparación con los otros dos factores.

La condición óptima se logró en T5 (Fe, 5 V y 15 min), mediante el cual se obtuvo la mayor reducción de la DQO (71.77 %) y eficiencia posible. El tipo de material del electrodo influye en las reacciones electroquímicas. Existen estudios en los que se ha usado combinaciones de electrodos de Al y Fe y ambos han funcionado eficazmente (Vepsäläinen, 2012), aunque es posible usar otros materiales de electrodos como acero



inoxidable (Sediqi et al., 2021), acero galvanizado (Tamani Aguirre, 2017), cobre (Priya & Jeyanthi, 2019) y zinc (Hussin et al., 2017).

De acuerdo con el efecto del tipo de electrodo en la reducción de la DQO, los electrodos que se usaron en el presente estudio fueron Fe y Al ya que son asequibles, por lo que se emplean comúnmente, tanto como ánodo o cátodo, en el procesamiento de efluentes mediante EC. Se optan por las placas de Al debido a su alta eficiencia de coagulación, aunque, se prefiere las placas de Fe porque son más baratas (Boinpally et al., 2023). De igual modo, se recurre al uso de electrodos de acero inoxidable cuando el agua presenta dureza, por la presencia elevada de iones como  $\text{Ca}^{2+}$  o  $\text{Mg}^{2+}$  (Sediqi et al., 2021). Asimismo, el autor (Hussin et al., 2017) advierte que los electrodos de zinc demuestran una eficiencia superior desde el punto de vista económico, ya que requiere de una menor energía eléctrica y tiempo para llegar al punto de optimización del proceso.

Según el diseño experimental, se realizaron configuraciones con los electrodos Fe-Al, los que cumplieron el rol de ánodo y cátodo. De acuerdo con (Koby et al., 2020) que los resultados mejoran al emplear electrodos híbridos, como electrodos de Fe-Al, en un amplio rango de pH. A su vez, (Sahu et al., 2014) señala que al utilizar electrodos de Fe o Al, los iones  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ ,  $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+}$  o  $\text{Al}_{(\text{aq})}^{3+}$  generan hidróxidos correspondientes, con alta afinidad por las partículas dispersas y capacidad de neutralizar los iones que provocan la coagulación. Por ello, (Doggaz et al., 2018; Gorski et al., 2016) señalan que durante la EC se aplica corriente eléctrica a los electrodos de Fe, produciendo Fe (II) que, al hidrolizarse, forma diversos precipitados reactivos de óxido e hidróxido de Fe.

Simultáneamente, durante la electrólisis del agua, se generan burbujas de gas oxígeno en el ánodo y gas hidrógeno en el cátodo, lo que propicia la flotación de las partículas coaguladas junto a la liberación de iones de Fe, por lo que las burbujas de hidrógeno serían las responsables de la ascensión de los flóculos generados hacia la parte superior del reactor, donde se concentran y eliminan (Ezechi et al., 2020). (Al-Raad & Hanafiah, 2021) indican que debido a que el Fe (II) es un coagulante débil, normalmente se oxida a Fe (III) durante el proceso de coagulación para lograr un mayor rendimiento.

Tras la oxidación en un sistema electrolítico, el Fe produce hidróxido ferroso o hidróxido férrico, dependiendo del pH del electrolito. Por lo tanto, (Smoczyński et al., 2014) menciona que el mecanismo responsable de la reducción de la DQO es la adsorción de compuestos orgánicos en aguas residuales por adsorbentes coloidales. Cabe mencionar que el mecanismo dominante puede variar a lo largo del proceso ya que, a medida que avanza la reacción, es posible que surjan cambios en los parámetros operativos que influirían en la reducción de contaminación (Chopra et al., 2011).

En ese sentido, el pH tiene influencia sobre la eficiencia del proceso de EC, ya que a niveles bajos de pH, los iones metálicos formados en la sección del ánodo interactúan con elementos coloidales aniónicos en el agua residual, neutralizando su carga y disminuyendo su solubilidad (Zaied et al., 2020). En efecto, (Abdel-Gawad et al., 2012) señalan que la variación de pH es más significativa en relación con la eficiencia, ya que este parámetro operativo está muy vinculado a la solubilidad, la cual disminuye al incrementarse el mismo. El autor (Vepsäläinen, 2012) menciona que el pH de la solución electrolítica tiene un efecto en la aparición de hidróxidos metálicos y el potencial zeta de las partículas coloidales, así como la disolución de los cátodos de Al.

Los autores (Koyuncu & Ariman, 2020) afirman que el pH debería encontrarse en un rango de 6-9 para obtener resultados provechosos en cuanto a eficiencia. Asimismo, (Gatsios et al., 2015) agregan que los iones ferrosos solo se oxidan a iones férricos si el pH es superior a 5, aunque la oxidación completa solo se produce a un pH de entre 8-9. En relación a ello, en la presente investigación el pH inicial fue de 7.87 y se llegó a un valor de 8.41 en el tratamiento T5. Cabe destacar que, en su mayoría, los tratamientos con ánodos de Al mostraron niveles de pH más bajos (T1-8.26, T2-8.53, T3-8.62, T4-8.87), mientras que los tratamientos con ánodos de Fe adquirieron niveles más altos (T5-8.41, T6-8.46, T7-8.74, T8-8.77).

Al comparar los tratamientos T1 (Al, 5 V, 15 min) y T5 (Fe, 5 V, 15 min) donde las condiciones de “voltaje aplicado” y “tiempo de tratamiento” fueron similares, a excepción del tipo de electrodo, se aprecia que el valor de pH es mayor en T5, quién a su vez fue el tratamiento óptimo. En ese contexto, (Ilhan et al., 2008) indica que el pH aumenta gradualmente debido a las actividades predominantes del cátodo. (Reátegui-Romero, Tuesta-Tinoco, et al., 2020) afirman que existe un aumento del pH inicial en todos los tratamientos de EC aplicados en aguas residuales industriales, los cuales fueron analizados en un rango de tiempo de 0 a 60 min. A su vez, señalan que el mayor cambio de pH se produjo con los ánodos de Fe. En los tratamientos donde el “voltaje aplicado” fue de 6 V, se alcanzó un pH de 8.5 y 9.0, bajo un tiempo de tratamiento de 15 y 30 min, respectivamente. Por el contrario, (Ilhan et al., 2008) obtuvo valores de pH mayores (8.3 a 8.9) en ánodos del aluminio y valores relativamente menores de pH (8.3 a 8.7) para ánodos de hierro.

En cuanto al efecto del tiempo de tratamiento en la reducción de la DQO, (Ensano et al., 2017) destacaron que el incremento en la duración del tiempo de reacción desempeña una función trascendental en el proceso de EC. El autor (Moussa et al., 2017) subrayan que, a medida que se prolonga el tiempo de electrólisis, se incrementa la eficiencia en la eliminación de contaminantes; sin embargo, al llegar al tiempo óptimo de electrólisis, la eficiencia de reducción permanece constante y no experimenta mejoras a medida que se prolonga el tiempo, ya que hay suficientes flóculos disponibles para su eliminación.

En consecuencia, (Mohora et al., 2014) resalta que la eliminación de contaminantes está relacionada de manera proporcional con el tiempo de reacción, así como a la densidad de corriente eléctrica. Con respecto al presente estudio, la mayor eficiencia de reducción de la DQO se logró mediante un tiempo de tratamiento de 15 min y no bajo la condición de 30 min. Por consiguiente, (Koby et al., 2010) resalta que la combinación de Fe-Al como electrodos consume menos corriente durante la misma duración de tratamiento de 15 min. Los autores (Chellam & Sari, 2016) hacen hincapié en que la duración del tratamiento es un factor relacionado con la fuente de electricidad, consumo de energía, tipo de electrodos, entre otros.

Por tal motivo, el autor (Malakootian et al., 2010) enfatiza que, a pesar de prolongar el tiempo de reacción no necesariamente implica un incremento en la eficiencia de reducción de contaminantes, debido al elevado consumo de energía y electrodos asociados. Considerando la carga de energía requerida y la eficiencia del proceso, se estima que el tiempo de reacción óptimo se sitúa entre los 20-30 min (Malakootian et al., 2010). De modo que el autor (Hussin et al., 2017) resalta la importante de optimizar el tiempo de tratamiento, el cual está ligado al costo del proceso.

La temperatura es otro parámetro operativo relevante, puesto que está relacionado con la sensibilidad de los microorganismos (Boinpally et al., 2023). Del mismo modo, diferentes autores afirman que el incremento de la temperatura mejora la movilidad molecular, resultando en mayor colisión de partículas, formación de flóculos y una mayor eficiencia en la reducción de contaminantes (Benazzi et al., 2016; Jallouli et al., 2020; Mohora et al., 2014). Del mismo modo, (Reátegui-Romero, Tuesta-Tinoco, et al., 2020) refieren que la temperatura puede influir en la velocidad de reacción, así como la conductividad eléctrica, la cual puede afectar la formación de flóculos.

Sin embargo, (Islam & Didar, 2017) aclaran que el aumento de la temperatura puede tener efectos positivos y negativos en la eficiencia del proceso. (Çırak, 2018) establece que el incremento de la temperatura mejora la eliminación de la turbidez debido a las propiedades químicas del aluminio, ya que la concentración de la especie coagulante ( $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ) en suspensión se incrementó mediante el aumento de la temperatura. De igual forma, (Sediqi et al., 2021) observó que un aumento significativo en la temperatura condujo a mayores niveles de reducción de la DQO, independientemente de otros factores, aunque también destacó que el aumento de la temperatura tiene un límite, ya que un exceso de energía podría dispersar los flóculos.

En el presente estudio, se aprecia que la temperatura alcanzó los 24.2 °C en el tratamiento T5, identificado como el tratamiento óptimo. No obstante, (Hawari et al., 2015) señala que la temperatura de la solución suele estar influenciada por factores ambientales y operativos, los cuales deben ser monitoreados. En consecuencia, las temperaturas más altas registradas ocurrieron en los que el “voltaje aplicado” y “tiempo

de tratamiento” fueron mayores. Entre ellos, se encuentran los tratamientos T4 (Al, 10 V, 30 min) y T8 (Fe, 10 V, 30 min) con valores de 25.7 °C y 25.3 °C, respectivamente.

En relación con esta variación, (Reátegui-Romero, Tuesta-Tinoco, et al., 2020) afirman que, al aplicar el mismo voltaje (V) la variación de la temperatura en el tiempo es mayor cuando el Al cumple el rol de ánodo, a diferencia del Fe. De la misma manera, (Ilhan et al., 2008) señala que, cuando se aplica la misma densidad de corriente, la temperatura experimentó un aumento de 23.8 °C a 25.5 °C con el electrodo de Al y de 23.8 °C a 25.3 °C con el electrodo de Fe, bajo un rango de tratamiento de 0 a 30 min.

En referencia al tercer y último parámetro operativo analizado, la conductividad eléctrica se refiere a la capacidad cuantitativa de una solución para conducir corriente eléctrica (Cerna Huerttas & Gamboa Zavala, 2021). La conductividad eléctrica, al igual que el pH y la temperatura, determinan las reacciones acontecidas en el sistema de EC, tal como la formación de coagulantes. Además, dependiendo del tiempo de contacto y de la energía eléctrica aplicada, la conductividad eléctrica también cambia (Ilhan et al., 2008; Vepsäläinen, 2012). Así pues, (Deveci et al., 2019) afirman que, conforme al aumento de temperatura, la conductividad eléctrica en el agua aumenta, mejorando la eficiencia del tratamiento.

De acuerdo con la presente investigación, se experimentó un aumento de la temperatura inicial al tratamiento T5 (Fe, 5 V, 15 min) y la conductividad se redujo, pasando de un valor de 2035  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 1674  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente. Este valor final fue uno de los menores valores en comparación con el resto de tratamientos; sin embargo, fue el tratamiento donde se obtuvo la mayor reducción de la DQO. Ello podría indicar la reducción de iones disueltos en el agua durante el proceso de EC, provocando que la

cantidad de partículas cargadas eléctricamente disminuyan, lo que repercute en la conductividad eléctrica del agua.

Por consiguiente, (Ilhan et al., 2008) sostiene que, al utilizar la misma densidad de corriente, la conductividad eléctrica disminuye, habiendo una leve diferencia a los 15 min entre electrodos de Al o Fe, pero con una tendencia a coincidir a los 30 min. En ese sentido, (Veintimilla Acosta, 2015) refiere que la conductividad es elevada debido a la presencia de impurezas, especialmente sales disueltas. De igual forma, (García Alcócer, 2007) afirma que, cuando la cantidad de sales disueltas en una solución acuosa aumenta, también lo hace la conductividad; no obstante, cuando la solución alcanza la saturación, la libertad de movimiento se ve restringida y, en lugar de aumentar, la conductividad tiende a disminuir.

Asimismo, (Hernández Rodríguez, 2016) enfatiza que la conductividad proporciona información sobre la viabilidad de utilizar AR tratada para el riego, dado que numerosas plantas son susceptibles a las sales disueltas. Debido a la exposición prolongada del suelo a riegos con agua de alta conductividad puede ocasionar la inutilización del terreno para el cultivo. Cabe mencionar que la conductividad está influenciada tanto por la naturaleza del electrolito como por su concentración (Sahu et al., 2014). Además, la conductividad ejerce una influencia significativa en la densidad de corriente, lo que podría resultar en una disminución del consumo de energía (An et al., 2016).

Por último, de acuerdo con el efecto del voltaje en la reducción de la DQO, (Nasrullah et al., 2014) indican que la regulación del voltaje es un factor operativo esencial, ya que la densidad de corriente varía con el tiempo de tratamiento. Así pues, cualquier aumento en la resistencia óhmica puede influir en la corriente eléctrica, mientras que la formación

de depósitos de sal (carbonatos) en la superficie de metal de Fe puede generar un impacto en la corriente eléctrica. (Zaied et al., 2020) señala que el voltaje controla directamente la cantidad de coagulante, así como la generación de burbujas, por lo que induce activamente la mezcla de la solución entre los electrodos del ánodo y cátodo.

