

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

**EVALUACIÓN DE LAS CELDAS DE ELECTROCOAGULACIÓN  
REUTILIZANDO LATAS DE ALUMINIO PARA  
EL TRATAMIENTO DE AGUA DEL  
RÍO TOROCOCHA, PUNO**

TESIS

**Presentada por:**

Bach. Yury Jhoel Apaza Poma

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

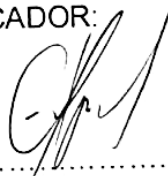
2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

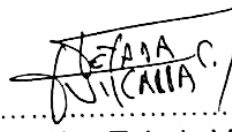
**EVALUACIÓN DE LAS CELDAS DE ELECTROCOAGULACIÓN  
REUTILIZANDO LATAS DE ALUMINIO PARA  
EL TRATAMIENTO DE AGUA DEL  
RÍO TOROCOCHA, PUNO**

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 09 DE NOVIEMBRE DEL  
2023, SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:

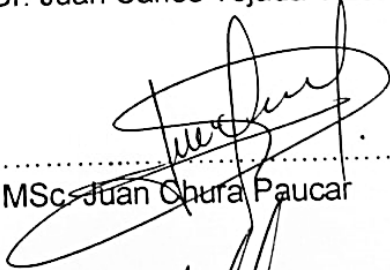
**PRESIDENTE**

  
.....  
Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

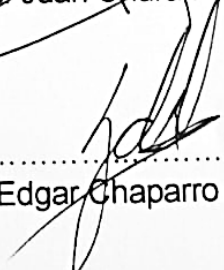
**SECRETARIO**

  
.....  
Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra

**VOCAL**


  
.....  
MSc. Juan Chura Paucar

**ASESOR**

  
.....  
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **Dr. Edgar Chaparro Aguilar** en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 6901-2022-FCAG de la tesis titulado: **"EVALUACIÓN DE LAS CELDAS DE ELECTROCOAGULACIÓN REUTILIZANDO LATAS DE ALUMINIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DEL RÍO TOROCOCHA, PUNO"**. Presentado por la **Bachiller Yury Jhoel Apaza Poma**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del Software de similitud textual Turnitin cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 8%. Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciado líneas arriba la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

  
.....  
**Dr. Edgar Chaparro Aguilar**  
DNI: 40206961

  
.....  
**Yury Jhoel Apaza Poma**  
DNI: 77035941



## **DEDICATORIA**

A Dios con mucho amor

A mi familia, la familia más feliz mundo

A mis amigos con mucho cariño

A mi asesor, profesores y tutores quienes aportaron con información  
valiosa a este trabajo

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco el apoyo de cada uno de los docentes de la UNJBG, escuela profesional de Ingeniería Ambiental personal administrativo y la Dirección, los que han aportado con el aprendizaje y los valores adquiridos durante la carrera universitaria.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
CONTENIDO .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	.xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	.xvii
ÍNDICE DE FOTOS.....	.xix
RESUMEN .....	xxi
ABSTRACT .....	xxiii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

<b>1.1</b> Planteamiento del problema .....	<b>3</b>
<b>1.2</b> Formulación y sistematización del problema .....	<b>4</b>
<b>1.2.1</b> Problema general .....	<b>4</b>
<b>1.2.2</b> Problemas específicos .....	<b>4</b>
<b>1.3</b> Delimitación de la investigación .....	<b>4</b>
<b>1.3.1</b> Delimitación temporal .....	<b>4</b>
<b>1.3.2</b> Delimitación espacial .....	<b>5</b>
<b>1.3.3</b> Delimitación teórica .....	<b>5</b>
<b>1.4</b> Justificación .....	<b>6</b>

1.4.1	Justificación social .....	6
1.4.2	Justificación económica .....	6
1.4.3	Justificación ambiental .....	6
1.5	Limitaciones .....	7

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

2.1	Objetivos .....	8
2.1.1	Objetivo general .....	8
2.1.2	Objetivos específicos .....	8
2.2	Hipótesis .....	9
2.2.1	Hipótesis general .....	9
2.2.2	Hipótesis específicas .....	9
2.3	Variables .....	9
2.3.1	Operacionalización de variables .....	9

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

<b>3.1</b>	<b>Antecedentes.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Antecedentes del primer objetivo específico: Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Torococha de Puno.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Antecedentes del segundo objetivo específico: Determinar el efecto del tiempo y voltaje de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua del río Torococha Puno .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Bases teóricas.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Electrocoagulación.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Reutilización.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Tratamiento de agua.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Coagulación.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.6</b>	<b>Categorías de remoción de la electrocoagulación.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.7</b>	<b>Cuerpos de agua.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4</b>	<b>Definición de términos.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Conductividad eléctrica.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Demanda bioquímica de oxígeno.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Demanda química de oxígeno.....</b>	<b>25</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Potencial de hidrogeno (pH).....</b>	<b>25</b>
<b>3.4.5</b>	<b>Contaminación de agua.....</b>	<b>25</b>

<b>3.4.6</b> Turbidez.....	26
<b>3.4.7</b> Electroflotación.....	26

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

<b>4.1</b> Tipo de investigación.....	27
<b>4.2</b> Lugar de ejecución.....	27
<b>4.3</b> Población y muestra en estudio.....	28
<b>4.4</b> Diseño de la investigación.....	28
<b>4.5</b> Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	28
<b>4.5.1</b> Técnicas de recolección.....	28
<b>4.6</b> Metodología para el análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Torococha de Puno.....	29
<b>4.7</b> Metodología para la determinación del efecto del tiempo y voltaje de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	37
<b>4.8</b> Materiales, equipos y reactivos.....	43
<b>4.8.1</b> Materiales.....	43
<b>4.8.2</b> Equipos.....	43
<b>4.8.3</b> Reactivos.....	44
<b>4.9</b> Análisis estadístico.....	44

## **CAPÍTULO V**

### **TRATAMIENTO DE RESULTADOS**

<b>5.1</b>	Análisis de las características fisicoquímicas del agua del río Torococha de Puno.....	46
<b>5.2</b>	Determinación del efecto de voltaje y el tiempo de tratamiento de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua del río Torococha de Puno.....	48
<b>5.2.1</b>	Potencial de hidrógeno (pH).....	48
<b>5.2.2</b>	Conductividad eléctrica.....	51
<b>5.2.3</b>	Oxígeno disuelto.....	52
<b>5.2.4</b>	Demanda bioquímica de oxígeno.....	55
<b>5.2.5</b>	Demanda química de oxígeno.....	58
<b>5.2.6</b>	Sólidos totales disueltos.....	61
<b>5.2.7</b>	Turbidez.....	64
<b>5.2.8</b>	Coliformes termo tolerantes.....	67

## **CAPÍTULO VI**

### **DISCUSIONES**

<b>6.1</b>	Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Torococha de Puno.....	71
<b>6.2</b>	Determinación del efecto del tiempo y voltaje de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros... 77	

fisicoquímicos y microbiológicos del agua del río Torococha de  
Puno.....

<b>CONCLUSIONES</b> .....	82
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	84
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Proceso de coagulación química .....	22
<b>Figura 2.</b> Dimensiones del tubo de PVC utilizado para separar las celdas de electrocoagulación .....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables .....	10
<b>Tabla 2.</b> Materiales y equipos para la ejecución del muestreo del agua del río Torococha .....	32
<b>Tabla 3.</b> Métodos de ensayo acreditados por la dirección de acreditación del INACAL .....	33
<b>Tabla 4.</b> Consideraciones para la conservación y preservación de muestras para los parámetros fisicoquímicos.....	35
<b>Tabla 5.</b> Consideraciones para la conservación y preservación de muestras para los parámetros microbiológicos.....	36
<b>Tabla 6.</b> Modelo del ANOVA para determinar diferencias significativas de los factores dependientes del presente estudio.....	45
<b>Tabla 7.</b> Modelo de la tabla de contraste múltiple de Tukey.....	45
<b>Tabla 8.</b> Características fisicoquímicas del agua del río Torococha muestreado antes de la confluencia con el río Coata.....	47
<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza del porcentaje de incremento del pH .....	48
<b>Tabla 10.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para el voltaje en el porcentaje del incremento del pH .....	49
<b>Tabla 11.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para el tiempo de tratamiento en el porcentaje del incremento del pH .....	50
<b>Tabla 12.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para la interacción AB ...	50

en el porcentaje del incremento del pH .....	
<b>Tabla 13.</b> Análisis de varianza del porcentaje de reducción de la conductividad eléctrica .....	51
<b>Tabla 14.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para el tiempo de tratamiento en el porcentaje de reducción de la conductividad eléctrica .....	52
<b>Tabla 15.</b> Análisis de varianza del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto .....	53
<b>Tabla 16.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para el voltaje en el porcentaje de incremento del oxígeno disuelto .....	54
<b>Tabla 17.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para el tiempo de tratamiento en el porcentaje de incremento del oxígeno disuelto .....	54
<b>Tabla 18.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para la interacción AB en el porcentaje de incremento del oxígeno disuelto .....	55
<b>Tabla 19.</b> Análisis de varianza del porcentaje de remoción de la DBO5 .....	56
<b>Tabla 20.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para Voltaje en la remoción de la DBO5 .....	57
<b>Tabla 21.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para el tiempo de tratamiento em la remoción de la DBO5 .....	57
<b>Tabla 22.</b> Prueba de rangos múltiples para la interacción de AB en el porcentaje de remoción de la DBO5 .....	58
<b>Tabla 23.</b> Análisis de varianza del porcentaje de remoción de la DQO.....	59
<b>Tabla 24.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para Voltaje en la remoción de la DQO .....	60

<b>Tabla 25.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para el tiempo de tratamiento en la reducción de la DQO .....	60
<b>Tabla 26</b> Prueba de rangos múltiples para la interacción de AB en el porcentaje de remoción de la DQO .....	61
<b>Tabla 27.</b> Análisis de varianza del porcentaje de remoción de los sólidos totales disueltos .....	62
<b>Tabla 28.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para voltaje en el porcentaje de remoción de solidos totales disueltos .....	63
<b>Tabla 29.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para el tiempo de tratamiento en el porcentaje de remoción de sólidos totales disueltos.....	63
<b>Tabla 30.</b> Análisis de varianza del porcentaje de remoción de la turbiedad.....	64
<b>Tabla 31.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para voltaje en la remoción de la turbiedad.....	65
<b>Tabla 32.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para el tiempo de tratamiento en la remoción de la turbiedad.....	66
<b>Tabla 33</b> Prueba de rangos múltiples para la interacción de AB en el porcentaje de remoción de turbiedad.....	66
<b>Tabla 34.</b> Análisis de varianza del porcentaje de remoción de Coliformes termotolerantes.....	67
<b>Tabla 35.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para Voltaje en el porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes.....	68
<b>Tabla 36.</b> Prueba de rangos múltiples de Tukey para el tiempo de tratamiento en el porcentaje de remoción de Coliformes termotolerantes .....	69

<b>Tabla 37.</b> Prueba de rangos múltiples para la interacción de AB en el porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes..... ..	70
<b>Tabla 38.</b> Matriz de consistencia..... ..	100
<b>Tabla 39.</b> Resumen de los resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológico realizado a las muestras del agua del río Torococha..... ..	102

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Matriz de Consistencia.....	100
<b>Anexo 2.</b> Plano de ubicación geográfica de los puntos de monitoreo proyectado en sistema de coordenadas UTM WGS84.....	101
<b>Anexo 3.</b> Cuadro de resultados.....	102
<b>Anexo 4.</b> Registro fotográfico.....	103
<b>Anexo 5.</b> Metodología para determinar el pH mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 4500-H+ B, 23a Edición.....	113
<b>Anexo 6.</b> Metodología para la determinación de la temperatura mediante el método SMEWW-APHA- AWWA-WEF. Part 2550 B. 23 rd Edition.....	116
<b>Anexo 7.</b> Metodología para la determinación de la conductividad eléctrica mediante el método SMEWW-APHA- AWWA-WEF. Part 2510 B, 23rd Edition.....	117
<b>Anexo 8.</b> Metodología para la determinación del oxígeno disuelto mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 23rd Ed.....	119
<b>Anexo 9.</b> Metodología para la determinación de sólidos totales disueltos mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23rd Ed.....	120

<b>Anexo 10.</b> Determinación de la turbidez mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23 rd Ed.: 2017.....	122
<b>Anexo 11.</b> Determinación de la DBO5 mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.....	124
<b>Anexo 12.</b> Determinación de la DQO con el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed: 2017.....	126
<b>Anexo 13.</b> Determinación de Coliformes termotolerantes mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 23rd Ed. 2017.....	130
<b>Anexo 14.</b> Informe de ensayo de laboratorio.....	133

## ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
<b>Foto 1.</b> Almacenamiento, lavado y recorte de latas de aluminio reciclado.....	103
<b>Foto 2.</b> Fotografías de campo preparación para el muestreo insitu del agua del río Torococha.....	104
<b>Foto 3.</b> Muestras almacenadas y acondicionadas en los laboratorios de la Universidad Nacional de Juliaca.....	105
<b>Foto 4.</b> Medición, pesado e instalación de las celdas de electrocoagulación para el tratamiento de las muestras del agua del río Torococha.....	106
<b>Foto 5.</b> Dimensión y zonas del reactor de tipo batch.....	107
<b>Foto 6.</b> Muestras extraídas de los tratamientos realizados, recojo de frascos de muestreo, muestreo de los tratamientos y pesado final de electrodos.....	108
<b>Foto 7.</b> Medición de parámetros fisicoquímicos, preservación de muestras con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> para la medición de la DQO.....	109
<b>Foto 8.</b> Medición de parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto, pH y solidos totales disueltos.....	110
<b>Foto 9.</b> Envío de muestras al laboratorio acreditado SGS del Perú SAC para la medición de los parámetros fisicoquímicos: turbidez, DBO <sub>5</sub> , DQO y coliformes termotolerantes.....	111

- Foto 10.** Acumulación de desmonte invadiendo el cauce del río Torococha..... 112
- Foto 11.** Discurriramiento de aguas salinas producto del lavado de cuero y lana de oveja que ingresan al río Torococha..... 112

## RESUMEN

Los ríos representan una fuente importante como recurso hídrico que se ha visto alterado con el pasar del tiempo por actividades antropogénicas como el cambio de uso de suelo, generación y disposición inadecuada de residuos sólidos en ríos provocando condiciones eutróficas y anóxicas, en la presente investigación se evaluó las celdas de electrocoagulación utilizando latas de aluminio reciclado para el tratamiento del agua del río Torococha, para lo cual se analizó las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Torococha, se tomaron 90 L de muestra de agua del río Torococha antes de la confluencia con el río Coata, se aplicó un diseño bifactorial (con factores: voltaje y tiempo de tratamiento) con 6 tratamientos, dos repeticiones identificándose eficiencias del rendimiento del proceso de electrocoagulación con niveles de remoción de hasta 83,28 % para la DBO<sub>5</sub>, 84,75 % para la DQO, 65,93 % para sólidos totales disueltos, 69,87 % para turbidez y 99,36 % para coliformes termotolerantes los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). El experimento mostró un incremento del nivel de pH de hasta 15,48 %, de la conductividad eléctrica de hasta 37,69 % y valores de oxígeno

disuelto de hasta 63,27 %. Por lo tanto, se concluye que la utilización de las celdas de electrocoagulación para el tratamiento de las aguas del río Torococha mostró altas tasas de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

**Palabras clave:** Electrocoagulación, coagulación, floculación, flotación, tratamiento y agua.

## **ABSTRACT**

Rivers represent an important source as a water resource that has been altered over time by anthropogenic activities such as land use change, generation and improper disposal of solid waste in rivers causing eutrophic and anoxic conditions, In the present investigation the electrocoagulation cells were evaluated using recycled aluminum cans for the treatment of water from the Torococha river, for which the physicochemical and microbiological characteristics of the Torococha river were analyzed, 90 L of water sample were taken from the Torococha river before the confluence with the Coata river, a bifactorial design was applied (with factors: Voltage and treatment time) with 6 treatments, two repetitions identifying efficiencies of the electrocoagulation process performance with removal levels up to 83.28 % for BOD<sub>5</sub>, 84.75 % for COD, 65.93 % for total dissolved solids, 69.87 % for turbidity and 99.36 % for thermotolerant coliforms the physicochemical and microbiological parameters presented significant differences ( $p < 0,05$ ). The experiment showed an increase in pH level up to 15.48 %, electrical conductivity up to 37,69 % and dissolved oxygen values up to 63.27 %. Therefore, it is concluded that the use of electrocoagulation cells for the treatment of water from the Torococha river

showed high removal rates of physicochemical and microbiological parameters.