De igual manera, la densidad de corriente desempeña un papel trascendental en la velocidad de reacción dentro del reactor (G. Chen, 2004) debido a que determina la tasa de producción de coagulantes y formación de los flóculos (Aouni et al., 2009; Kobya & Demirbas, 2015). A su vez, (Sahu et al., 2014) subraya que la cantidad de metal disuelto o depositado está directamente relacionado con la electricidad que fluye a través de la solución electrolítica.

El autor (Barrera-Díaz et al., 2011) reitera que, conforme a la Ley de Faraday, un incremento en la densidad de corriente resulta en una mayor velocidad de disolución del material del electrodo, lo cual provoca un aumento en la concentración de iones metálicos provenientes del ánodo de sacrificio, mejorando así la formación de flóculos. Sin embargo, (Ndjomgoue-Yossa et al., 2015) enfatiza que, al incrementar la densidad de corriente, se limita la eficiencia, posiblemente debido al incremento de la temperatura en la solución y la volatilidad en el proceso de electrocoagulación. En el presente estudio se experimentó con dos niveles de voltajes, los cuales fueron de 5 y 10 V, aunque la condición óptima se logró en el tratamiento T5 (Fe, 5 V, 15 min), el cual requirió de 5 V, 0.98 A, alcanzó una densidad de corriente de 17.01 A/m<sup>2</sup>.

La energía eléctrica consumida fue de 1.63 kWh para un volumen de 0.00075 m<sup>3</sup>. Con respecto a ello, se contrasta con otros estudios como (Kuokkanen et al., 2013), quién menciona que se consumió 1.62 kWh para el tratamientos de muestras de AR



proveniente de la industria textil, donde el volumen tratado fue de 0.0018 m<sup>3</sup>. Así también, (Reátegui Romero et al., 2018) calculó la energía eléctrica consumida para un volumen de AR de 0.004 m<sup>3</sup>, bajo 30 minutos, con un voltaje de 3.7 V, llegando a un consumo de 3.30 kWh. A su vez, (Reátegui-Romero, Tuesta-Tinoco, et al., 2020) trabajó con un voltaje de 6 V, amperaje de 5.98 A, un volumen de agua de 0.005 m<sup>3</sup>, bajo 10 minutos, lo cual resultó en un consumo de energía de 1.20 kWh.

Adicionalmente, (Priya & Jeyanthi, 2019) determinaron que la densidad de corriente de 25 A/m<sup>2</sup> fue óptima para la reducción de DQO (95.1 %) y A&G (92.5 %) de efluentes de lavado de automóviles un tiempo de reacción de 40 min. La densidad de corriente óptima implica alcanzar el equilibrio entre los costos operativos y la eficiencia en el manejo del pH, la temperatura, el caudal y otros factores (Farhadi et al., 2012; Liu et al., 2010). En efecto, para garantizar un funcionamiento efectivo a largo plazo del sistema de EC, se recomienda que la densidad de corriente se mantenga en el intervalo de 20 a 25 A/m<sup>2</sup> (Sahu et al., 2014).

Finalmente, de acuerdo con los parámetros microbiológicos y parasitológico analizados en el presente estudio (CTT, *E. coli* y HH), es importante discutir los porcentajes de reducción que se obtuvieron bajo la condición óptima del tratamiento T5 (Fe, 5 V, 15 min) debido a su implicancia legal en situaciones de reutilización de aguas residuales previamente tratadas, de acuerdo con la normativa ambiental vigente (Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Establecen Disposiciones Complementarias, 2017). Para el caso de los parámetros CTT y *E. coli*, se logró la eficiencia del 99.99 % en cada uno de ellos.

El autor (Tamani Aguirre, 2017) asevera que, en un lapso de 30 min, con una intensidad de corriente de 2 A, es posible la eliminación del 99.99 % de los parámetros de CTT y *E. coli*. Asimismo, menciona que el tiempo y la densidad de corriente tienen un efecto estadísticamente significativo sobre dichos parámetros (Aguilar, 2015a). Del mismo modo, a medida que aumenta el tiempo de reacción y la intensidad de corriente, la reducción de coliformes también se incrementa hasta llegar a un valor de 99.99 % (Velásquez León, 2022).

Además, (Ghernaout et al., 2008) subraya que se requiere de 30 min para lograr la eliminación total de *E. coli* mediante electrodos de Al. Sin embargo, (Hashim et al., 2019) agrega que la reducción completa de coliformes y *E. coli* se experimentó mediante electrodos de Ti y Al, con un voltaje de 0.8 V y durante 8 h de tiempo de tratamiento. Cabe mencionar que en caso del parámetro HH el valor que se alcanzó corresponde a un valor menor a 1, el cual no presenta observación, ya que cumple con lo establecido en el ECA-agua.

## VII. CONCLUSIONES

Tras un exhaustivo análisis e interpretación de información recopilada en la presente investigación sobre el efecto del “tipo de electrodo”, “voltaje aplicado” y “tiempo de tratamiento” para la reducción de la DQO en aguas residuales, se concluye que la condición óptima (Fe, 5 V y 15 min) permitió la eficiencia del 71.77 %. A su vez, la variación del pH, la temperatura y la conductividad eléctrica han sido relevantes para comprender la eficiencia del proceso electroquímico, los cuales llegaron a un valor óptimo de 8.41, 24.2 °C y 1674  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y, a su vez, cumplieron con el ECA-agua. Con respecto a la eficiencia de los demás parámetros se logró la reducción del 90.75 % de la  $\text{DBO}_5$ , 83.33 % de los SST, 70.45 % de A&G, 99.99 % de los CTT y *E. coli*. Cabe mencionar que el parámetro HH alcanzó un valor menor a 1, antes y después del tratamiento.

Sin embargo, a pesar de las altas eficiencias alcanzadas, es necesario complementar con otros métodos de tratamiento específicos, a fin de lograr la reducción y cumplimiento legal de los parámetros DQO,  $\text{DBO}_5$  y CTT ya que se pretende reusar del agua residual tratada para riego de plantas. Este esfuerzo adicional podría deberse a la carga orgánica adicional que aporta el Hospital de Majes a través de sus aguas residuales a la PTAR de estudio. Finalmente, de acuerdo con el T5, el voltaje aplicado fue de 5 V, el cual requirió de 0.98 A, obteniéndose una densidad de corriente de 17.01  $\text{A}/\text{m}^2$  y una eficiencia energética de 1.63 kWh para un volumen de 0.0075  $\text{m}^3$ .

## VIII.RECOMENDACIONES

Se recomienda dar continuidad a la investigación enfocada a la optimización del tratamiento, a través de la configuración de densidades de corriente, tipos de electrodos y la extensión del tiempo de tratamiento para tener una mayor amplitud de la eficiencia de EC, lo que permitiría escalar la investigación con mayor precisión.

Es importante tener en cuenta el enjuague de la superficie de las placas de los electrodos con regularidad, ya que cualquier depósito de lodo en los electrodos reduce la liberación de cationes metálicos en la solución y genera una mayor resistencia eléctrica, por lo que se reduce la eficiencia del proceso.

Asimismo, en cuanto al diseño del sistema de electrocoagulación, se plantea procurar la optimización el área de los electrodos para que se encuentren sumergidos completamente, de manera que toda la superficie del área de contacto se encuentre dentro de la muestra de agua que se requiera tratar.

La disposición de lodos generados representa un costo adicional. En ese sentido, es fundamental optar por el reaprovechamiento de estos aplicado a campos agrícolas. Aunque será necesario analizar su composición para contrastar la calidad e inocuidad con respecto a estándares aplicables.

Tener en consideración el uso de energía renovable (solar) en futuras investigaciones acorde con el tratamiento de efluentes mediante EC fotovoltaica en la región de Arequipa, ya que cuenta con una alta radiación que puede ser aprovechada a fin de reducir costos operativos.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Gawad, S. A., Baraka, A. M., Omran, K. A., & Mokhtar, M. M. (2012). Removal of Some Pesticides from the Simulated Waste Water by Electrocoagulation Method Using Iron Electrodes. *Int. J. Electrochem. Sci*, 7, 6654–6665. [www.electrochemsci.org](http://www.electrochemsci.org)
- Aguilar, E. (2015a). Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. *Revista Del Instituto de Investigación*, 18, 69. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v18i35.11843>
- Aguilar, E. (2015b). *Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Al-Raad, A. A., & Hanafiah, M. M. (2021). Removal of inorganic pollutants using electrocoagulation technology: A review of emerging applications and mechanisms. *Journal of Environmental Management*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113696>
- American Water Works Association. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (W. Lipps, E. Braun-Howland, & T. Baxter (eds.); 24th ed.).
- An, C., Huang, G., Yao, Y., & Zhao, S. (2016). Emerging usage of electrocoagulation technology for oil removal from wastewater: A review. *Science of the Total Environment*, 579, 537–556. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.062>
- Anwer, E., & Abdulmajeed, B. (2020). Electrocoagulation for Treatment of Simulated Blowdown Water Of Cooling Tower. *Journal of Engineering*, 26(10), 1–14. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2020.10.01>
- Aouni, A., Fersi, C., Ben Sik Ali, M., & Dhahbi, M. (2009). Treatment of textile wastewater by a hybrid electrocoagulation/nanofiltration process. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2–3), 868–874. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.112>
- Apaza Medina, B. (2022). *ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CARGA ORGÁNICA Y PATÓGENA EN EL EFLUENTE DEL MATADERO “EL CORRALITO” SAN ROMAN - 2021*. Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.
- Arango Ruiz, Á. (2005). *La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales*.
- Arango Ruiz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *REVISTA Universidad EAFIT*, 43(147), 56–67.
- Ariffin, N., Mustafa, M., Abdullah, A. B., Remy, M., Mohd, R., Zainol, A., Murshed, M. F., Zain, H., Faris, M. A., & Bayuaji, R. (2017). *Review on Adsorption of Heavy Metal in Wastewater by Using Geopolymer*.
- Astorga Gómez, J. (2014). Aplicación de modelos de regresión lineal para determinar las armónicas de tensión y corriente Application of linear regression models to

- determine the current and voltage harmonics. *Ingeniería Energética*, 3, 234–241.
- Barrera-Díaz, C., Bilyeu, B., Roa, G., & Bernal-Martinez, L. (2011). Physicochemical aspects of electrocoagulation. *Separation and Purification Reviews*, 40(1), 1–24. <https://doi.org/10.1080/15422119.2011.542737>
- Bayramoglu, M., Eyvaz, M., & Kobya, M. (2007). Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation. Economical evaluation. *Chemical Engineering Journal*, 128(2–3), 155–161. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.10.008>
- Benazzi, T. L., Di Luccio, M., Dallago, R. M., Steffens, J., Mores, R., Do Nascimento, M. S., Krebs, J., & Ceni, G. (2016). Continuous flow electrocoagulation in the treatment of wastewater from dairy industries. *Water Science and Technology*, 73(6), 1418–1425. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.620>
- Bento, A. (2005). *TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO COM SUPORTES PARA O DESENVOLVIMENTO DE PERIFITON-BIOFILME*.
- Bhios Laboratorio. (2023). *Informe de Ensayos N°1731-2023*.
- Bhios Laboratorios. (2022). *Informe de ensayos N° 5995 - 2022*.
- Boinpally, S., Kolla, A., Kainthola, J., Kodali, R., & Vemuri, J. (2023). A state-of-the-art review of the electrocoagulation technology for wastewater treatment. *Water Cycle*, 4, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2023.01.001>
- Boyles, W. (1997). *The science of chemical oxygen demand*.
- Bukhari, A. (2008). Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater. *Bioresource Technology*, 99(5), 914–921. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.015>
- Cazaudehore, G., Schraauwers, B., Peyrelasse, C., Lagnet, C., & Monlau, F. (2019). Determination of chemical oxygen demand of agricultural wastes by combining acid hydrolysis and commercial COD kit analysis. *Journal of Environmental Management*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109464>
- Cerna Huerttas, L. C., & Gamboa Zavala, A. S. (2021). *Condiciones Técnicas del proceso de Electrocoagulación para una remoción eficiente de Cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre*. Universidad Privada Del Norte.
- Chellam, S., & Sari, M. A. (2016). Aluminum electrocoagulation as pretreatment during microfiltration of surface water containing NOM: A review of fouling, NOM, DBP, and virus control. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 304, pp. 490–501). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.10.054>
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11–41. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.006>
- Chen, G., Chen, X., & Yue, P. L. (2000). ELECTROCOAGULATION AND ELECTROFLOTATION OF RESTAURANT WASTEWATER. *Journal of Environmental Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2000\)126:9\(858\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2000)126:9(858))

- Chen, G. H., Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2020). *Biological Wastewater Treatment*.
- Chen, P., Chang, S., & Hung, Y. (2005). Electrolysis. *Physicochemical Treatment Process*, 3. <https://doi.org/10.1385/1-59259-820-x:359>
- Chezeau, B., Boudriche, L., Vial, C., & Boudjemaa, A. (2020). Treatment of dairy wastewater by electrocoagulation process: Advantages of combined iron/aluminum electrodes. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 55(14), 2510–2527. <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1638935>
- Chopra, A., Kumar, A., & Kumar, V. (2011). *Overview of Electrolytic treatment: An alternative technology for purification of wastewater*. <https://www.researchgate.net/publication/216350479>
- Çirak, M. (2018). High-temperature electrocoagulation of colloidal calcareo-argillaceous suspension. *Powder Technology*, 328, 13–25. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.01.026>
- Cruz-Morató, C., Lucas, D., Llorca, M., Rodriguez-Mozaz, S., Gorga, M., Petrovic, M., Barceló, D., Vicent, T., Sarrà, M., & Marco-Urrea, E. (2014). Hospital wastewater treatment by fungal bioreactor: Removal efficiency for pharmaceuticals and endocrine disruptor compounds. *Science of the Total Environment*, 493, 365–376. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.117>
- Darban, A. K., Shahedi, A., Taghipour, F., & Jamshidi-Zanjani, A. (2020). A review on industrial wastewater treatment via electrocoagulation processes. *Current Opinion in Electrochemistry*, 22, 154–169. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2020.05.009>
- Deveci, E. Ü., Akarsu, C., Gönen, Ç., & Özay, Y. (2019). Enhancing treatability of tannery wastewater by integrated process of electrocoagulation and fungal via using RSM in an economic perspective. *Process Biochemistry*, 84, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.06.016>
- Doggaz, A., Attour, A., Le Page Mostefa, M., Tlili, M., & Lopicque, F. (2018). Iron removal from waters by electrocoagulation: Investigations of the various physicochemical phenomena involved. *Separation and Purification Technology*, 203, 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.04.045>
- Ensano, B. M. B., Borea, L., Naddeo, V., Belgiorno, V., de Luna, M. D. G., & Ballesteros, F. C. (2017). Removal of pharmaceuticals from wastewater by intermittent electrocoagulation. *Water (Switzerland)*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/w9020085>
- EPA. (2002). *Wastewater Technology Fact Sheet Facultative Lagoons*. <http://www.epa.gov/owm/mtb/mtbfact.htm>
- Ezechi, E. H., Affam, A. C., & Muda, K. (2020). Principles of electrocoagulation and application in wastewater treatment. In *Handbook of Research on Resource Management for Pollution and Waste Treatment* (pp. 404–431). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0369-0.ch017>
- Farhadi, S., Aminzadeh, B., Torabian, A., Khatibikamal, V., & Alizadeh Fard, M. (2012). Comparison of COD removal from pharmaceutical wastewater by