**Key words:** Electrocoagulation, coagulation, flocculation, flotation, treatment and water.

## INTRODUCCIÓN

Los ríos desempeñan un papel importante en la protección del ambiente, su calidad es un factor esencial para el desempeño de diversas funciones, entre los factores que deteriora el medio acuático se encuentra la urbanización debido a que incrementa la escorrentía superficial y la erosión de suelos Wang et al. (2023), así mismo de acuerdo con Zhang et al. (2014) los factores antrópicos presentan una correlación positiva con la contaminación del agua debido al crecimiento exponencial de las actividades extractivas.

Los ríos presentan beneficios para los seres vivos denominados servicios ecosistémicos que son clasificados como servicios de provisión, regulación y culturales Almeida-Leñero et al. (2007), estos servicios que proveen los ríos pueden verse afectados por actividades de cambio de uso del suelo impidiendo la provisión de los servicios ecosistémicos a los seres vivos W. Liu et al. (2019).

Las interrupciones antropogénicas obstaculizan el flujo natural del agua provocando debilitamiento del río para formar agua estancada de coloración oscura, generando en consecuencia malos olores y aparición de vectores Tang et al. (2022), por ejemplo, los vertimientos de aguas residuales al río traen como consecuencia la pérdida de capacidad de auto

depuración del agua, formando condiciones de anoxia y alto contenido demateria orgánica García et al. (2008), por lo que el presente trabajo de investigación pretende evaluar las celdas de electrocoagulación para el tratamiento del agua del río Torococha.

En el Capítulo I se describe el planteamiento del problema, cuyo contenido aborda el planteamiento del problema, formulación y sistematización del problema, delimitación y justificación de la investigación y limitaciones. En el Capítulo II se determinan los objetivos, hipótesis y variables del estudio. En el Capítulo III se exponen los antecedentes por cada objetivo específico, bases teóricas y definición de términos. En el Capítulo IV se da a conocer el marco metodológico por cada objetivo específico, se expone el tipo de investigación, lugar de ejecución, población y muestra de estudio, diseño de la investigación, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, materiales, equipos y reactivos. En el Capítulo V se presentan los resultados de acuerdo con los objetivos propuestos. En el Capítulo VI se discuten los resultados obtenidos con otros autores relevantes. Además, se dan a conocer las conclusiones por cada objetivo específico, las recomendaciones dadas por el investigador para futuras investigaciones, las referencias bibliográficas usadas en el presente estudiaron y finalmente los anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

En América Latina existen una creciente problemática con el tratamiento de las aguas residuales que como consecuencia provocan la contaminación del agua y tiene efectos negativos en la salud pública Larios-Meño et al. (2015), el Perú se enfrenta a serios desafíos con las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) puesto que más del 90 % de estas no cuentan con autorización para el vertimiento o rehúso (SUNASS, 2015).

Gracias a los avances de la tecnología ambiental se ha logrado investigar procesos que ayudan a reducir contaminantes de grandes cantidades de agua que generan las industrias, entre ellos el más estudiado por sus altas tasas de eliminación de contaminantes se encuentra la electrocoagulación que utiliza el principio de la coagulación y Electroflotación para su tratamiento (Tapara, 2022).

Es así como a partir de la base bibliográfica encontrada se desea solucionar y proponer a la electrocoagulación como tratamiento para la reducción de los contaminantes presentes en el río Torococha.

## **1.2 Formulación y sistematización del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿La evaluación de las celdas de electrocoagulación reutilizando latas de aluminio permiten identificar las características más relevantes para el tratamiento del agua del río Torococha de Puno?

### **1.2.2 Problemas específicas**

¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Torococha de Puno?

¿Cuáles son los efectos de los factores tiempo y voltaje de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua del río Torococha de Puno?

## **1.3 Delimitación de la investigación**

### **1.3.1 Delimitación temporal**

La tesis tuvo una duración de 03 meses en el que se desarrollaron las siguientes actividades: Coordinación con el laboratorio SGS del Perú

S.A.C. donde se presentó una solicitud de servicios de ensayo de laboratorio, recibo de materiales de muestreo, traslado de materiales de muestreo (cooler, frascos de muestreo, preservantes y geles refrigerantes), se solicitó a la Universidad Nacional de Juliaca el alquiler de equipos y materiales para la evaluación de los parámetros fisicoquímicos, se realizó muestreo de campo, rotulado de frascos, limpieza de electrodos y reactor, medición de parámetros fisicoquímicos.

### **1.3.2 Delimitación espacial**

El desarrollo del presente trabajo de investigación se encuentra ubicado en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno.

### **1.3.3 Delimitación teórica**

La orientación del presente trabajo de investigación es la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua del río Torococha mediante la aplicación del tratamiento Electrocoagulación considerando los factores: tiempos y voltaje aplicado a las celdas de electrocoagulación.

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1 Justificación social**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se obtuvieron en el presente trabajo de investigación pueden ser identificados como información para que las autoridades competentes en la gestión de los residuos sólidos y el manejo de las aguas residuales puedan tomar decisiones que protejan el interés común y se oriente a la solución de conflictos socioambientales generados y busquen la mejor solución a la presunta afectación de los pobladores del distrito de Coata, Huata y Capachica del departamento de Puno (OEFA, 2015).

### **1.4.2 Justificación económica**

En el presente trabajo de investigación, se identifica que desde el punto de vista económico la utilización de latas recicladas para el tratamiento del agua del río Torococha disminuye los costos para su tratamiento e incrementa las eficiencias de eliminación de posibles contaminantes en el agua.

### **1.4.3 Justificación ambiental**

El presente estudio pretende evaluar la calidad ambiental del agua del río Torococha así como evaluar el uso del tratamiento de

electrocoagulación permitiendo disminuir la posible contaminación, según los resultados del monitoreo realizado por el OEFA en el año 2015 los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como el oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes termo tolerantes, entre otros no cumplieron con los estándares de calidad ambiental para agua OEFA (2015), por tanto, el río Coata posiblemente estaría siendo afectado por el río Torococha debido a la mala gestión de residuos sólidos dispuestos en su cauce, así como el vertimiento de aguas no autorizadas por el ANA, que pueden provocar efectos en la salud de las personas Manrique (2023).

### **1.5 Limitaciones**

En el presente trabajo de investigación presenta como limitante, las bajas temperaturas presentadas, según la estación meteorológica Juliaca del SENAMHI durante el mes de mayo se registró una temperatura media mensual de 7,09 °C.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **2.1 Objetivos**

##### **2.1.1 Objetivo general**

Evaluar las celdas de electrocoagulación reutilizando latas de aluminio para el tratamiento de agua del río Torococha de Puno.

##### **2.1.2 Objetivos específicos**

- Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Torococha de Puno.
- Determinar el efecto del tiempo y voltaje de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua del río Torococha de Puno

## **2.2 Hipótesis**

### **2.2.1 Hipótesis general**

La evaluación de las celdas de electrocoagulación reutilizando latas de aluminio logra tratar el agua del río Torococha de Puno.

### **2.2.2 Hipótesis específicas**

- Si se analizan las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Torococha de Puno, entonces, se determinan sus componentes.
- El tiempo y voltaje tiene efecto sobre la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua del río Torococha de Puno.

## **2.3 Variables**

### **2.3.1 Operacionalización de variables**

En la tabla 1 se muestra la operacionalización de variables donde se describe a la variable dependiente e independiente como la electrocoagulación reutilizando latas de aluminio para el tratamiento del agua del río Torococha como variable independiente y porcentaje de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua del río Torococha de Puno como variable dependiente.

**Tabla 1**  
Operacionalización de variables

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Independiente</b> Tiempo y voltaje	Efecto del tiempo y voltaje	- minutos - voltios
<b>Dependiente</b> Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	Parámetros físicos	- pH - temperatura - Conductividad eléctrica - Sólidos totales disueltos - Oxígeno disuelto - Turbiedad - DBO <sub>5</sub> - DQO
	Parámetros microbiológicos	- Coliformes termotolerantes

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes**

##### **3.1.1 Antecedentes del análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas**

Kausar et al. (2019) en su investigación titulada “Evaluación de la calidad de las aguas superficiales en un gradiente espaciotemporal mediante técnicas estadísticas multivariantes: Un estudio de caso del río Chenab, Pakistán” determinaron la calidad del agua del río Chenab, Pakistan, donde identificó valores de solidos totales disueltos que oscilan entre 110 y 550 mg/L, 10 mg/L de DBO<sub>5</sub>, 25 mg/L de DQO, la temperatura osciló entre 9,8 y 23 °C y se observó que el valor de pH fue de 7,82 lo que refleja una alcalinidad de ligera a intermedia, se ha observado disminución del oxígeno disuelto de 11 mg/L hasta 7,5 mg/L reflejado por el incontrolado vertido de efluentes de origen industrial y doméstico sobre el río, así mismo el incremento de la DQO (de 4 mg/L hasta 48 mg/L) y la disminución de los

valores de sólidos totales disueltos (de 550 mg/L a 110 mg/L) validan el vertido de aguas residuales no tratadas al río Chenab.

Lin et al. (2021) en su investigación titulada “Evaluación de la calidad de las aguas superficiales basada en el índice integrado de calidad del agua en la cuenca del río Maozhou, Guangdong, China” determinaron valores de DQO de hasta 169,95 mg/L y el valor de oxígeno disuelto fue de 1,02 mg/L concluyeron que los altos valores de DQO y valores bajos de oxígeno disuelto estaba relacionadas con el vertido de aguas residuales domésticas y la contaminación de fuentes no puntuales.

Dinh Dap (2019) en su investigación titulada “Impacto de las aguas residuales de las principales fábricas en la calidad del agua del río Tolich, Hanoi” mostró los resultados analíticos del agua del río Tolich encontró que en general se encuentra muy contaminado siendo mayor en la estación seca, aunque también, en la estación lluviosa los contaminantes de agua se diluyen, aún no se garantizan el higiene ambiental, el valor de pH se presentó en 8,5, la DBO<sub>5</sub> oscila de 35 mg/L (estación lluviosa) a 68 mg/L (estación seca); la DQO presentó un valor de 65 mg/L (estación lluviosa) y de unos 74 mg/L (estación seca).

En el trabajo de investigación titulado “Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y calidad bacteriológica del río Coata – Región Puno 2015”

mostró que el río Coata presentó una temperatura media de 12,34 °C, la concentración de la conductividad eléctrica fue de 1112  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , el valor de los sólidos totales disueltos fue de 553,80 mg/L, el valor del pH fue de 7,48 unidades, la demanda bioquímica de oxígeno presentó un valor de 30,92 mg/L, el valor de los coliformes termotolerantes fue de 26,83 NMP/100ml, en la investigación se concluye la  $\text{DBO}_5$  excede lo establecidos en el estándar de calidad ambiental categoría A2 (Menendez, 2018).

Aylas-Quispe et al. (2022) en su trabajo de investigación denominado “Evaluación de la Calidad del Agua Potable y de los Ríos en el Valle del Mantaro, Perú Central” revelaron que el agua del río Chanchas presenta altas concentraciones de contaminantes por las tardes con valores de pH de 8,69 por el cual en esas horas hay una mayor actividad antrópica como el vertido de aguas residuales domésticas, así mismo concluyeron que al comparar los valores de pH por la mañana y la tarde no presentan diferencia significativa.

En un estudio realizado se determinó las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Torococha, la temperatura se encontró en un valor de 12 °C, el pH se encontró en 6,80, la DQO presentó un valor de 238,00 mg/L, la  $\text{DBO}_5$  presentó un valor de 42,10 mg/L y la

concentración de coliformes termotolerantes fue de 1 NMP/100 ml (Manrique, 2023).

En un trabajo de investigación se identificó que el río Coata presentó un pH de 8,21 unidades de pH, de oxígeno disuelto 4,16 mg/L, de conductividad eléctrica de 1238  $\mu$ S/cm, de DBO<sub>5</sub> 28 mg/L y la concentración de coliformes termotolerantes fue de 2400 NMP/100 ml, concluye que los coliformes termotolerantes son indicadores de presencia de contaminación fecal, debido a que exceden el estándar de calidad ambiental para agua (Gutierrez, 2018).

### **3.1.2 Antecedentes de la determinación del efecto del tiempo y voltaje de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos**

Apaza (2019) en su investigación titulada “Eficiencia de la electrocoagulación en la remoción de materia orgánica de las aguas del río Torococha” determinó que la electrocoagulación tiene una eficiencia de remoción de la turbidez en un 98.58 % con un tiempo de tratamiento de 30 minutos, en su investigación utilizaron un reactor de una capacidad de tratamiento de 4 litros y utilizaron placas de aluminio y hierro con dimensiones de 7 x 10 cm y un espesor de 3mm, también consideró la separación entre placas metálicas de 15 mm.

Suryaningsih et al. (2021) en su investigación titulada “Eficacia del electrodo de aluminio para la depuración de aguas fluviales mediante electrocoagulación” llevaron a cabo experimentos utilizando electrocoagulación con agua de río contaminado con variaciones de tiempo de 60, 90, 120, 150 y 180 segundos, con un voltaje constante de 40 V, donde determinaron que a partir de segundo 90 se alcanzó el 90 % de eliminación de turbidez, los sólidos totales disueltos y la conductividad alcanzaron porcentajes de eliminación de hasta 22,6 % y 25 % respectivamente.

Idusuyi et al. (2022) en su investigación que lleva por título “Proceso de electrocoagulación de bajo coste para el tratamiento de aguas contaminadas utilizando electrodos de aluminio de latas recicladas” determinó que el tratamiento de una corriente contaminada tiene la capacidad de reciclar el agua logrando eficiencias óptimas de reducción de la DQO y DBO<sub>5</sub> de 90,7 % y 97,67 % respectivamente con 10 V de voltaje aplicado.

Prihartini et al. (2022) en su investigación titulada “Electrocoagulación-ultrafiltración estanca integrada para la descontaminación de aguas fluviales: Influencia de la configuración de los electrodos y de la presión de funcionamiento” utilizaron electrodo de aluminio por su bajo coste con

dimensiones de 33 x 4 cm, con espesor de 0,3 cm determinaron que el incremento de ánodos en el sistema de electrocoagulación mejora la tasa de liberación de iones metálicos desde el ánodo al agua contaminada mejorando también las eficiencias de eliminación de turbidez, sólidos totales disueltos, DBO<sub>5</sub> y DQO de hasta 90,06 % , 68,35 % , 87,44 % y 79,62 % respectivamente.

Nugroho et al. (2019) en su trabajo de investigación titulada “Un proceso combinado de electrocoagulación y mezcla para el tratamiento de aguas fluviales contaminadas” trabajaron con la variación de la corriente eléctrica de 10 A y 15 A identificaron que la electrocoagulación produce coagulantes de la forma  $(Al(OH)_3)$  , así como, también el agua del río contaminado mostró un incrementó del pH (de 7,3 a 8,3) producto de la liberación de  $OH^-$  del cátodo, se obtuvo una eliminación de la DBO<sub>5</sub> de 38 % (de 84 a 52 mg/L), la eliminación de la DBO<sub>5</sub> mejoró de hasta 52 % (de 81 a 38 mg/L) cuando la corriente aplicada se incrementó a 15 A.

Elazzouzi et al. (2021) en su investigación titulada “Desarrollo de un novedoso ánodo de electrocoagulación para el tratamiento real de aguas residuales urbanas: Estudio experimental y de modelización para optimizar las condiciones operativas” concluyeron que un pH dentro del rango de 5-9 es adecuado para conseguir una buena eliminación de contaminantes de

las aguas residuales mediante el proceso electrocoagulación así mismo al aumentar el tiempo de funcionamiento y la corriente aplicada de 0,5 a 1,5 A, la eficacia de eliminación de DQO, DBO<sub>5</sub> aumentó del 50 al 80 % y del 60 al 86 % respectivamente.

Rahman et al. (2020) en su investigación titulada “Tratamiento por electrocoagulación discontinua del agua de turba en Sarawak con electrodos de hierro galvanizado”, determinaron que la eficiencia de remoción de la turbidez aumenta de 15,58 a 93,75 %, cuando la distancia entre los electrodos aumenta de 0,5 cm a 1,5 cm. Así también, la eficacia de eliminación de la turbidez aumenta de 0 a 70 % aproximadamente durante los primeros 5 minutos y aumentó en menor cantidad de porcentaje durante los próximos 25 minutos hasta llegar a una eficiencia máxima de 97,92 % aplicando una densidad de corriente de 25 A/m<sup>2</sup>, por el contrario, cuando la densidad de corriente es de 5 A/m<sup>2</sup> la eficiencia máxima de remoción de la turbidez llegó a 40 % aproximadamente.

### **3.3 Bases teóricas**

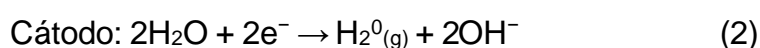
#### **3.3.1 Electrocoagulación**

La electrocoagulación se orienta en la electrólisis que consiste principalmente en la descomposición de compuestos cuyo concepto fue introducido por Michael Faraday en el año 1820, donde en una solución

electrolítica los iones positivos se desplazan hacia el cátodo y se reducen, simultáneamente, los iones negativos se transportan al ánodo y se oxidan, la electrocoagulación se considera como una tecnología respetuosa con el ambiente debido a que no se adiciona reactivos químicos (Boinpally et al., 2023).