- electrocoagulation, photoelectrocoagulation, peroxi-electrocoagulation and peroxi-photoelectrocoagulation processes. *Journal of Hazardous Materials*, 219–220, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.03.013>
- García Alcócer, A. (2007). *ESTUDIO EXPERIMENTAL Y TEÓRICO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE SOLUCIONES ÁCIDAS DE NÍQUEL Y ZINC*. Universidad de Chile.
- Gatsios, E., Hahladakis, J. N., & Gidaracos, E. (2015). Optimization of electrocoagulation (EC) process for the purification of a real industrial wastewater from toxic metals. *Journal of Environmental Management*, 154, 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.018>
- Ghernaout, D., Badis, A., Kellil, A., & Ghernaout, B. (2008). Application of electrocoagulation in Escherichia coli culture and two surface waters. *Desalination*, 219(1–3), 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.05.010>
- Ghosh, D., Medhi, C. R., & Purkait, M. K. (2008). Treatment of fluoride containing drinking water by electrocoagulation using monopolar and bipolar electrode connections. *Chemosphere*, 73(9), 1393–1400. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.08.041>
- Gorski, C. A., Edwards, R., Sander, M., Hofstetter, T. B., & Stewart, S. M. (2016). Thermodynamic Characterization of Iron Oxide-Aqueous Fe<sup>2+</sup> Redox Couples. *Environmental Science and Technology*, 50(16), 8538–8547. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02661>
- Gutierrez Pulido, H., & De La Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos* (3ra Edición). Mc Graw Hill.
- Hakizimana, J. N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P., & Naja, J. (2017). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*, 404, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.011>
- Hamada, M., Ghalwa, N. A., B. Farhat, N., Mahllawi, K. Al, & Jamee, N. (2018). Optimization of Electrocoagulation on Removal of Wastewater Pollutants. *International Journal of Waste Resources*, 08(04). <https://doi.org/10.4172/2252-5211.1000357>
- Hashim, K. S., Ali, S. S. M., AlRifaie, J. K., Kot, P., Shaw, A., Al Khaddar, R., Idowu, I., & Gkantou, M. (2020). Escherichia coli inactivation using a hybrid ultrasonic electrocoagulation reactor. *Chemosphere*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125868>
- Hashim, K. S., AlKhaddar, R., Shaw, A., Kot, P., Al-Jumeily, D., Alwash, R., & Aljefery, M. H. (2019). Electrocoagulation as an Eco-Friendly River Water Treatment Method. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 39). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8181-2\\_17](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8181-2_17)
- Hawari, A. H., Du, F., Baune, M., & Thöming, J. (2015). A fouling suppression system in submerged membrane bioreactors using dielectrophoretic forces. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 29, 139–145.



<https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.07.027>

- Hernández Rodríguez, G. E. (2016). *ESTUDIO DEL MANEJO DEL AGUA EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS Y SU INCIDENCIA EN LOS INDICADORES DE DESEMPEÑO AMBIENTAL EN LA SOCIEDAD COOPERATIVA YUTATHUI DE R.L.* Universidad De El Salvador.
- Holt, P. K., Barton, G. W., & Mitchell, C. A. (2005). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*, 59(3), 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.023>
- Hussin, F., Abnisa, F., Issabayeva, G., & Aroua, M. K. (2017). Removal of lead by solar-photovoltaic electrocoagulation using novel perforated zinc electrode. *Journal of Cleaner Production*, 147, 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.096>
- Ilhan, F., Kurt, U., Apaydin, O., & Talha, M. (2008). Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1–3), 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.035>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2022*.
- Iriarte, M. (2019). Indicadores de calidad del agua residual doméstica descargada en la franja litoral de la Laguna de Puntas de Piedras, Isla de Margarita, Venezuela. *Memoria de La Fundación de La Salle de Ciencias Naturales*.
- Islam, U., & Didar, S. (2017). Electrocoagulation (EC) technology for wastewater treatment and pollutants removal. *Sustainable Water Resources Management*, 5(1), 359–380. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0152-1>
- Jallouli, S., Wali, A., Buonerba, A., Zarra, T., Belgiorno, V., Naddeo, V., & Ksibi, M. (2020). Efficient and sustainable treatment of tannery wastewater by a sequential electrocoagulation-UV photolytic process. *Journal of Water Process Engineering*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101642>
- Jones, E. R., Van Vliet, M. T. H., Qadir, M., & Bierkens, M. F. P. (2021). Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System Science Data*, 13(2), 237–254. <https://doi.org/10.5194/essd-13-237-2021>
- Junta Administradora de Servicios de Saneamiento. (2015). *Acta de Fundación JASS BH*.
- Khan, N. A., Khan, S. U., Ahmed, S., Farooqi, I. H., Dhingra, A., Hussain, A., & Changani, F. (2019). Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment: A review. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 16(4), 81–86. <https://doi.org/10.3233/AJW190051>
- Kobyas, M., & Demirbas, E. (2015). Evaluations of operating parameters on treatment of can manufacturing wastewater by electrocoagulation. *Journal of Water Process Engineering*, 8, 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.09.006>
- Kobyas, M., Demirbas, E., Parlak, N. U., & Yigit, S. (2010). Treatment of cadmium and nickel electroplating rinse water by electrocoagulation. *Environmental Technology*,

31(13), 1471–1481. <https://doi.org/10.1080/09593331003713693>

- Kobyas, M., Soltani, R. D. C., Omwene, P. I., & Khataee, A. (2020). A review on decontamination of arsenic-contained water by electrocoagulation: Reactor configurations and operating cost along with removal mechanisms. In *Environmental Technology and Innovation* (Vol. 17). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100519>
- Kotz, R., Stucki, S., & Carcer, B. (1991). Electrochemical waste water treatment using high overvoltage anodes. Part I: Physical and electrochemical properties of SnO<sub>2</sub> anodes. *JOURNAL OF APPLIED ELECTROCHEMISTRY*, 21, 14–20. <https://doi.org/10.1007/BF01103823>
- Koyuncu, S., & Arıman, S. (2020). Domestic wastewater treatment by real-scale electrocoagulation process. *Water Science and Technology*, 81(4), 656–667. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.128>
- Kuokkanen, V. (2016). *Utilization of electrocoagulation for water and wastewater treatment and nutrient recovery : techno-economic studies*.
- Kuokkanen, V., Kuokkanen, T., Rämö, J., & Lassi, U. (2013). Recent Applications of Electrocoagulation in Treatment of Water and Wastewater—A Review. *Green and Sustainable Chemistry*, 03(02), 89–121. <https://doi.org/10.4236/gsc.2013.32013>
- Kurt, U., Talha, M., İlhan, F., & Varınca, K. (2008). Treatment of domestic wastewater by electrocoagulation in a cell with Fe-Fe electrodes. *Environmental Engineering Science*, 25(2), 153–161. <https://doi.org/10.1089/ees.2006.0132>
- Lacasa, E., Cotillas, S., Saez, C., Lobato, J., Cañizares, P., & Rodrigo, M. A. (2019). Environmental applications of electrochemical technology. What is needed to enable full-scale applications? *Current Opinion in Electrochemistry*, 16, 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2019.07.002>
- Larios Meoño, F., González Taranco, C., & Morales Olivares, Y. (2015). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú*.
- Lee, Y., Kovalova, L., McArdell, C. S., & von Gunten, U. (2014). Prediction of micropollutant elimination during ozonation of a hospital wastewater effluent. *Water Research*, 64, 134–148. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.06.027>
- Lin, S. H., Shyu, C. T., & Sun, M. C. (1998). *SALINE WASTEWATER TREATMENT BY ELECTROCHEMICAL METHOD*.
- Linares-Hernández, I., Barrera-Díaz, C., Roa-Morales, G., Bilyeu, B., & Ureña-Núñez, F. (2009). Influence of the anodic material on electrocoagulation performance. *Chemical Engineering Journal*, 148(1), 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.08.007>
- Liu, H., Zhao, X., & Qu, J. (2010). Electrocoagulation in water treatment. In *Electrochemistry for the Environment* (pp. 1–563). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68318-8>
- Mackenzie, L. (2019). *WATER AND WASTEWATER ENGINEERING*.

- Malakootian, M., Mansoorian, H. J., & Moosazadeh, M. (2010). Performance evaluation of electrocoagulation process using iron-rod electrodes for removing hardness from drinking water. *Desalination*, 255(1–3), 67–71. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.01.015>
- Mayta, R., & Mayta, J. (2017). REMOCIÓN DE CROMO Y DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE POR ELECTROCOAGULACIÓN. *Rev Soc Quím Perú*, 83(3).
- Mickley, M. (2009). Treatment of Concentrate. *Reclamation Managing Water in the West*, 22161. [www.usbr.gov/pmts/water/publications/reports.html](http://www.usbr.gov/pmts/water/publications/reports.html)
- Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, (2010).
- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y establecen Disposiciones Complementarias, (2017).
- Mohora, E., Rončević, S., Agbaba, J., Tubić, A., Mitić, M., Klačnja, M., & Dalmacija, B. (2014). Removal of arsenic from groundwater rich in natural organic matter (NOM) by continuous electrocoagulation/flocculation (ECF). *Separation and Purification Technology*, 136, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.09.006>
- Mollah, M., Morkovsky, P., Gomes, J., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 114(1–3), 199–210. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009>
- Moussa, D. T., El-Naas, M. H., Nasser, M., & Al-Marri, M. J. (2017). A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. *Journal of Environmental Management*, 186, 24–41. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.032>
- Nagarajappa, D., Impa, J., Gowdak, K., & Manjunah, N. (2015). Domestic Wastewater Treatment by Electrocoagulation Using Copper and Aluminum Electrodes. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 04(06), 3844–3850. <https://doi.org/10.15680/ijirset.2015.0406006>
- Naje, A. S., Chelliapan, S., Zakaria, Z., Ajeel, M. A., & Alaba, P. A. (2016). A review of electrocoagulation technology for the treatment of textile wastewater. *Reviews in Chemical Engineering*, 33(3), 263–292. <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0019>
- Nasrullah, M., Islam, N., & Zularisam, A. W. (2014). Effect of High Current Density in Electrocoagulation Process for Sewage Treatment. *Asian Journal of Chemistry*, 26(12), 70–73.
- Nasrullah, M., Singh, L., Krishnan, S., Sakinah, M., & Zularisam, A. W. (2017). Electrode design for electrochemical cell to treat palm oil mill effluent by electrocoagulation process. *Environmental Technology and Innovation*, 9, 323–341. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.10.001>
- Ndjomgoue-Yossa, A. C., Nanseu-Njiki, C. P., Kengne, I. M., & Ngameni, E. (2015). Effect of electrode material and supporting electrolyte on the treatment of water

- containing *Escherichia coli* by electrocoagulation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(6), 2103–2110. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0609-9>
- Nigri, E. M., Santos, A. L. A., & Rocha, S. D. F. (2020). Removal of organic compounds, calcium and strontium from petroleum industry effluent by simultaneous electrocoagulation and adsorption. *Journal of Water Process Engineering*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101442>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Papadopoulos, K. P., Argyriou, R., Economou, C. N., Charalampous, N., Dailianis, S., Tatoulis, T. I., Tekerlekopoulou, A. G., & Vayenas, D. V. (2019). Treatment of printing ink wastewater using electrocoagulation. *Journal of Environmental Management*, 237, 442–448. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.080>
- Pattanayak, A. S., Pattnaik, B. S., Udgata, S. K., & Panda, A. K. (2020). Development of Chemical Oxygen on Demand (COD) Soft Sensor Using Edge Intelligence. *IEEE Sensors Journal*, 20(24), 14892–14902. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3010134>
- Priya, M., & Jeyanthi, J. (2019). Removal of COD, oil and grease from automobile wash water effluent using electrocoagulation technique. *Microchemical Journal*, 150(July), 104070. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104070>
- Qadir, M., Drechsel, P., Jiménez Cisneros, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P., & Olaniyan, O. (2020). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Resources Forum*, 44(1), 40–51. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187>
- Rahman, S., & Borhan, M. S. (2014). Electrolysis of swine manure effluents using three different electrodes Fe-Fe, Al-Al and Fe-Al. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 9(4), 490–502. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2014.490.502>
- Reátegui-Romero, W., Morales-Quevedo, S. E., Huanca-Colos, K. W., Figueroa-Gómez, N. M., King-Santos, M. E., Zaldivar-Alvarez, W. F., Pino, L. V. F. Del, Yuli-Posadas, R. A., & Bulege-Gutiérrez, W. (2020). Effect of current density on cod removal efficiency for wastewater using the electrocoagulation process. *Desalination and Water Treatment*, 184, 15–29. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25341>
- Reátegui-Romero, W., Tuesta-Tinoco, S. A., De la Cruz, C. E. O., Huamán-Ccopa, J. A., King-Santos, M. E., Estrada-Huamani, E. F., Bulege-Gutiérrez, W., Yuli-Posadas, R. A., & Fernández-Guzmán, V. (2020). Electrocoagulation in batch mode for the removal of the chemical oxygen demand of an effluent from slaughterhouse wastewater in Lima Peru: Fe and Al electrodes. *Desalination and Water Treatment*, 202, 206–218. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26175>
- Reátegui Romero, W., Flores Del Pino, L. V., Guerrero Guevara, J. L., Castro Torres, J., Rea Marcos, L. M., King Santos, M. E., & Yuli Posadas, R. (2018). Benefits of Electrocoagulation in Treatment of Wastewater: Removal of Fe and Mn metals, oil and grease and COD: three case studies. *International Journal of Applied*

- Engineering Research*, 13(8), 6450–6462. <http://www.ripublication.com>
- Restrepo, P., Arango, Á., & Garcés, L. (2006). *Electrocoagulation: Challenges and opportunities in water treatment* Artículo de Revisión.
- Rodriguez, J., Stopić, S., Krause, G., & Friedrich, B. (2007). Feasibility assessment of electrocoagulation towards a new sustainable wastewater treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 14(7), 477–482. <https://doi.org/10.1065/espr2007.05.424>
- Sahu, O., Mazumdar, B., & Chaudhari, P. K. (2014). Treatment of wastewater by electrocoagulation: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(4), 2397–2413. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2208-6>
- Sedigi, S., Bazargan, A., & Mirbagheri, S. A. (2021). Consuming the least amount of energy and resources in landfill leachate electrocoagulation. *Environmental Technology and Innovation*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101454>
- Shafaei, A., Pajootan, E., Nikazar, M., & Arami, M. (2011). Removal of Co (II) from aqueous solution by electrocoagulation process using aluminum electrodes. *Desalination*, 279(1–3), 121–126. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.070>
- Shen, F., Chen, X., Gao, P., & Chen, G. (2003). Electrochemical removal of fluoride ions from industrial wastewater. *Chemical Engineering Science*, 58(3–6), 987–993. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(02\)00639-5](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(02)00639-5)
- Shokoohi, R., Asgari, G., Leili, M., Khiadani, M., Foroughi, M., & Sedighi Hemmat, M. (2017). Modelling of moving bed biofilm reactor (MBBR) efficiency on hospital wastewater (HW) treatment: a comprehensive analysis on BOD and COD removal. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(4), 841–852. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1255-9>
- Singh, S., Singh, S., Lo, S. L., & Kumar, N. (2016). Electrochemical treatment of Ayurveda pharmaceuticals wastewater: Optimization and characterization of sludge residue. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 67, 385–396. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.08.028>
- Singh, V., & Das, D. (2018). Potential of hydrogen production from biomass. In *Science and Engineering of Hydrogen-Based Energy Technologies: Hydrogen Production and Practical Applications in Energy Generation* (pp. 123–164). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814251-6.00003-4>
- Smoczyński, L., Kalinowski, S., Ratnaweera, H., Kosobucka, M., Trifescu, M., & Pieczulis-Smoczyńska, K. (2017). Electrocoagulation of municipal wastewater - a pilot-scale test. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, 72, 162–168. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.20654>
- Smoczyński, L., Teresa Muńska, K., Kosobucka, M., & Pierożyński, B. (2014). PHOSPHORUS AND COD REMOVAL FROM CHEMICALLY AND ELECTROCHEMICALLY COAGULATED WASTEWATER. *Environment Protection Engineering*, 40(3). <https://doi.org/10.5277/epe140305>
- Sperling, M. (2007). *Waste Stabilisation Ponds*.



- SUNASS. (2019). *DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DEL DEPARTAMENTO DE AREQUIPA*. [www.sunass.gob.pe](http://www.sunass.gob.pe)
- SUNASS. (2022). *Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras*.
- Tahreen, A., Jami, M. S., & Ali, F. (2020). Role of electrocoagulation in wastewater treatment: A developmental review. In *Journal of Water Process Engineering* (Vol. 37). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101440>
- Taira, N., Murakami, Y., Yamane, M., Wakida, S., Takeda, S., Siroma, Z., Higashi, K., & Takenaka, H. (1998). Application of solid polymerelectrolyte for treatment of water coloured by dyestuffs. *Japan Society on Water Environment*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2965/jswe.21.47>
- Tamani Aguirre, Y. H. (2017). *ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE DEL EFLUENTE DEL MATADERO MUNICIPAL DE TINGO*. Universidad Agraria De La Selva.
- Tanatti, N. P., Şengil, İ. A., & Özdemir, A. (2018). Optimizing TOC and COD removal for the biodiesel wastewater by electrocoagulation. *Applied Water Science*. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0701-2>
- Tegladza, I. D., Xu, Q., Xu, K., Lv, G., & Lu, J. (2021). Electrocoagulation processes: A general review about role of electro-generated flocs in pollutant removal. In *Process Safety and Environmental Protection* (Vol. 146, pp. 169–189). Institution of Chemical Engineers. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.08.048>
- Tir, M., & Moulai-mostefa, N. (2008). Optimization of oil removal from oily wastewater by electrocoagulation using response surface method. *Journal of Hazardous Materials*, 158, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.051>
- Tyagi, N., Poswal, D., Mathur, S., & Kumar, D. (2014). Electrocoagulation process for textile wastewater treatment in continuous upflow reactor. In *Article in Journal of Scientific and Industrial Research* (Vol. 73). <https://www.researchgate.net/publication/262600473>
- Veintimilla Acosta, M. V. (2015). *CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GENERADAS EN LA PARROQUIA TACHINA DEL CANTÓN ESMERALDAS*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Velásquez León, A. P. (2022). *Evaluación de la eficiencia de la electrocoagulación como tratamiento complementario para las aguas del río Surco en la planta de tratamiento de San Borja (PTSB), Lima - Perú, 2021*. <https://doi.org/https://doi.org/10.21142/tl.2022.2673>
- Vepsäläinen, M. (2012). *Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewaters*.
- Verlicchi, P., Al Aukidy, M., & Zambello, E. (2015). What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent? - An overview and a discussion on perspectives. In *Science of the Total Environment* (Vol. 514, pp. 467–491). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.020>

- Von Sperling, M., & Chernicharo, C. A. D. L. (2005). Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. *IWA Publishing*, 1–856. <http://choicereviews.org/review/10.5860/CHOICE.45-2633>
- Vyas, A., & Jethoo, A. S. (2015). Diversification in Measurement Methods for Determination of Irrigation Water Quality Parameters. *Aquatic Procedia*, 4, 1220–1226. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.155>
- Zaied, B. K., Rashid, M., Nasrullah, M., Zularisam, A. W., Pant, D., & Singh, L. (2020). A comprehensive review on contaminants removal from pharmaceutical wastewater by electrocoagulation process. *Science of the Total Environment*, 726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138095>
- Zajda, M., & Aleksander-Kwaterczak, U. (2019). Wastewater treatment methods for effluents from the confectionery industry-An overview. *Journal of Ecological Engineering*, 20(9), 293–304. <https://doi.org/10.12911/22998993/112557>
- Zhang, J., & Ma, L. (2020). Environmental sustainability assessment of a new sewage treatment plant in china based on infrastructure construction and operation phases energy analysis. *Water (Switzerland)*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/w12020484>

## X. ABREVIATURAS

A: Amperios

Al: Aluminio

A&G: Aceites y Grasas

AR: Aguas Residuales

AWWA: American Water Works Association

CTT: Coliformes Termotolerantes

DQO: Demanda Química de Oxígeno

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

EC: Electrocoagulación

EEC: Energía Eléctrica Consumida

ECA: Estándar de Calidad Ambiental

Fe: Fierro

H<sub>0</sub>: Hipótesis nula

H<sub>1</sub>: Hipótesis alterna

HH: Huevos de Helmintos

INACAL: Instituto Nacional de Calidad

JASS: Junta Administradora de Servicios de Saneamiento

LMP: Límites Máximos Permisibles

NMP: Número Más Probable

N/A: No aplica

pH: Potencial de Hidrógeno

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

S/D: Sin Dato


SST: Sólidos Suspendidos Totales

SUNASS: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento



XI. ANEXOS

Anexo 1: Evidencia de la aprobación del proyecto de tesis.



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 071-2023-DACIA-DAFCA-U. CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 02 de mayo del 2023

**VISTO:**  
El informe de revisión académica independiente y la aprobación de un Comité de Ética (N° de Constancia: 043-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2023) del proyecto de tesis titulado: *Determinación de la eficiencia de la electrocoagulación para la remoción de la demanda química de oxígeno presente en aguas residuales de la Junta administradora de servicios de saneamiento Bello Horizonte, Majes – Arequipa, 2023*, presentado por:

- MILAGROS MARISOL MONTES MATOS


**CONSIDERANDO:**  
Que, de acuerdo con el Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, según la modalidad elegida, es necesario la realización y sustentación de una tesis.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**  
Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: *Determinación de la eficiencia de la electrocoagulación para la remoción de la demanda química de oxígeno presente en aguas residuales de la Junta administradora de servicios de saneamiento Bello Horizonte, Majes – Arequipa, 2023* con N° de registro: **PRE-11-2023-00175**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Fernando Javier Chávez Zegarra** como **asesor(a)** para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,



**Dr. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico  
Carrera de Ingeniería Ambiental

T // (51) 610 6738  
informes@cientifica.edu.pe  
cientifica.edu.pe

**CONSTANCIA N° 043-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2023**

La presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro: **PRE-11-2023-00175**

Título: **Determinación de la eficiencia de la electrocoagulación para la remoción de la demanda química de oxígeno presente en aguas residuales de la Junta administradora de servicios de saneamiento Bello Horizonte, Majes – Arequipa, 2023**

Investigador(a): **Milagros Marisol Montes Matos**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 25 de octubre de 2024**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 26 de abril de 2023



Méd. Vet. Milena Paola Montenegro Veja  
Presidenta (e)

Comité Institucional de Ética en Investigación  
con Animales y Biodiversidad

Anexo 2: Solicitud de colaboración para realizar el trabajo de investigación en la JASS Bello Horizonte.

"Año de la Paz y la Prosperidad"

Majes, 23 de febrero de 2023.

SEÑOR  
**JULIO ENRIQUE VELÁSQUEZ GUILLÉN**  
**PRESIDENTE DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO**  
**"BELLO HORIZONTE"**

Presente.-

**ASUNTO:** Solicitud de información sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) y autorización para realizar el trabajo investigativo.

De mi consideración:

Yo, **Milagros Marisol Montes Matos**, identificada con DNI 74499186, bachiller de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica Del Sur (UCSUR), residiendo actualmente en el distrito de Majes, me dirijo a usted con el debido respeto y expongo:

Habiendo realizado una visita técnica a la PTAR y reconocido el interés de la JASS por la reutilización de aguas residuales para riego de plantas de tallo alto, es fundamental asegurar la calidad de dichas aguas para riego de vegetales, como se indica en el Estándar de Calidad de Agua (ECA- agua).


A su vez, se requiere dar cumplimiento a los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, de acuerdo al DS N° 003-2010-MINAM. En ese sentido, partiendo de dichos límites, el parámetro que se encuentra por encima del límite es la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Por tal motivo, mi proyecto de tesis titulado "**Determinación de la eficiencia de la electrocoagulación para remoción de la Demanda Química de Oxígeno presente en aguas residuales de la JASS Bello Horizonte, Majes – Arequipa, 2023**", tiene el objetivo de implementar un tratamiento factible a nivel económico y sostenible a nivel ambiental.

Por lo tanto, para llevar a cabo dicha investigación, solicito información adecuada y pertinente para sustentar la investigación, tal como: Análisis previos de calidad de agua, especificaciones sobre la planta, etc. Así como la autorización para la recolección de muestras de aguas residuales y el espacio donde se ejecutará la aplicación del tratamiento de electrocoagulación.


Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente,

  
 Milagros Marisol Montes Matos  
 Email: [montesmatos\\_milagros@gmail.com](mailto:montesmatos_milagros@gmail.com)  
 Celular: 942737699  
 Dirección: Calle La Joya, Manzana A29, Lote 24.

Anexo 3: Carta de aceptación de colaboración con la JASS Bello Horizonte.

JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE  
SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE MAJES



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

Majes, 27 de Febrero del 2023

**Srta. Milagros Marisol Montes Matos**  
Ingeniera Ambiental

**Asunto :** Respuesta a solicitud de autorización de realizar el trabajo de investigación.


**JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO JASS BELLO HORIZONTE – MAJES**, con RUC 20602133169, con domicilio fiscal en Asentamiento B-2(dentro de la Municipalidad de Bello Horizonte), debidamente representada por **JULIO VELASQUEZ GUILLEN** identificado con DNI 29675662, ante Usted digo:

Es grato dirigirme a usted para hacerle llegar un cordial saludo y a la vez manifestarle nuestro interés en poder darle las facilidades para realizar esta investigación en nuestras pozas de oxidación; tras la presentación del proyecto a través de su persona y la exposición de la misma estaremos gustosos poder ayudar en todo el proceso de investigación, recolección y exámenes previstos para dicha investigación.

Dicha investigación si resulta favorable nos ayudara a facilitar el manejo de aguas residuales para nuestro proyecto de reforestación que esta en proceso de viabilidad, por ello esperamos que esta transaccion de informacion nos beneficie a ambas partes.

Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente



**JASS BELLO HORIZONTE**  
*Julio E. Velasquez Guillen*  
PRESIDENTE



Anexo 4: Cadenas de custodia de informes de ensayo de laboratorio.

**BHIOS LABORATORIOS**

**REGISTRO DE ENVIO DE MUESTRAS DEL CLIENTE**

Estimado cliente: Agradecemos complete los datos solicitados.