La electrocoagulación es un proceso en que se induce corriente eléctrica hacia placas metálicas donde la función principal es el desgaste del ánodo y formación de hidrogeno del cátodo, desprendiendo especies de hidróxido (coagulante) metálico polimérico altamente cargado que desestabilizan los contaminantes suspendidos en el agua provocando la precipitación de contaminantes orgánicos en forma de flocs en el agua, empujados a la superficie por la acción los gases de hidrogeno formado Choque (2019); Moreno-Casillas et al. (2007); Yousuf et al. (2001) de forma que reduce grandes cantidades de contaminantes Ilhan et al. (2008), la presencia de sales ayuda en la conducción de la electricidad Pérez-Sicairos et al. (2011), los estudios relacionados a la electrocoagulación se orientan en maximizar las tasas de rendimiento y minimizar el uso de la energía eléctrica (Yousuf et al., 2001)

Cuando se usa electrodos de aluminio se forma la especie aluminio (+3) Barrera-Díaz et al. (2018) y las reacciones electroquímicas se puede desarrollar de la siguiente forma:



### 3.3.2 Reutilización

Se entiende como reutilización al uso o reaprovechamiento de un producto en la misma aplicación para la que se haya utilizado originalmente por ejemplo el uso de latas que cumplieron su función de ser utilizadas como envases de bebidas que ahora pueden ser utilizados como electrodos de celdas de electrocoagulación (Meena et al., 2023).

Así por ejemplo en un estudio realizado por Maldonado (2006) demostraron que los residuos sólidos al pasar por un proceso de transformación (reutilización) se puede llegar a disminuir hasta en un 70 % de residuos que pudiera haber llegado al relleno sanitario y que además de eso se pueden obtener ganancias de hasta \$ 57 640 pesos (equivale a USD 3379,13 dólares).

### **3.3.3 Tratamiento de agua**

Las aguas contaminadas por actividades antrópicas naturalmente requieren de su tratamiento mediante tecnologías que sean eficientes y utilicen la menor cantidad de recursos económicos, en el siglo XXI los principales sistemas de tratamiento se han basado en averiguar los tratamientos con mayor capacidad de tratamiento como los estudiados por Lahera Ramón (2010) que van desde los 100 a 200 l/s para un tiempo de vida de 30 años, o aquellos sistemas más ambiciosos que lograron optimizar la capacidad de tratamiento de 230 a 280 m<sup>3</sup>/día para una población de 3200 habitantes en Caylloma, Arequipa (Reyes, 2020).

Aquellos otros sistemas como la electrocoagulación se basan en remover cantidades contingentes (grandes) de materia orgánica, logrando altas eficiencias de remoción de turbidez de hasta 98,15 %, de la demanda química de oxígeno (DQO) 80 % y de hasta 86 % para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) (Elazzouzi et al., 2021).

### **3.3.4 Coagulación**

Los mecanismos físicos en la coagulación ocurre cuando se introduce partículas coloidales sobre una solución se forman cargas eléctricas en la interface de la partícula y el agua, esta carga eléctrica generada se debe a la disociación de grupos ionizables del coloide por lo tanto provoca la

neutralización de la carga, por lo tanto existe una distribución de distintos potenciales que rodean a la partícula cargada entre ellos el llamado potencial zeta, mediante el potencial zeta se logra entender el carácter electrocinética de un coloide y su estabilidad (Water, 1971).

Para que dos partículas coloidales se coagulen con cargas iguales dependen directamente de la diferencia entre la energía de interacción y la energía cinética resultante, la energía cinética del coloide puede provenir principalmente del movimiento browniano como principal fuente de energía, y finalmente el rendimiento de la coagulación puede mejorarse reduciendo la energía de interacción resultante, que es el valor neto de la energía electrostática coulombica y la energía de atracción de Van der Waals (Liu et al., 2021; Water, 1971).

De acuerdo con Water (1971), el fenómeno específico de la interacción superficial puede demostrarse plenamente por el comportamiento de inversión de carga de las partículas coloidales en presencia de especies poliméricas altamente cargadas y de bajo peso molecular (como productos de hidrólisis de los iones de aluminio y hierro, logrando así que estas especies de iones de carga inversa coagulen la suspensión coloidal a dosis bajas neutralizando las cargas superficiales de las partículas de las

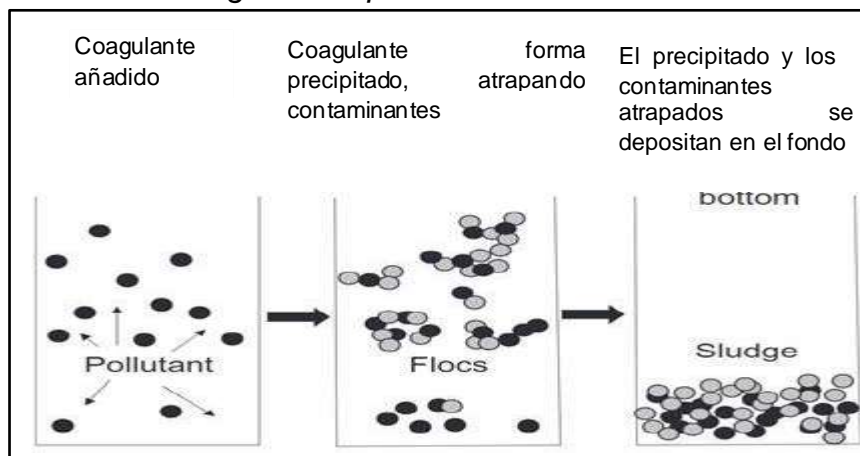
partículas y, por lo tanto, neutralizan los potenciales zeta y de la superficie de las partículas.

Las reacciones que se forman en el medio acuoso producto de la hidrólisis de iones metálicos en la coagulación es la siguiente:

1.  $\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} = \text{Al OH}^{2+} + \text{H}^+$
2.  $\text{Al}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Al (OH)}_2^+ + 2\text{H}^+$
3.  $\text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Al (OH)}_3 + 3\text{H}^+$
4.  $\text{Al}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Al (OH)}_4^- + 4\text{H}^+$

En la figura 1 se observa de forma gráfica como se desencadena el proceso de coagulación química.

**Figura 1**  
*Proceso de coagulación química*



*Nota.* Esta figura muestra el proceso de coagulación química, puntos negros contaminantes, puntos grises coagulante.

**Fuente:** Barrera-Díaz et al. (2018).

### **3.3.5 Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua**

Las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua son la representación de los parámetros que permiten conocer el estado actual del recurso hídrico Samboni et al. (2007), algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua considerados por Manrique (2023) son temperatura, potencial de hidrogeno, solidos totales disueltos, solidos totales suspendidos, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, coliformes fecales y termotolerantes.

### **3.3.6 Categorías de remoción de la electrocoagulación**

La electrocoagulación interviene en 4 tipos de categorías de remoción como son: materiales inorgánicos disueltos, sólidos en suspensión compuestos orgánicos disueltos, nutrientes de algas Manahan (2007), carbono orgánico total Bener et al. (2019), y su uso está previsto para cumplir con la calidad de efluente más exigentes en el futuro (Ramalho, 1996).

### **3.3.7 Cuerpos de agua**

Los cuerpos de agua se encuentran interconectados desde la atmósfera hasta los cuerpos superficiales y subterráneos como océanos

explicados mediante el ciclo hidrológico, el volumen total de agua en el mundo es de 1,386 millones de kilómetros cúbicos  $\text{km}^3$  el 3 % es agua dulce, de este tres por ciento un tercio se encuentra disponible Blanco (2017), existen 3 tipos de cuerpos de agua como ríos considerados como cuerpos de agua que fluyen en una sola dirección con flujo variable, lagos con velocidades relativamente bajas que oscilan entre 0,01 y 0,001 m/s y aguas subterráneas considerados como acuíferos que presenta un régimen de flujo estable condicionados por la permeabilidad y porosidad del estrato (Sierra, 2011).

### **3.4 Definición de términos**

#### **3.4.1 Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es la medida de la conducción de electricidad a través del agua utilizado para determinar sales solubles del extracto y, por tanto, la salinidad (Bahadori y Smith, 2016).

#### **3.4.2 Demanda bioquímica de oxígeno**

La demanda bioquímica de oxígeno es el oxígeno consumido por las bacterias en la degradación de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas como alimento de las bacterias en condiciones específicas en

tiempo y temperatura específicas (Bahadori y Smith, 2016; Sawyer et al., 2001)

### **3.4.3 Demanda química de oxígeno**

La demanda química de oxígeno (DQO) es la medida del nivel de oxígeno consumido en la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica oxidable contenida en el agua corregida por la influencia de los cloruros, siendo entre otros el dicromato ácido caliente el agente oxidante químico (Bahadori y Smith, 2016).

### **3.4.4 Potencial de hidrogeno (pH)**

El potencial de hidrógeno es la medida de la acidez o alcalinidad Condori y Salcedo (2008) expresa la concentración de los iones de hidrógeno presentes en el agua (Chang y Goldsby, 2013).

### **3.4.5 Contaminación de agua**

La contaminación del agua es la presencia de agentes contaminantes en el agua que pueden ser físicos, químicos o biológicos que en concentraciones elevadas podrían representar un riesgo a la salud afectando a seres vivos (Palacios y Moreno, 2022).

### **3.4.6 Turbidez**

La turbidez es la medición de la dispersión de la luz que inciden en las partículas suspendidas en el agua, la dispersión de la luz depende de la concentración, el tamaño y la forma de las partículas, así como también de la longitud de onda de la luz que incide, el ángulo de observación, las propiedades ópticas de las partículas y el índice de refracción del medio en suspensión (Bratby, 2014).

### **3.4.7 Electroflotación**

La electroflotación es el proceso mediante el cual los contaminantes flotan en la superficie de una masa de agua al adherirse a las diminutas burbujas de hidrógeno y oxígeno, promoviendo la separación de las pequeñas partículas, la producción de burbujas es influenciada por la densidad de corriente el cual debe ser lo suficientemente alta para formar las burbujas de gas en sitios de predeterminados en la superficie del electrodo (Barrera-Díaz et al., 2018).

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1 Tipo de investigación**

El tipo de investigación en el presente trabajo es aplicado, debido a que se busca conocer el efecto del voltaje y el tiempo aplicado en la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno – DBO<sub>5</sub>, sólidos totales disueltos, coliformes termo tolerantes y turbiedad.

#### **4.2 Lugar de ejecución**

La ejecución del presente trabajo de Investigación se realizó en los laboratorios de la universidad nacional de Juliaca acondicionado con mesa, cooler con capacidad de mantener temperaturas de hasta 5 °C, acceso a energía eléctrica, etc., ubicado en la ciudad de Juliaca provincia de San Román del departamento de Puno.

### **4.3 Población y muestra en estudio**

La población del estudio se encuentra ubicado en la unidad hidrográfica cuenca Coata con código pfaftetter 0176 perteneciente a la región hidrográfica del Titicaca.

La muestra es de tipo simple o puntual donde se recogió una cantidad de agua para su análisis individual ANA (2016) en las coordenadas UTM WGS84 zona 19L 385172E, 8285430N punto ubicado en el cauce del río Torococha antes de la confluencia con el río Coata.

### **4.4 Diseño de la investigación**

El presente trabajo de investigación será de tipo diseño experimental bifactorial con dos repeticiones, esto corresponde a todas las combinaciones posibles de dos factores Gutiérrez y de la Vara (2008) como son: tiempo de aplicación de la electrocoagulación y el voltaje.

### **4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **4.5.1 Técnicas de recolección**

Preparación de materiales, equipos y vestimenta de campo, para la ejecución del muestreo de agua del río Torococha se preparó con anticipación los materiales de trabajo, piseta con agua destila, cadena de

custodia, así como también se prepararon todos los materiales y equipos de muestreo operativos, se consideró los materiales y equipos recomendados en el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, aprobado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016).

#### **4.6 Metodología para el análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Torococha de Puno**

En primer lugar, se construyó un reactor de tipo batch siguiendo la metodología de Arango y Garcés (2007) con dimensiones de 16 cm de ancho, 14 cm de alto y 27 cm de largo, con una capacidad de tratamiento máximo de 5 litros, el reactor cuenta con las zonas de flotación, reacción y sedimentación con dimensiones de 7 x 10 cm ancho y largo respectivamente (Apaza, 2018).

Seguidamente se extrajo 90 L de agua del río Torococha, aguas abajo del vertimiento de aguas residuales de la ciudad de Juliaca, antes de la confluencia con el río Coata, las muestras fueron trasladados hacia el laboratorio de biología de la universidad nacional de Juliaca, los 90 L se colectaron y homogenizaron en un tacho de 120 L de capacidad, la muestra testigo se envió al laboratorio SGS del Perú S.A.C., acreditado por el INACAL, ubicado en el departamento de Arequipa, una vez colectada y

homogenizada se procedió a realizar los tratamientos en un reactor de electrocoagulación de una capacidad de 4 L.

El muestreo se realizó siguiendo lo establecido en el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

Para la obtención de los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se siguió los siguientes pasos:

#### **Medición de los parámetros de campo**

- Se tomó la muestra en un balde limpio y transparente para facilitar la medición de los parámetros de campo como oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad y temperatura, fueron medidos inmediatamente multiparámetro HANNA luego de llegar a los laboratorios de la universidad nacional de Juliaca.
- Se limpiaron los equipos de muestreo con agua destilada después de cada uso entre muestreo y muestreo, con el fin de evitar contaminación cruzada y deterioro.

### **Procedimiento para la toma de muestra del agua del río Torococha**

- Se usó botas de jebe y guantes de vinilo descartables antes del inicio de la toma de muestra de agua.
- Se ubicó un punto central de la corriente donde sea homogénea y tratando de evitar en lo posibles las aguas estancadas y poco profundas.
- Se tomó un volumen de 10 L de agua en un balde limpio evitando hacer remoción del sedimento.
- En un recipiente retirando la tapa y contra tapa sin tocar la superficie interna del frasco, se colectó la muestra luego de haber enjuagado como mínimo dos veces.
- Se cogió el frasco por la parte baja del cuello para luego sumergirla en dirección al flujo del agua.
- Para el parámetro coliformes termotolerantes se consideró un espacio de  $\frac{1}{4}$  parte aproximadamente de la capacidad de la botella.
- Para el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), el frasco se llenó de forma lenta con el fin de evitar la formación de burbujas.

En la tabla 2 se muestra los materiales y equipos para la ejecución del muestreo del agua del río Torococha que se utilizaron, esto cumpliendo con el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.

**Tabla 2**

*Materiales y equipos para la ejecución del muestreo del agua del río Torococha*

<b>Referencia</b>	<b>Descripción</b>
<b>Medios de Transporte</b>	Auto
<b>Materiales</b>	Cooler grande de 200 y 150 litros de capacidad, frascos de plásticos y vidrio, balde de plástico transparente de primer uso y limpios (4-20 litros de volumen), guantes descargables, mascarillas, pisetas y gel refrigerante.
<b>Equipos</b>	GPS y cámara fotográfica
<b>Soluciones y reactivos</b>	Agua destilada, preservantes (tiosulfato de sodio) y H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>Formatos</b>	Etiquetas, registro de datos de campo y cadena de custodia
<b>Permisos</b>	No se requieren permisos
<b>Material cartográfico</b>	Mapa hidrográfico de la cuenca Coata
<b>Indumentaria de protección</b>	Botas de jebe cortas, vestimenta de campo (pantalón, polo o camisa de manga larga, casaca, chaleco), lentes, casco, gorra, ponchos impermeables.
<b>Otros</b>	Plumones indelebles, lápices, cinta adhesiva, papel secante, libreta de campo, soga, cinta métrica, linterna de mano, pizarra acrílica o tablero, cámara fotográfica.