<b>Cliente / Razón Social</b>	JASS BELLO HORIZONTE		
<b>Dirección</b>	PARCELA B, ASENTAMIENTO B-2, DENTRO DE LA MUNI BELLO HORIZONTE	<b>RUC:</b>	20602133169
<b>Nombre del muestreador</b>	MILAGROS MONTES		
<b>Cotización de referencia</b>	A - 0505 - 2023		

Numeración	NOMBRE DE LA MUESTRA (Identifique la muestra de acuerdo a como desea que aparezca en el Informe de Ensayos)	CODIFICACIÓN (opcional)	MATRIZ (Identifique la Matriz según el cuadro **) Nota: Solo para agua	PROCEDECENCIA (Coordenadas, Departamento, Provincia, Distrito, etc) (Opcional)	FECHA DEL MUESTREO	HORA DEL MUESTREO	Determinaciones solicitadas							Total de envases por muestra (Litro)	Cantidad Total (ml/o g por Muestra)	
							Cotización N°	Amelioración	SST	DBO	DBP	E. Coli	Coliformes T.			Metas de Hierro
01	TO	01-06	ARD	789051 E ; 18K 8189195 N	19/04/23	5:00pm	A-0505-2023	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
02																
03																
04																
05																

**NOTAS IMPORTANTES:**

- En cada fila ingresar una muestra (frasco y conjunto de frascos tomados en un mismo punto)
- Condiciones de envío (Para Aguas): En contenedor isotérmico con icepacks o gelpacks que proporcione una temperatura de 4±2°C durante todo el transporte

<b>**Matrices de agua</b> (Indique las iniciales correspondientes en el cuadro de detalle de muestras)	<b>Natural</b> ASM: Subterránea de Manantial AST: Subterránea Termal ASR: Superficial de Río ASL: Superficial Lago/Laguna ASD: Deposition Atmosférica	<b>Para Uso y Consumo Humano</b> ACB: Bebida - Potable ACB: Bebida - Mesa ACB: Bebida - Envasada ACP: Piscina ACL: Laguna Artificial	<b>Residual</b> ARD: Doméstica ARI: Industrial ARM: Municipal	<b>De Proceso</b> APR: Inyección y reinyección APC: Circulación o enfriamiento APA: Alimentación p/ calderas APCL: Calderas	APL: Lixiviación APP: Purificada - destilada APP: Purificada - osmótica	<b>Salina</b> AMAR: Mar ASSB: Salobre ASSL: Salmuera ASIR: Inyección y Reinyección
---	--	---	--	---	---	--

**Observaciones:**

Fecha y Hora de Envío de Muestras: 20/04/23  
Via Utilizada: VIA TERRESTRE  
Posibles Sustancias Interferentes:

Firma del Muestreador: *[Firma]*

RECIBIDO POR: *[Firma]* Fecha: 20/04/23 Hora: 10:30 Temperatura Recepción (°C): 5.1°C

OBSERVACIONES:

PRP-01-F-09-REMC Versión: 01 Fecha de Emisión: 02/01/20 Elaborado por: JIM / Revisado por CAC / Aprobado por GG Página 01 de 01

**BHIOS LABORATORIOS**

**REGISTRO DE ENVIO DE MUESTRAS DEL CLIENTE**

Estimado cliente: Agradecemos complete los datos solicitados.

<b>Cliente / Razón Social</b>	JASS BELLO HORIZONTE		
<b>Dirección</b>	PARCELA B, ASENTAMIENTO B-2, MUNICIPALIDAD BELLO HORIZONTE	<b>RUC:</b>	20602133169
<b>Nombre del muestreador</b>	MILAGROS MONTES		
<b>Cotización de referencia</b>	A - 1413 - 2023		

Numeración	NOMBRE DE LA MUESTRA (Identifique la muestra de acuerdo a como desea que aparezca en el Informe de Ensayos)	CODIFICACIÓN (opcional)	MATRIZ (Identifique la Matriz según el cuadro **) Nota: Solo para agua	PROCEDECENCIA (Coordenadas, Departamento, Provincia, Distrito, etc) (Opcional)	FECHA DEL MUESTREO	HORA DEL MUESTREO	Determinaciones solicitadas							Total de envases por muestra (Litro)	Cantidad Total (ml/o g por Muestra)	
							Cotización N°	Amelioración	SST	DBO	DBP	E. Coli	Coliformes T.			Metas de Hierro
01	TO	01-05	ARD	789051 E ; 18K 8189195 N	28/05/23	6:00am	A-1413-2023	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
02																
03																
04																
05																

**NOTAS IMPORTANTES:**

- En cada fila ingresar una muestra (frasco y conjunto de frascos tomados en un mismo punto)
- Condiciones de envío (Para Aguas): En contenedor isotérmico con icepacks o gelpacks que proporcione una temperatura de 4±2°C durante todo el transporte

<b>**Matrices de agua</b> (Indique las iniciales correspondientes en el cuadro de detalle de muestras)	<b>Natural</b> ASM: Subterránea de Manantial AST: Subterránea Termal ASR: Superficial de Río ASL: Superficial Lago/Laguna ASD: Deposition Atmosférica	<b>Para Uso y Consumo Humano</b> ACB: Bebida - Potable ACB: Bebida - Mesa ACB: Bebida - Envasada ACP: Piscina ACL: Laguna Artificial	<b>Residual</b> ARD: Doméstica ARI: Industrial ARM: Municipal	<b>De Proceso</b> APR: Inyección y reinyección APC: Circulación o enfriamiento APA: Alimentación p/ calderas APCL: Calderas	APL: Lixiviación APP: Purificada - destilada APP: Purificada - osmótica	<b>Salina</b> AMAR: Mar ASSB: Salobre ASSL: Salmuera ASIR: Inyección y Reinyección
---	--	---	--	---	---	--

**Observaciones:**

Fecha y Hora de Envío de Muestras: 28/05/23  
Via Utilizada: VIA TERRESTRE  
Posibles Sustancias Interferentes:

Firma del Muestreador: *[Firma]*

RECIBIDO POR: *[Firma]* Fecha: 28/05/2023 Hora: 09:55 Temperatura Recepción (°C): 5.5°C

OBSERVACIONES:

PRP-01-F-09-REMC Versión: 01 Fecha de Emisión: 02/01/20 Elaborado por: JIM / Revisado por CAC / Aprobado por GG Página 01 de 01





**REGISTRO DE ENVIO DE MUESTRAS DEL CLIENTE**

Estimado cliente: Agradecemos complete los datos solicitados.

<b>Cliente / Razón Social</b>	JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE
<b>Dirección</b>	PARCELAMIENTO B, ASENTAMIENTO B-2, MUNIC. BELLO HORIZONTE RUC: 20602133169
<b>Nombre del muestreador</b>	MILAGROS MONTES
<b>Cotización de referencia</b>	A-0506-2023

Numeración	NOMBRE DE LA MUESTRA (Identifique la muestra de acuerdo a como desee que aparezca en el Informe de Ensayos)	CODIFICACIÓN (opcional)	MATRIZ (Identifique la Matriz según el cuadro *) Nota: Solo para agua	PROCEDENCIA (Coordenadas, Departamento, Provincia, Distrito, etc) (Opcional)	FECHA DEL MUESTREO	HORA DEL MUESTREO	Determinaciones solicitadas										Total de envases por muestra (Litro)	Cantidad Total (ml/L o g por Muestra)		
							Calibración N°	DGO												
01	T1	T1-R1	ARD	789051 E ; 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓											1	250ml
02	T1	T1-R2	ARD	789051 E ; 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓											1	250ml
03	T1	T1-R3	ARD	789051 E ; 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓											1	250ml
04	T2	T2-R1	ARD	789051 E ; 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓											1	250ml
05	T2	T2-R2	ARD	789051 E ; 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓											1	250ml

**NOTAS IMPORTANTES:**

- En cada fila ingresar una muestra (frasco y conjunto de frascos tomados en un mismo punto)
- Condiciones de envío (Para Aguas): En contenedor isotérmico con icepacks o gelpacks que proporcione una temperatura de 4±2°C durante todo el transporte

<b>**Matrices de agua</b> (Indique las iniciales correspondientes en el cuadro de detalle de muestras)	<b>Natural</b> ASM: Subterránea de Manantial AST: Subterránea Termal ASR: Superficial de Río ASL: Superficial Lago/Laguna ASD: Deposition Atmosférica	<b>Rara Uso y Consumo Humano</b> ACB: Bebida - Potable ACB: Bebida - Mesa ACB: Bebida - Envasada ACP: Piscina ACL: Laguna Artificial	<b>Residual</b> ARD: Doméstica ARI: Industrial ARM: Municipal	<b>De Proceso</b> APIR: Inyección y reinyección APC: Circulación o enfriamiento APA: Alimentación p/ calderas APCL: Calderas	<b>Salina</b> AMAR: Mar ASSB: Salobre ASSL: Salmuera ASIR: Inyección y Reinyección
---	--	---	--	--	--

<b>Observaciones:</b>	<b>Fecha y Hora de Envío de Muestras</b> Via Utilizada	9:00 am VIA TERRESTRE
<b>Firma del Muestreador</b>	<b>Posibles Sustancias Interferentes</b>	

<b>RECIBIDO POR:</b>	<b>Fecha:</b> 20/04/23	<b>Hora:</b> 10:30	<b>Temperatura Recepción (°C):</b> 5.1°C
<b>OBSERVACIONES:</b>			



**REGISTRO DE ENVIO DE MUESTRAS DEL CLIENTE**

Estimado cliente: Agradecemos complete los datos solicitados.

<b>Cliente / Razón Social</b>	JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE
<b>Dirección</b>	PARCELAMIENTO B, ASENTAMIENTO B-2, MUNIC. BELLO HORIZONTE RUC: 20602133169
<b>Nombre del muestreador</b>	MILAGROS MONTES
<b>Cotización de referencia</b>	A-0506-2023

Numeración	NOMBRE DE LA MUESTRA (Identifique la muestra de acuerdo a como desee que aparezca en el Informe de Ensayos)	CODIFICACIÓN (opcional)	MATRIZ (Identifique la Matriz según el cuadro *) Nota: Solo para agua	PROCEDENCIA (Coordenadas, Departamento, Provincia, Distrito, etc) (Opcional)	FECHA DEL MUESTREO	HORA DEL MUESTREO	Determinaciones solicitadas										Total de envases por muestra (Litro)	Cantidad Total (ml/L o g por Muestra)		
							Calibración N°	DGO												
01	T2	T2-R3	ARD	789051 E ; 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓											1	250ml
02	T3	T3-R1	ARD	789051 E ; 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓											1	250ml
03	T3	T3-R2	ARD	789051 E ; 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓											1	250ml
04	T3	T3-R3	ARD	789051 E ; 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓											1	250ml
05	T4	T3-R1	ARD	789051 E ; 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓											1	250ml

**NOTAS IMPORTANTES:**

- En cada fila ingresar una muestra (frasco y conjunto de frascos tomados en un mismo punto)
- Condiciones de envío (Para Aguas): En contenedor isotérmico con icepacks o gelpacks que proporcione una temperatura de 4±2°C durante todo el transporte

<b>**Matrices de agua</b> (Indique las iniciales correspondientes en el cuadro de detalle de muestras)	<b>Natural</b> ASM: Subterránea de Manantial AST: Subterránea Termal ASR: Superficial de Río ASL: Superficial Lago/Laguna ASD: Deposition Atmosférica	<b>Rara Uso y Consumo Humano</b> ACB: Bebida - Potable ACB: Bebida - Mesa ACB: Bebida - Envasada ACP: Piscina ACL: Laguna Artificial	<b>Residual</b> ARD: Doméstica ARI: Industrial ARM: Municipal	<b>De Proceso</b> APIR: Inyección y reinyección APC: Circulación o enfriamiento APA: Alimentación p/ calderas APCL: Calderas	<b>Salina</b> AMAR: Mar ASSB: Salobre ASSL: Salmuera ASIR: Inyección y Reinyección
---	--	---	--	--	--

<b>Observaciones:</b>	<b>Fecha y Hora de Envío de Muestras</b> Via Utilizada	9:00 am VIA TERRESTRE
<b>Firma del Muestreador</b>	<b>Posibles Sustancias Interferentes</b>	

<b>RECIBIDO POR:</b>	<b>Fecha:</b> 20/04/23	<b>Hora:</b> 10:30	<b>Temperatura Recepción (°C):</b> 5.1°C
<b>OBSERVACIONES:</b>			





**REGISTRO DE ENVIO DE MUESTRAS DEL CLIENTE**

Estimado cliente: Agradecemos complete los datos solicitados.

<b>Cliente / Razón Social</b>	JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIO DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE
<b>Dirección</b>	PARCELAMIENTO B, ASENTAMIENTO B-2, MUNIC. BELLO HORIZONTE RUC: _____
<b>Nombre del muestreador</b>	MILAGROS MONTES
<b>Cotización de referencia</b>	A-0506-2023

Numeración	NOMBRE DE LA MUESTRA (Identifique la muestra de acuerdo a como desee que aparezca en el Informe de Ensayos)	CODIFICACIÓN (opcional)	MATRIZ (Identifique la Matriz según el cuadro **) Nota: Solo para agua	PROCEDENCIA (Coordenadas, Departamento, Provincia, Distrito, etc) (Opcional)	FECHA DEL MUESTREO	HORA DEL MUESTREO	Determinaciones solicitadas						Total de envases por muestra (Litro)	Cantidad Total (ml/g por Muestra)	
							Cotización N°	DQO							
01	T4	T4-R2	ARD	789051 E 8189195 N ; 18K	20/04/23	09:00 am	A-0506-2023	✓						1	250ml
02	T4	T4-R3	ARD	789051 E 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓						1	250ml
03	TS	TS-R1	ARD	789051 E 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓						1	250ml
04	TS	TS-R2	ARD	789051 E 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓						1	250ml
05	TS	TS-R3	ARD	789051 E 8189195 N ; 18K	20/04/23	08:00 am	A-0506-2023	✓						1	250ml

**NOTAS IMPORTANTES:**

- En cada fila ingresar una muestra (frasco y conjunto de frascos tomados en un mismo punto)
- Condiciones de envío (Para Aguas): En contenedor isotérmico con icepacks o geopacks que proporcione una temperatura de 4±2°C durante todo el transporte

<b>**Muestras de agua</b> (Indique las iniciales correspondientes en el cuadro de detalle de muestras)	<b>Natural</b> ASM: Subterránea de Manantial AST: Subterránea Termal ASR: Superficial de Río ASL: Superficial Lago/Laguna ASD: Deposición Atmosférica	<b>Para Uso y Consumo Humano</b> ACB: Bebida - Potable ACB: Bebida - Mesa ACB: Bebida - Envasada ACP: Piscina ACL: Laguna Artificial	<b>Residual</b> ARD: Doméstica ARI: Industrial ARM: Municipal	<b>De Proceso</b> APIR: Inyección y reinyección APC: Circulación o enfriamiento APA: Alimentación p/ calderas APCL: Calderas	<b>Salina</b> AMAR: Mar ASSB: Salobre ASSL: Salmuera ASIR: Inyección y Reinyección
---	--	---	--	--	--

<b>Observaciones:</b>	Fecha y Hora de Envío de Muestras	9:00
<b>Firma del Muestreador</b>	Via Utilizada	VIA TERRESTRE
	Posibles Sustancias Interferentes	

RECIBIDO POR:	Fecha:	20/04/23	Hora:	10:30	Temperatura Recepción (°C)	51°C
OBSERVACIONES						



**REGISTRO DE ENVIO DE MUESTRAS DEL CLIENTE**

Estimado cliente: Agradecemos complete los datos solicitados.

<b>Cliente / Razón Social</b>	JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE
<b>Dirección</b>	PARCELAMIENTO B, ASENTAMIENTO B-2, MUNIC. BELLO HORIZONTE RUC: 20602133165
<b>Nombre del muestreador</b>	MILAGROS MONTES
<b>Cotización de referencia</b>	A-0506-2023

Numeración	NOMBRE DE LA MUESTRA (Identifique la muestra de acuerdo a como desee que aparezca en el Informe de Ensayos)	CODIFICACIÓN (opcional)	MATRIZ (Identifique la Matriz según el cuadro **) Nota: Solo para agua	PROCEDENCIA (Coordenadas, Departamento, Provincia, Distrito, etc) (Opcional)	FECHA DEL MUESTREO	HORA DEL MUESTREO	Determinaciones solicitadas						Total de envases por muestra (Litro)	Cantidad Total (ml/g por Muestra)	
							Cotización N°	DQO							
01	T6	T6-R1	ARD	789051 E 8189195 N ; 18K	20/04/23	8:00 am	A-0506-2023	✓						1	250ml
02	T6	T6-R2	ARD	789051 E 8189195 N ; 18K	20/04/23	8:00 am	A-0506-2023	✓						1	250ml
03	T6	T6-R3	ARD	789051 E 8189195 N ; 18K	20/04/23	8:00 am	A-0506-2023	✓						1	250ml
04	T7	T7-R1	ARD	789051 E 8189195 N ; 18K	20/04/23	8:00 am	A-0506-2023	✓						1	250ml
05	T7	T7-R2	ARD	789051 E 8189195 N ; 18K	20/04/23	8:00 am	A-0506-2023	✓						1	250ml

**NOTAS IMPORTANTES:**

- En cada fila ingresar una muestra (frasco y conjunto de frascos tomados en un mismo punto)
- Condiciones de envío (Para Aguas): En contenedor isotérmico con icepacks o geopacks que proporcione una temperatura de 4±2°C durante todo el transporte

<b>**Muestras de agua</b> (Indique las iniciales correspondientes en el cuadro de detalle de muestras)	<b>Natural</b> ASM: Subterránea de Manantial AST: Subterránea Termal ASR: Superficial de Río ASL: Superficial Lago/Laguna ASD: Deposición Atmosférica	<b>Para Uso y Consumo Humano</b> ACB: Bebida - Potable ACB: Bebida - Mesa ACB: Bebida - Envasada ACP: Piscina ACL: Laguna Artificial	<b>Residual</b> ARD: Doméstica ARI: Industrial ARM: Municipal	<b>De Proceso</b> APIR: Inyección y reinyección APC: Circulación o enfriamiento APA: Alimentación p/ calderas APCL: Calderas	<b>Salina</b> AMAR: Mar ASSB: Salobre ASSL: Salmuera ASIR: Inyección y Reinyección
---	--	---	--	--	--

<b>Observaciones:</b>	Fecha y Hora de Envío de Muestras	9:00 am
<b>Firma del Muestreador</b>	Via Utilizada	VIA TERRESTRE
	Posibles Sustancias Interferentes	

RECIBIDO POR:	Fecha:	20/04/23	Hora:	10:30	Temperatura Recepción (°C)	51°C
OBSERVACIONES						



### REGISTRO DE ENVIO DE MUESTRAS DEL CLIENTE

Estimado cliente: Agradecemos complete los datos solicitados.

<b>Cliente / Razón Social</b>	JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE
<b>Dirección</b>	PARCELAMIENTO B, ASENTAMIENTO B-2, MUNIC. BELLO HORIZONTE RUC: 20607133169
<b>Nombre del muestreador</b>	MILAGROS MONTES
<b>Cotización de referencia</b>	A-0506-2023

Numeración	NOMBRE DE LA MUESTRA (Identifique la muestra de acuerdo a como desea que aparezca en el Informe de Ensayos)	CODIFICACIÓN (opcional)	MATRIZ (Identifique la Matriz según el cuadro **) Nota: Solo para agua	PROCEDENCIA (Coordenadas, Departamento, Provincia, Distrito, etc) (Opcional)	FECHA DEL MUESTREO	HORA DEL MUESTREO	Determinaciones solicitadas										Total de envases por muestra (Litro)	Cantidad Total (ml / Litro por Muestra)		
							Cotización N°	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
01	T7	T7-R3	ARD	789051 E 8189195 N; 18K	20/04/23	8:00 am	A-0506-2023	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	250ml
02	T8	T8-R1	ARD	789051 E, 8189195 N; 18K	20/04/23	8:00 am	A-0506-2023	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	250ml
03	T8	T8-R2	ARD	789051 E 8189195 N; 18K	20/04/23	8:00 am	A-0506-2023	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	250ml
04	T8	T8-R3	ARD	789051 E, 8189195 N; 18K	20/04/23	8:00 am	A-0506-2023	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	250ml
05								<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

**NOTAS IMPORTANTES:**

- En cada fila ingresar una muestra (fresco y conjunto de frescos tomados en un mismo punto)
- Condiciones de envío (**Para Aguas**): En contenedor isotérmico con icepacks o gelpacks que proporcione una temperatura de 4±2°C durante todo el transporte

**Matrices de agua (Indique los iniciales correspondientes en el cuadro de detalle de muestras)	Natural ASM: Subterránea de Manantial AST: Subterránea Termal ASR: Superficial de Río ASL: Superficial Lago/Laguna ASD: Deposición Atmosférica	Rara Uso y Consumo Humano ACB: Bebida - Polable ACB: Bebida - Mesa ACB: Bebida - Envasada ACP: Piscina ACL: Laguna Artificial	Residual ARD: Doméstica ARI: Industrial ARM: Municipal	De Proceso APR: Inyección y reinyección APC: Circulación o enfriamiento APA: Alimentación p/ calderas APCL: Calderas	De Laboratorio APL: Lixiviación APP: Purificada - desulfada APP: Purificada - osmótica	Salina AMAR: Mar ASSB: Salobre ASSL: Salmuera ASIR: Inyección y Reinyección
--	---	--	---	--	---	---

<b>Observaciones:</b>	Fecha y Hora de Envío de Muestras: 9:00 am
<b>Firma del Muestreador:</b>	Via Utilizada: VIA TERRESTRE
	Possible Sustancias Interferentes:

Para ser llenado a la llegada de muestra (s) al Laboratorio	Fecha:	20/04/23	Hora:	10:30	Temperatura Recepción (°C):	51°C
<b>RECIBIDO POR:</b>						
<b>OBSERVACIONES</b>						



Anexo 5: Informes de Ensayo de Laboratorio.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-085

**INFORME DE ENSAYOS N° 1731 - 2023**  
**PÁGINA 1 DE 2**

<b>SOLICITANTE</b>	: JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE-MAJES - JASS BELLO HORIZONTE-MAJES
<b>DIRECCIÓN</b>	: PARCELAMIEN. B NRO. - ASENTAMIENTO B-2 (DENTRO DE LA MUNIC.MENOR BELLO HORIZONTE) AREQUIPA - CAYLLOMA - MAJES
<b>PRODUCTO DECLARADO</b>	: AGUA RESIDUAL
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>	: Líquido muy turbio.
<b>CODIFICACIÓN / MARCA</b>	: T0 / 01-06
<b>DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE</b>	: 19/04/2023 17:00 Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18K.
<b>TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA</b>	: 01 muestra de 4500 mL aprox. Compuesta de 01 envase de vidrio de 1000 mL, 01 envase de vidrio de 500 mL y 01 envase PET de 1000 mL para análisis MB; 01 envase de vidrio de 1000 mL y 02 envases PET de 500 mL c/u. para análisis FQ.
<b>PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN</b>	: En envases de vidrio y PET cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 5.1°C.
<b>CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	: Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)
<b>CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA</b>	: Ninguna (por ser muestra única)
<b>FECHA PRODUCCIÓN</b>	: No especificada
<b>FECHA DE VENCIMIENTO</b>	: No especificada
<b>CONTRATO N°</b>	: 0599-2023
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 20/04/2023

**CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página 1 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú  
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110  
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

**INFORME DE ENSAYOS N° 1731 - 2023**  
**PÁGINA 2 DE 2**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T0 / 01-06	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	508	mg/L
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	170000000000	NMP/100mL
MB	Huevos de Helminetos (Cuantificación 1L)*	<1	Huevos/L
MB	Numeración de Escherichia coli (NMP)	170000000000	NMP/100mL
FQ	Aceites y Grasas**	8.8	mg/L
FQ	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	790	mg/L
FQ	Sólidos Totales Suspendedos	222	mg/L

**ABREVIATURAS:**

Huevos/L : Huevos por litro  
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5210-B, Pág 5.2 a 5.7, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5 day BOD Test.  
Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, Pág. 10-11, 23rd Ed. 2017. Multiple Tube fermentation technique for members of the coliform group: Fecal Coliform Procedures (EC Medium)  
Huevos de Helminetos (Cuantificación 1L) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.  
Numeración de Escherichia coli (NMP) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9221-F, Pág. 10-11, 23rd Ed. 2017. Multiple tube fermentation technique for members of the coliform group: Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate.  
Aceites y Grasas : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5520 B 23rd Ed. 2017 Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.  
Demanda Química de Oxígeno (DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.  
Sólidos Totales Suspendedos : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2540-D. 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

**OBSERVACIONES :**

\* Los resultados obtenidos corresponden a métodos validados por el laboratorio  
\*\*Estos métodos quedan fuera del alcance de la acreditación del INACAL-DA debido a las siguientes observaciones a la aptitud de la muestra al momento de la recepción (Autorizado y aceptado por el cliente):  
Aceites y Grasas: Debido a que las determinaciones requieren procedimientos específicos de muestreo para el aseguramiento de la calidad del resultado, los cuales solo se pueden dar si BHIOS LABORATORIOS realiza el muestreo. Muestreo realizado por el cliente.  
Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

**FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS :** FQ 20/04/2023 al 02/05/2023

MB 20/04/2023 al 27/04/2023

**FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS :** 03/05/2023



**Blgo. Miguel Valdivia Martínez**  
Gerente Técnico

Fin del Informe

PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú  
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110  
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-055



## INFORME DE ENSAYOS N° 2537- 2023 PÁGINA 1 DE 2

<b>SOLICITANTE</b>	: JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE-MAJES - JASS BELLO HORIZONTE-MAJES
<b>DIRECCIÓN</b>	: PARCELAMIEN. B NRO. – ASENTAMIENTO B-2 (DENTRO DE LA MUNIC.MENOR BELLO HORIZONTE) AREQUIPA - CAYLLOMA - MAJES
<b>PRODUCTO DECLARADO</b>	: AGUA RESIDUAL
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>	: Líquido muy turbio.
<b>CODIFICACIÓN / MARCA</b>	: T0 / 01-05.
<b>DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE</b>	: 28/05/2023 06:00 Procedencia: 789051 E, 8189195 N; 18 K.
<b>TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA</b>	: 01 muestra de 4000 mL aprox. Compuesta de 01 envase de vidrio de 1000 mL, 01 envase de vidrio de 500 mL y 01 envase PET de 1000 mL para análisis MB; 01 envase de vidrio de 1000 mL y 01 envase PET de 500 mL para análisis FQ.
<b>PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN</b>	: En envases de vidrio y PET cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 5.5°C
<b>CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	: Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)
<b>CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA</b>	: Ninguna (por ser muestra única)
<b>FECHA PRODUCCIÓN</b>	: No especificada
<b>FECHA DE VENCIMIENTO</b>	: No especificada
<b>CONTRATO N°</b>	: 0864-2023
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 28/05/2023

### CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página 1 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú  
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110  
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-055



**INFORME DE ENSAYOS N° 2537- 2023**  
**PÁGINA 2 DE 2**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T0 / 01-05.	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	47	mg/L
MB	Huevos de Helmintos (Cuantificación 1L)*	<1	Huevos/L
MB	Numeración de Escherichia coli (NMP)	2.0	NMP/100mL
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	4900000	NMP/100mL
FQ	Aceites y Grasas**	2.6	mg/L
FQ	Sólidos Totales Suspendidos	37	mg/L

**ABREVIATURAS:**

mg/L : Miligramos por litro  
Huevos/L : Huevos por litro  
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5210-B, Pág 5.2 a 5.7, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5 day BOD Test  
Huevos de Helmintos (Cuantificación 1L) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000, 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.  
Numeración de Escherichia coli (NMP) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9221-F, Pág. 10-11, 23rd Ed. 2017. Multiple tube fermentation technique for members of the coliform group: Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate.  
Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, Pág. 10-11, 23rd Ed. 2017. Multiple Tube fermentation technique for members of the coliform group: Fecal Coliform Procedures (EC Medium)  
Aceites y Grasas : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5520 B 23rd Ed. 2017 Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.  
Sólidos Totales Suspendidos : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2540-D. 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

**OBSERVACIONES :**

\* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA  
\*\*Estos métodos quedan fuera del alcance de la acreditación del INACAL-DA debido a las siguientes observaciones a la aptitud de la muestra al momento de la recepción (Autorizado y aceptado por el cliente):  
Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método  
Aceites y Grasas: Debido a que las determinaciones requieren procedimientos específicos de muestreo para el aseguramiento de la calidad del resultado, los cuales solo se pueden dar si BHIOS LABORATORIOS realiza el muestreo. Muestreo realizado por el cliente.

**FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS :** FQ 28/05/2023 al 06/06/2023

MB 28/05/2023 al 04/06/2023

**FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS :** 07/06/2023



**Bigo. Miguel Valdivia Martínez**  
Gerente Técnico

Fin del Informe





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



**INFORME DE ENSAYOS N° 1732 - 2023**  
**PÁGINA 1 DE 6**

<b>SOLICITANTE</b>	: JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE-MAJES - JASS BELLO HORIZONTE-MAJES
<b>DIRECCIÓN</b>	: PARCELAMIEN. B NRO. -- ASENTAMIENTO B-2 (DENTRO DE LA MUNIC.MENOR BELLO HORIZONTE) AREQUIPA - CAYLLOMA - MAJES
<b>PRODUCTO DECLARADO</b>	: AGUA RESIDUAL
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>	: Líquido muy turbio.
<b>CODIFICACIÓN / MARCA</b>	: Ver detalle en hoja de resultados.
<b>DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE</b>	: 20/04/2023 08:00 Procedencia: 789051 E 8189195; 18 K.
<b>TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA</b>	: 01 muestra de 12000 mL aprox. Compuesta de 24 envases PET de 500 mL c/u. para análisis FQ.
<b>PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN</b>	: En envases PET cerrados. En contenedor isotérmico a una temperatura 5.1°C.
<b>CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	: Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)
<b>CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA</b>	: Ninguna (por ser muestra única)
<b>FECHA PRODUCCIÓN</b>	: No especificada
<b>FECHA DE VENCIMIENTO</b>	: No especificada
<b>CONTRATO N°</b>	: 0600-2023
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 20/04/2023

**CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

PRP-06-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG

Página 1 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú  
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110  
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



**INFORME DE ENSAYOS N° 1732- 2023**  
**PÁGINA 2 DE 6**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T1/ T1-R1 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	248	mg/L

ABREVIATURAS :  
mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T1/ T1-R2 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	268	mg/L

ABREVIATURAS :  
mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T1/ T1-R3 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	243	mg/L

ABREVIATURAS :  
mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T2/ T2-R1 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	403	mg/L

ABREVIATURAS :  
mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T2/ T2-R2 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	368	mg/L

ABREVIATURAS :  
mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T2/ T2-R3 / Procedencia: Majes, Caylloma - Arequipa. 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	385	mg/L

PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú  
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110  
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



**INFORME DE ENSAYOS N° 1732- 2023**  
**PÁGINA 3 DE 6**

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T3/ T3-R1 / Procedencia: Majes, Caylloma - Arequipa. 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	233	mg/L

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T3/ T3-R2 / Procedencia: Majes, Caylloma - Arequipa. 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	220	mg/L

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T3/ T3-R3 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	225	mg/L

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T4/ T4-R1 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	340	mg/L

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T4/ T4-R2 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	311	mg/L

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú  
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110  
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



**INFORME DE ENSAYOS N° 1732- 2023**  
**PÁGINA 4 DE 6**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T4/ T4-R3 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	318	mg/L

**ABREVIATURAS :**

mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T5/ T5-R1 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	243	mg/L

**ABREVIATURAS :**

mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T5/ T5-R2 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	215	mg/L

**ABREVIATURAS :**

mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T5/ T5-R3 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	211	mg/L

**ABREVIATURAS :**

mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T6/ T6-R1 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	235	mg/L

**ABREVIATURAS :**

mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL T6/ T6-R2 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	243	mg/L

PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG Página 2 de 2

Av. Quíñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú  
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110  
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



**INFORME DE ENSAYOS N° 1732- 2023**  
**PÁGINA 5 DE 6**

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T6/ T6-R3 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	228	mg/L

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T7/ T7-R1 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	310	mg/L

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T7/ T7-R2 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	223	mg/L

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T7/ T7-R3 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	253	mg/L

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T8/ T8-R1 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno ( DQO)	218	mg/L

**ABREVIATURAS :**  
mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Demanda Química de Oxígeno ( DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú  
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110  
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



**INFORME DE ENSAYOS N° 1732- 2023**  
**PÁGINA 6 DE 6**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T8/ T8-R2 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	234	mg/L

ABREVIATURAS :  
mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :  
Demanda Química de Oxígeno (DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL	
		T8/ T8-R3 / Procedencia: 789051 E 8189195 N; 18 K.	UNIDADES
FQ	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	233	mg/L

ABREVIATURAS :  
mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :  
Demanda Química de Oxígeno (DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 20/04/2023 al 26/04/2023

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 26/04/2023



*Miguel Valdivia Martínez*  
Bigo. Miguel Valdivia Martínez  
Gerente Técnico

Fin del Informe



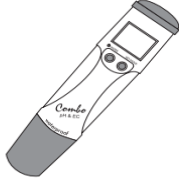
Anexo 6: Adquisición del medidor combinado HI98129.

<b>EQUINLAB SAC</b> EQUIPAMIENTO INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAS Y LABORATORIOS SAC - EQUINLAB SAC AV. UNIVERSITARIA 2786 LOS OLIVOS - LIMA - LIMA		<b>FACTURA ELECTRONICA</b> RUC: 20600988281 E001-1762		
Fecha de Emisión	: 19/07/2022	Forma de pago:	Contado	
Señor(es)	: JUNTA ADMINISTRADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO BELLO HORIZONTE-MAJES - JASS BELLO HORIZONTE-MAJES	GUIA DE REMISION REMITENTE	: EG01 1678	
RUC	: 20602133169	N° DE CUENTA SOLES: BCP 191- N° DE CUENTA SOLES: 2307489-0-68 CCI: 00219100230748906854		
Dirección del Cliente	PARCELAMEN. B --- ASENTAMIENTO B-2 DENTRO DE LA MUNIC.MENOR BELLO HORIZONTE AREQUIPA-CAYLLOMA-MAJES			
Tipo de Moneda	SOLES			
Observación				
<b>Cantidad</b>	<b>Unidad Medida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>ICBPER</b>
1.00	UNIDAD	TURBIDIMETRO HANNA INSTRUMENTS HI93414 SERIE 06S70028101.	6351.60	0.00
1.00	UNIDAD	MEDIDOR COMBINADO (EC RANGO BAJO) HANNA INSTRUMENTS HI98129 SERIE 06370028101.	924.60	0.00
Valor de Venta de Operaciones Gratuitas : S/ 0.00		Sub Total Ventas : S/ 7,276.20 Anticipos : S/ 0.00 Descuentos : S/ 0.00 Valor Venta : S/ 7,276.20 ISC : S/ 0.00 IGV : S/ 1,309.72 ICBPER : S/ 0.00 Otros Cargos : S/ 0.00 Otros Tributos : S/ 0.00 Monto de redondeo : S/ 0.00 <b>Importe Total : S/ 8,585.92</b>		
SON: OCHO MIL QUINIENTOS OCHENTA Y CINCO Y 92/100 SOLES				
Esta es una representación impresa de la factura electrónica, generada en el Sistema de SUNAT. Puede verificarla utilizando su clave SOL.				

Anexo 7: Manual de instrucciones del medidor combinado HI98129.

**Manual de Instrucciones**

**HI 98129 - HI 98130**  
Medidores impermeables de pH, CE/TDS y temperatura

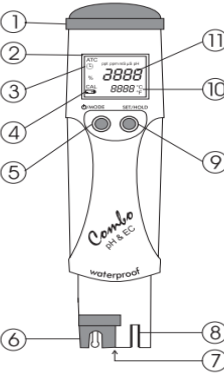


**HANNA instruments**  
Estos Instrumentos Cumplen con las Directivas de CE

**GARANTIA**

HI 98129 y HI 98130 están garantizados durante un año contra todo defecto de fabricación y materiales, siempre que sean usados para el fin previsto y se proceda a su conservación siguiendo las instrucciones. El electrodo está garantizado durante un periodo de seis meses. Esta garantía está limitada a la reparación o cambio sin cargo. La garantía no cubre los daños debidos a accidente, mal uso, manipulación indebida o incumplimiento del mantenimiento preciso. Si precisa de asistencia técnica, contacte con el distribuidor al que adquirió el instrumento. Si está en garantía incomplete el número de modelo, la fecha de la compra, número de serie y tipo de fallo. Si la reparación no está cubierta por la garantía se le comunicará el importe de los gastos correspondientes. Si el instrumento ha de ser devuelto a Hanna Instruments, primero se ha de obtener el N° de Autorización de Marcas Desueltas de nuestro Departamento de Servicio al Cliente y después enviarlo a partes pagadas, cercionándose de que está correctamente embalado, para asegurar una protección completa. Para validar la garantía, rellene y devuélvalas lo tarjeta de garantía adjunta dentro de los 14 días posteriores a la fecha de la compra. Todas las directivas están reservadas. El contenido de este manual no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso escrito del titular del copyright, Hanna Instruments Inc., Worcester, Rhode Island, 02093, USA. Hanna Instruments se reserva el derecho de modificar el diseño, construcción y aspecto de sus productos sin previo aviso.

**DESCRIPCION FUNCIONAL**



1. Compartimento de las pilas
2. Pantalla de Cristal Líquido (VCL)
3. Indicador de Estabilidad
4. Indicador de Pila baja
5. Botón ON/OFF/MODO
6. HI 73127 electrodo de pH
7. Sensor de Temperatura
8. Sonda CE/TDS
9. Botón CONFIGURAR/CONGELAR
10. Pantalla VCL Secundaria
11. Pantalla VCL Primaria

**ESPECIFICACIONES**

**Rango Temperatura:** 0.0 a 60.0°C o 32.0 a 140.0°F  
**HI 98129:** 0.00 a 14.00  
 CE: 0 a 3099 µS/cm  
 TDS: 0 a 2000 ppm  
**HI 98130:** 0.00 a 14.00  
 CE: 0.00 a 20.00 mS/cm  
 TDS: 0.00 a 10.00 ppf

**Resolución:** 0.1°C o 0.1°F  
**HI 98129:** 0.01 pH; 1 µS/cm; 1 ppm  
**HI 98130:** 0.01 pH; 0.01 mS/cm; 0.01 ppf

**Precisión (ppm/CE/TDS):** Temperatura: ±0.2°C o ±1°F  
 CE/TDS: ±2% f.e.  
 pH: ±0.01

**Desviación EMC Típica:** Temperatura: ±0.5°C o ±1°F  
 pH: ±0.02  
 CE/TDS: ±2% f.e.

**Compensación Temp.:** pH: Automática  
 CE/TDS: con pH=0.0 a 2.4°C

**Entorno:** 0 a 50°C (32 a 122°F); HR: 100%

**Factor Conversión CE/TDS:** 0.45 a 1.00 (CONV)

**Calibración:** pH a 1 o 2 puntos con 2 juegos de tampones mensuales pH 4.01/7.01/10.01 o pH 4.01/6.86/9.18  
 CE/TDS: automático, a 1 punto

**Soluciones de Calibración CE/TDS:**  
**HI 98129:** HI7031 (1413 µS/cm)  
 HI7032 (1382 ppm; CONV=0.5)  
 HI70442 (1500 ppm; CONV=0.7)  
**HI 98130:** HI7030 (12.88 mS/cm)  
 HI70038 (6.44 ppf; CONV=0.5 o 9.02 ppf; CONV=0.7)

**Electrodo:** HI 73127 electrodo de pH Sello de Pila Tipo/Vida 4 x 1.5V con BPPS / nominalmente 100 horas  
**Auto-desconexión:** Tras 8 minutos  
**Dimensiones:** 163 x 40 x 26 mm  
**Peso:** 85 g

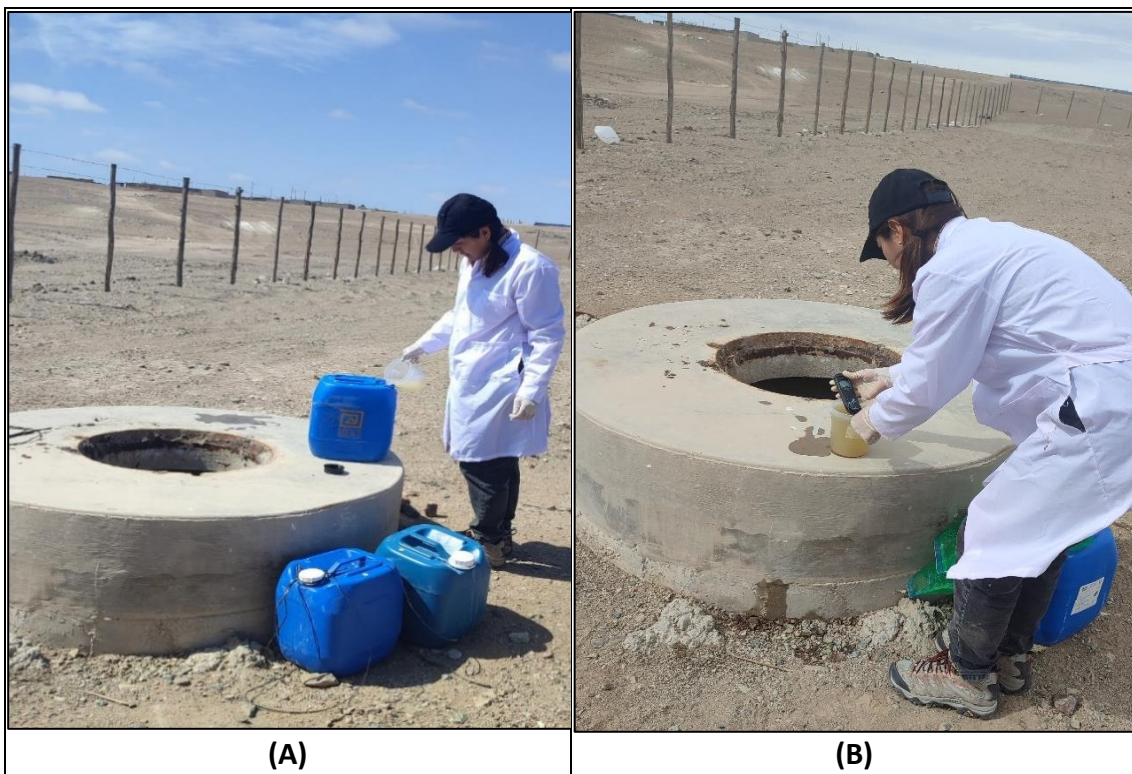
**Recomendaciones a los Usuarios**  
 Antes de utilizar estos productos, cerciórese de que son totalmente apropiados para el entorno en el que van a ser utilizados. El funcionamiento de estos instrumentos en zonas residenciales podría causar interferencias incompatibles a equipos de radio y TV. La ampolla de cristal en el extremo del electrodo es sensible a descargas electrostáticas. Evite tocar esta ampolla de cristal en todo momento. Durante su funcionamiento, el operador deberá llevar multiguantes ESD para evitar posibles daños al electrodo por descargas electrostáticas. Toda modificación realizada en el equipo por el usuario puede degradar las características de EMC del mismo. Para evitar descargas estáticas, no use estos instrumentos cuando el voltaje en la superficie a medir sobrepase 24 VCA o 60 VCC. Para evitar daños o quemaduras, nunca efecte mediciones en hornos microondas.