**Fuente:** ANA (2016).

**Tabla 3**

*Métodos de ensayo acreditados por la dirección de acreditación del INACAL*

<b>Parámetro</b>	<b>Norma referencial</b>	<b>Título</b>
pH	SMEWW-APHA- AWWA-WEF. Part 4500 H+ B. 23 rd Edition	pH Value. Electrometric Method.
Temperatura	SMEWW-APHA- AWWA-WEF. Part 2550 B. 23 rd Edition.	Temperature
Conductividad eléctrica	SMEWW-APHA- AWWA-WEF. Part 2510 B, 23rd Edition	Conductivity. Laboratory Method
Oxígeno disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 23rd Ed.	Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method
Sólidos totales disueltos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23rd Ed.	Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23 rd Ed.: 2017.	Turbidity. Nephelometric Method
DBO <sub>5</sub>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day
DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed: 2017.	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Coliformes termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation

*Nota.* Se muestran los métodos aprobados por la Dirección de Acreditación de INACAL

**Fuente:** INACAL (2023).

En la tabla 3 se muestra los métodos de ensayo acreditados por el Instituto Nacional de Calidad – INACAL utilizados en el presente trabajo de investigación para la determinación de los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

En la tabla 4 se muestra la conservación y preservación de agua en función de los parámetros fisicoquímicos que se tuvo en el presente trabajo de investigación considerando lo establecido por la Autoridad Nacional del Agua en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

**Tabla 4**

*Conservación y preservación de agua en función de los parámetros fisicoquímicos evaluados*

Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
Oxígeno disuelto	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ	Inmediatamente
	Botellas de vidrio Winkler	Fijar el oxígeno. Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	4 días
pH	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ	24 horas
Temperatura	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ	Inmediatamente
Conductividad eléctrica	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ	24 horas
Turbidezg	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ. Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras	24 horas
DBO <sub>5</sub>	Plástico o vidrio	Llenar recipiente y sellar sin burbujas. Almacenar a oscuras	24 horas

**Fuente:** ANA (2016).

En la tabla 5 se muestra la conservación y preservación de agua en función de los parámetros microbiológicos que se tuvo en el presente trabajo de investigación considerando lo establecido por la Autoridad

Nacional del Agua en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

**Tabla 5**

*Conservación y preservación de agua en función de los parámetros microbiológicos*

Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
Demanda química de oxígeno	Plástico o vidrio	Acidificar a pH 1 - 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6 meses
	Plástico	Congelar por debajo de - 18 °C	6 meses
Sólidos disueltos totales	Plástico o vidrio	Conservadas a 5 °C ± 3 °C	7 días
Coliformes termotolerantes	Vidrio estéril	Dejar un espacio para aireación y mezcla de 1/3 del frasco de muestreo. Almacenar a ≤ 6 °C y en oscuridad	24 horas

*Nota.* Esta tabla muestra las características de conservación y preservación para la correcta toma de muestras.

**Fuente:** ANA (2016).

#### **4.7 Metodología para la determinación del efecto del tiempo y voltaje de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos**

Para la propuesta del equipo del reactor se siguió el diseño elaborado por Apaza (2019) que consistió en las siguientes características:

- El reactor de tipo batch fue construido con material de vidrio con dimensiones de 16 cm de ancho, 14 cm de alto y 27 cm de largo, con una capacidad de tratamiento máximo de 5 litros, así mismo las celdas de electrocoagulación cuenta con una dimensión de 7 x 10 cm ancho y largo respectivamente
- Se utilizó celdas de electrocoagulación de material de aluminio construido a partir de latas de aluminio de envases de gaseosa y cerveza.

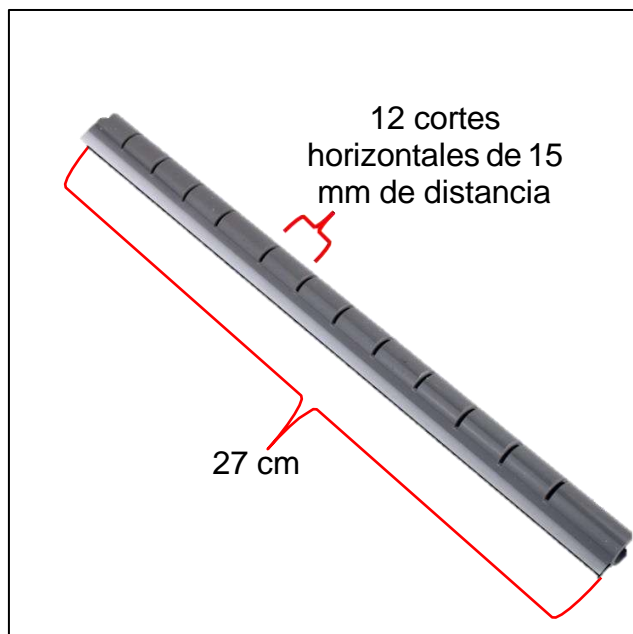
Para la construcción de las celdas de electrocoagulación se siguió el siguiente procedimiento:

- Se recolectaron un total de 100 latas en tiendas domésticas.
- Se lavaron estas latas interna y exteriormente con detergente.
- Se cortó el lado lateral de las latas de acuerdo con las dimensiones requeridas de 7 x 10 cm.

- Cada celda de electrocoagulación estuvo conformada por caras laterales de dos envases de latas de aluminio.
- Se recortó de forma lateral con una cierra metálica un tubo de media pulgada de diámetros, doce (12) espacios con separación de 15 mm, como se muestra en la siguiente figura.

### Figura 2

*Dimensiones del tubo de PVC utilizado para separar las celdas de electrocoagulación*



Para la instalación de los equipos se siguió el siguiente procedimiento:

- Se verificó con un multímetro la corriente que entrega la fuente de poder.

- Se conectó el cable de la corriente eléctrica a una fuente de energía, esta fuente de poder convierte la corriente alterna a corriente continua con voltaje y amperaje regulable.
- Se lavaron y enjuagaron las celdas de electrocoagulación con agua y detergente.
- Se acomodaron las celdas de electrocoagulación en forma paralela (12 celdas en total) con separación de 15 mm entre celda y celda en el interior del reactor de vidrio tipo batch con ayuda de un tubo de pvc de ½ pulgada de diámetro.
- Con ayuda de cables de color rojo (cátodo) y negro (ánodo) se conectaron la fuente de poder y las celdas de electrocoagulación con ayuda de cocodrilos metálicos.
- Para el cálculo de los efectos del tiempo y voltaje se combinaron los factores tiempo con tres subniveles de 20, 40 y 60 min con voltaje de 10 y 30 V estos subniveles se consideraron de acuerdo con el estudio de (Idusuyi et al., 2022).
- Para el calcular de la eficiencia de la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se usó la siguiente formula.

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \left( \frac{\text{valor del } P.F \text{ inicial} - P.F \text{ final}}{P.F \text{ inicial}} \right) \times 100 \%$$

Donde:

- **P.F inicial:** Valor del parámetro fisicoquímico antes de la electrocoagulación
- **P.F final:** Valor del parámetro fisicoquímico después de la electrocoagulación
- Con la ayuda de una probeta graduada de 250 ml se colocó un total de 4 L al reactor de vidrio tipo batch.
- Se regularon los voltajes y tiempos ya establecidos previamente según el diseño bifactorial.
- Al termino de cada prueba se extrajeron muestras 500 ml con la ayuda de una pipeta graduada de 250 ml
- Se lavaron y enjuagaron las celdas de electrocoagulación con agua y detergente.

Para el procedimiento de la electrocoagulación se siguió los siguientes pasos:

- Con la ayuda de una probeta graduada de 250 ml se colocó la muestra un total de 4 L al reactor de vidrio tipo batch.

- Se regularon los voltajes y tiempos ya establecidos previamente según el diseño bifactorial.
- Una vez terminado el tiempo de 20, 40 y 60 minutos de tratamiento para la electrocoagulación, se apagó la fuente de poder.
- Se esperó 20 minutos adicionalmente luego de que termine cada prueba para que los sólidos suspendidos precipiten.
- Seguidamente, se extrajeron muestras 500 ml con la ayuda de una pipeta graduada de 250 ml, como muestra para realizar en análisis fisicoquímico pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y temperatura.
- Adicionalmente se rotularon los frascos del laboratorio SGS del Perú S.A.C. y se extrajeron muestras para ser envasados y enviados al laboratorio para ser analizados en los parámetros  $\text{DBO}_5$ , DQO, turbidez y coliformes termotolerantes.
- Se repitió el proceso para las 12 pruebas con dos repeticiones según el diseño experimental propuesto.
- Se lavaron y enjuagaron las celdas de electrocoagulación con agua y detergente.

Para la determinación de los efectos del tiempo y voltaje de la electrocoagulación se siguió la metodología establecida por Pérez Huachaca y López-Gonzales (2017) donde se comparó con la base bibliográfica los resultados de la remoción de la carga orgánica contaminante como sólidos totales disueltos, DBO<sub>5</sub>, DQO, turbidez y oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y coliformes termotolerantes, como lo reportado por Limache (2021) que mediante un diseño bifactorial consiguió determinar el efecto que presentan los factores independientes en los tratamientos que para este caso fueron el tiempo y voltaje aplicado en la electrocoagulación.