IST98129R2 01/02

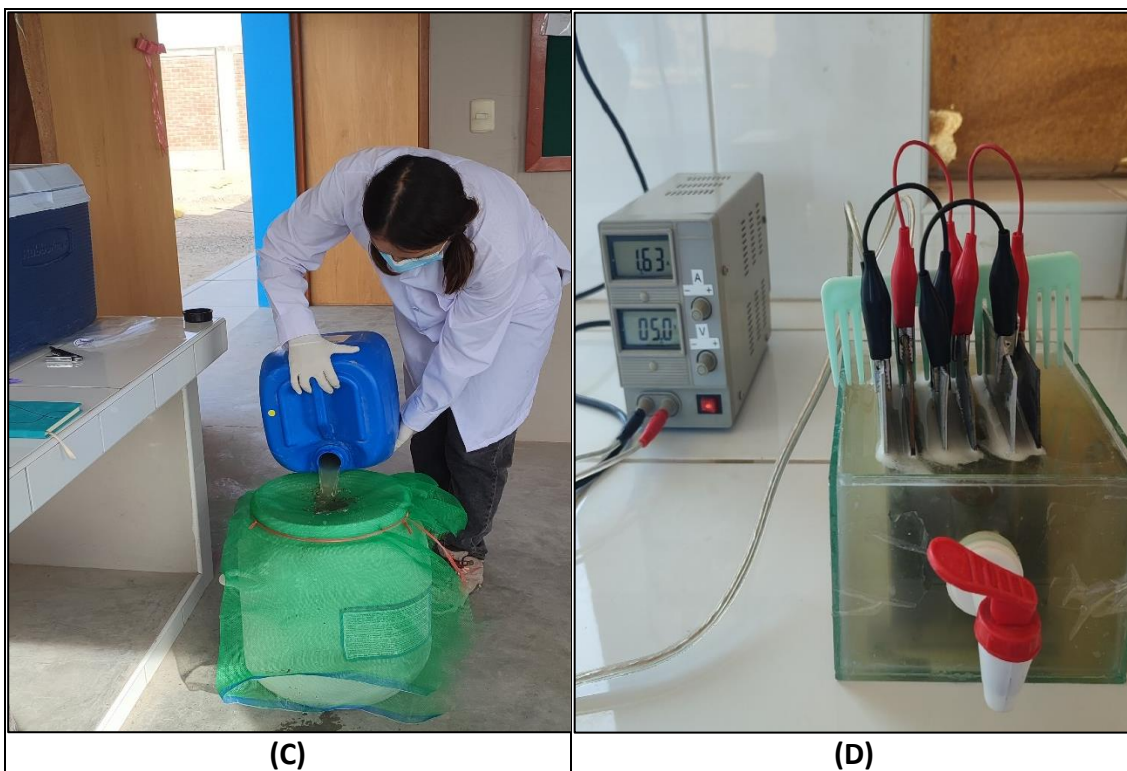
Anexo 8: Constancia de disposición final de lodo residual.

 <b>ECO-MISTI S.A.C.</b>	<b>RELLENO DE SEGURIDAD PAMPA DORADA</b> Registro Interno N° 00024	CARTA N° 00262-2021-MINAM/VMGA/DGRS CARTA N° 00955-2021-MINAM/VMGA/DGRS INFORME N° 00704-2021-MINAM/VMGA/DGRS/DE AA Licencia de Funcionamiento N° 011-2022-MDQ-GAT										
<b>CONSTANCIA DE DISPOSICIÓN FINAL</b> CDF-025-2023 <b>OTORGADO A:</b> <b>MILAGROS MARISOL MONTES MATOS</b> <b>DNI 74499186</b>												
En cumplimiento del artículo 84 del Decreto legislativo N° 1501 y del artículo 140.4 del Decreto Supremo N° 001-2022-MINAM, administramos la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos y no peligrosos de la gestión no municipal, denominada Relleno de Seguridad Pampa Dorada; realizando los procesos de disposición final de residuos no peligrosos, por lo tanto; damos constancia de la disposición final de:												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Guía Remitente</th> <th>Residuo</th> <th>Tipo o Código</th> <th>Ticket de Peso</th> <th>Peso (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S/N</td> <td>lodo residual</td> <td>Biosolido</td> <td>675</td> <td>350.00</td> </tr> </tbody> </table>	Guía Remitente	Residuo	Tipo o Código	Ticket de Peso	Peso (gr)	S/N	lodo residual	Biosolido	675	350.00		
Guía Remitente	Residuo	Tipo o Código	Ticket de Peso	Peso (gr)								
S/N	lodo residual	Biosolido	675	350.00								
<b>Datos de recepción:</b> - <b>Transportista</b> : PRESTACION DE SERVICIOS GENERALES MOTTA S.R.L. - <b>RUC</b> : 20498164057 - <b>Fuente de Generación</b> : Determinación de la eficiencia de la electrocoagulación en la remoción de la demanda química de oxígeno presente en aguas residuales de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento Bello Horizonte– Majes, Caylloma – Arequipa.												
GRT: 017-0945 Documento Firmado digitalmente Ing. Denis Vicuña Puente Gerente General												
Quilca, 24 de junio del 2023												
INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS Y NO PELIGROSOS DE LA GESTIÓN NO MUNICIPAL ZONA 3, SECTOR PAMPA DORADA, DISTRITO DE QUILCA, PROVINCIA DE CAMANA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA Contactos: cel. 998801657 / 974783958 E-mail: comercial@ecomistisac.com												
		 Firmado digitalmente por: VICUÑA PUENTE DENIS ANTONIO Motivo: En señal de conformidad Fecha: 24/06/2023 08:00										

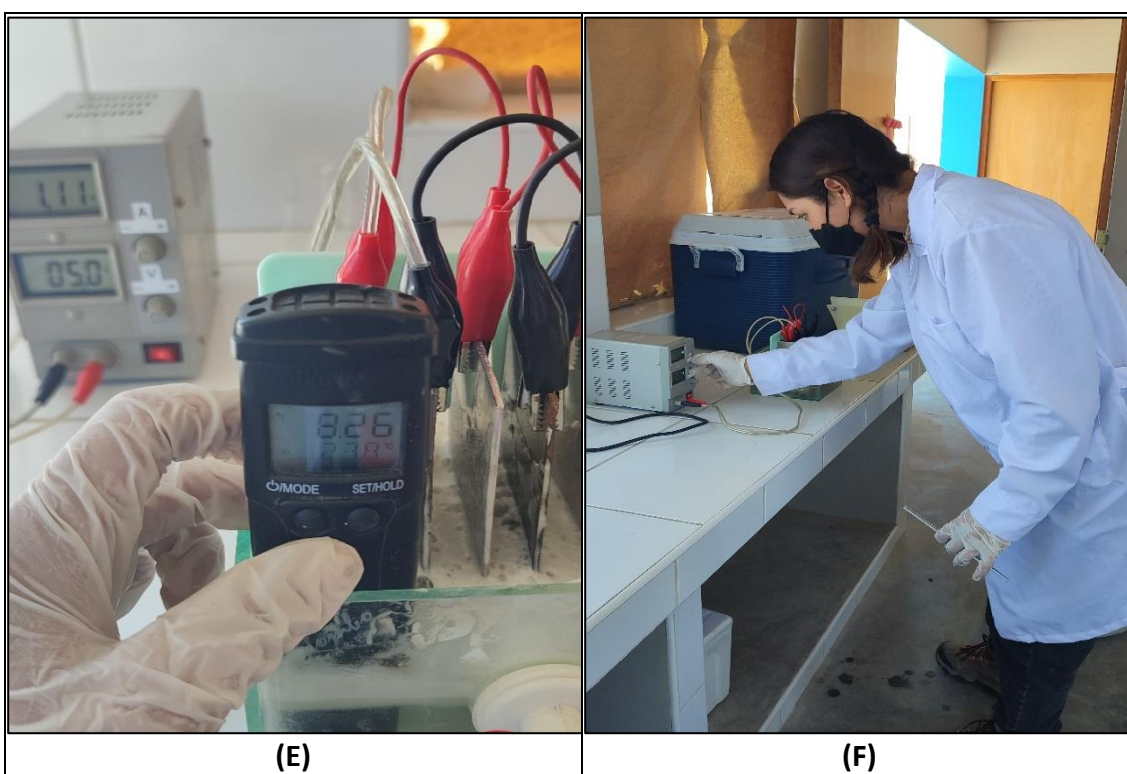
Anexo 9: Evidencias fotográficas del desarrollo de la parte experimental.

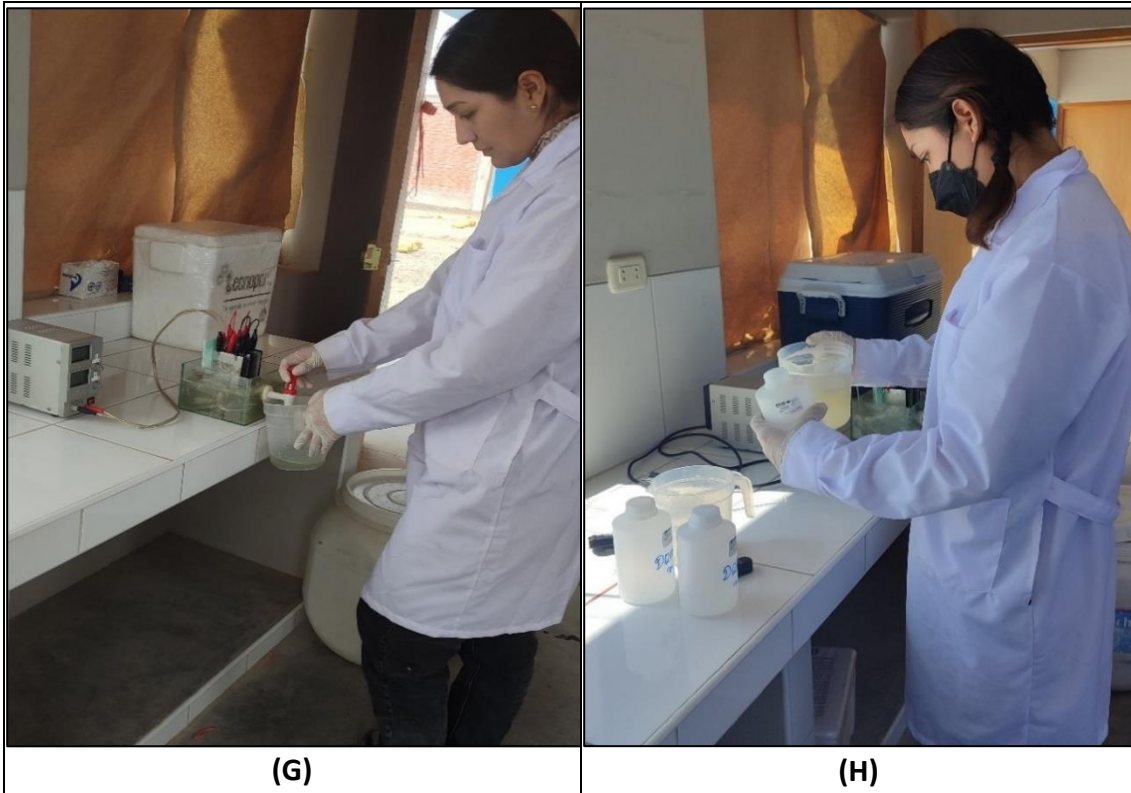






*Nota: (A) Recolección de muestra compuesta en el punto de captación de la PTAR. (B) Medición de los parámetros de campo con el medidor combinado. (C) Pretratamiento y homogenización de la muestra compuesta recolectada. (D) Instalación del sistema de electrocoagulación en el desarrollo experimental.*





*Nota: (E) Medición de los parámetros de campo durante el desarrollo experimental. (F) Manipulación del voltaje aplicado en el desarrollo experimental. (G) Toma de muestras de agua residual tratadas. (H) Envasado de muestras de agua residual tratadas para el análisis de laboratorio.*

**Anexo 10: Muestras de agua residual pre y post tratamiento de EC.**



*Nota: Se observa cambio de coloración entre las muestras de agua residual sin tratamiento (lado izquierdo) y con tratamiento (lado derecho), de acuerdo con la condición óptima (T5) para la reducción de la DQO.*