## **4.8 Materiales, equipos y reactivos**

### **4.8.1 Materiales**

- Mascarillas.
- Guantes
- Envases blancos de 4 L
- Placas de aluminio
- Reactor tipo batch (15 cm x 20 cm x 12 cm)
- Cables conectores rojo y negro
- Pipetas (100 ml)
- Probeta graduada de 250 ml
- Vasos precipitados (500 ml y 250 ml)
- Mandil

### **4.8.2 Equipos**

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos, voltaje, y el tiempo de tratamiento se utilizó los siguientes equipos:

- Multiparámetro Hanna HI9829
- Multitester digital (voltaje, amperaje y ohmiaje)
- Fuente de poder variable de corriente directa KLC-P3
- Una cámara fotográfica de celular Samsung A32
- Cronometro de celular

- Una laptop procesador Intel Core I5, Ram 8GB, marca Aspire Acer315-57G

#### **4.8.3 Reactivos**

- Ácido clorhídrico (1:1)
- Agua destilada

#### **4.9 Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos se analizó la varianza mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 % ( $p < 0,05$ ) utilizando el programa infostat versión estudiantil Limache (2021) el ANOVA permitió comparar las varianzas entre las medias de diferentes grupos de pruebas experimentales así como identificar si el factor o su interacción fue significativa en el tratamiento, en la tabla 6 se muestra el modelo del ANOVA que se aplica para mostrar los resultados del análisis de cada variable, así como la interacción.

**Tabla 6**

*Modelo del ANOVA para determinar diferencias significativas de los factores dependientes del presente estudio*

<b>Factor de variabilidad (FV)</b>	<b>Suma de cuadrado (SC)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F Calculado (Fc)</b>	<b>P-valor</b>
Factor A:					
Factor B:					
AB					
Error					
Total					

Coeficiente de variabilidad (CV) =

Para las comparaciones de los resultados de cada factor dependiente se utilizó la prueba de contraste múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ), en la tabla 7 se muestra el modelo del cuadro de resumen de la prueba de contraste múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 7**

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

<b>Nombre del factor</b>	<b>Media de la remoción del factor estudiado</b>	<b>Significancia</b>
--------------------------	--	----------------------

## **CAPÍTULO V**

### **TRATAMIENTO DE RESULTADOS**

#### **5.1 Análisis de las características fisicoquímicas del agua del río Torococha de Puno**

Para el muestreo del agua del río Torococha de Puno se siguió la metodología establecida por ANA (2016) establecida en el protocolo nacional de monitoreo de la calidad de agua, la tabla 8 muestra los valores de oxígeno disuelto por debajo del estándar de calidad ambiental, por tanto, las aguas provenientes del río Torococha presentan altas proporciones de materia orgánica, estado de anoxia por la noche debido a la ausencia de la fotosíntesis Montalvo et al. (2008); los sólidos totales disueltos son sales inorgánicas como cloruro de calcio, magnesio, sodio, bicarbonatos, materia orgánicas entre otros son perjudiciales para la salud humana y en concentraciones superiores a 250 mg/L afectan la vida de peces y valores que se encuentran entre 270 mg/L – 1170 mg/L matan casi todos los huevos de peces Herawati et al. (2023), así mismo, la  $DBO_5$ ,

la DQO y coliformes termotolerantes se encuentran por encima los estándares de calidad ambiental debido a la alta carga orgánica contaminante en el agua, representando por una perturbación en el cuerpo de agua asociados a las actividades esto concuerda con la investigación realizada por (Palomino, 2018).

En la tabla 8 se observa las características fisicoquímicas del agua del río Torococha, cuyos valores promedio de dos repeticiones no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) por tanto se comprueba que los datos son representativos.

**Tabla 8**

*Características fisicoquímicas del agua del río Torococha muestreado antes de la confluencia con el río Coata*

Parámetro	Unidad de medida	Valor promedio ( $p > 0,05$ )	ECA Agua categoría 3	Observación
– pH	Unidades de pH	7,85	6,5-8,5	Cumple
– Temperatura	°C	18,2	Δ 3	Cumple
– Conductividad eléctrica	μS/cm	2100	2500	Cumple
– Oxígeno disuelto	mg/L	3,92	≥ 4	No cumple
– Sólidos totales disueltos	mg/L	2000	1000	No cumple
– Turbidez	NTU	76,5	100	Cumple
– DBO <sub>5</sub>	mg/L	91,8	15	No cumple
– DQO	mg/L	169,1	40	Cumple
– Coliformes termotolerantes	NPM/100 ml	22000	2000	No cumple

## 5.2 Determinación del efecto de voltaje y el tiempo de tratamiento de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua del río Torococha de Puno

### 5.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

En la tabla 9 se observa el análisis de varianza del porcentaje de incremento del pH, obteniéndose en el factor A (voltaje), B (tiempo de tratamiento) y su interacción AB presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en los resultados a un nivel de 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 6,82 %.

**Tabla 9**

*Análisis de varianza del porcentaje de incremento del pH*

<b>F. V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Voltaje: A	60,26	1	60,26	120,41	< 0,0001
Tiempo de tratamiento: B	71,35	2	35,67	71,29	0,0001
AB	5,80	2	2,9	5,8	0,0396
Error	3	6	0,5		
Total	140,41	11			

CV = 6,82 %

De acuerdo con la tabla 9 donde se encuentra diferencia significativa en los resultados para los factores A, B y su interacción AB, por tanto, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ).

En la tabla 10 se observa la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de incremento del pH a diferentes voltajes, donde el mínimo incremento del pH se observó con 10 V logrando una media de 8,13 % y el máximo con 30 V logrando una media de 12,61 % diferenciándose significativamente.

**Tabla 10**

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

<b>Voltaje</b>	<b>Media del porcentaje de incremento del pH</b>	<b>Significancia</b>
10	8,13	a
30	12,61	b

En la tabla 11 se muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de incremento del pH a diferentes tiempos de tratamiento, donde el mínimo incremento del pH se observó con 20 minutos logrando una media de 7,52 % y el máximo con 60 minutos logrando incrementar el pH hasta una media de 13,47 % diferenciándose significativamente.

**Tabla 11**

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

<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Media del porcentaje del incremento del pH</b>	<b>Significancia</b>
20	7,52	a
40	10,13	b
60	13,47	c

En la tabla 12 se muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de incremento del pH a diferentes interacciones de voltaje y tiempo de tratamiento, donde el mínimo incremento del pH se observó en la interacción de 10 V – 20 min logrando una media de 5,99 % y el máximo con la interacción 30 V – 60 min logrando incrementar el pH hasta una media de 15,48 % diferenciándose significativamente.

**Tabla 12**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje del incremento del pH en la interacción de voltaje a diferentes tiempos de tratamiento*

<b>Voltaje</b>	<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Medias</b>	<b>Significancia</b>
10	20	5,99	a
10	40	6,94	a b
30	20	9,05	b c
10	60	11,47	c d
30	40	13,31	d e
30	60	15,48	e

## 5.2.2 Conductividad eléctrica

En la tabla 13 se observa el análisis de varianza del porcentaje de la remoción de la conductividad eléctrica, obteniéndose que el factor A y la interacción AB no presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), por el contrario, el factor B presentó una baja diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) a un nivel de 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 31,51 %.

**Tabla 13**

*Análisis de varianza del porcentaje de remoción de la conductividad eléctrica*

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Voltaje: A	2,08	1	2,08	0,04	0,8571
Tiempo de tratamiento: B	1232,97	2	616,49	10,45	0,0111
AB	0,39	2	0,19	3,30E-03	0,9967
Error	353,95	6	58,99		
Total	1589,4	11			

CV = 31,51 %

De acuerdo con la tabla 13 donde se encuentra diferencia significativa en los resultados para el factor B, por tanto, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ).

En la tabla 14 se muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de reducción de la conductividad eléctrica a diferentes

tiempos de tratamiento, donde la mínima remoción de la conductividad eléctrica se observó con 20 minutos logrando una media de 13,12 % y el máximo con 60 minutos logrando una media de 37,69 diferenciándose significativamente.

**Tabla 14**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de reducción de la conductividad eléctrica a diferentes tiempos de tratamiento*

<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Media del porcentaje de remoción de la conductividad eléctrica</b>	<b>Significancia</b>
20	13,12	a
40	22,32	a b
60	37,69	b

### 5.2.3 Oxígeno disuelto

En la tabla 15 se muestra el análisis de varianza del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto obteniéndose una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre los factores A, B y su interacción a un nivel del 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad de 19,64 %.

**Tabla 15***Análisis de varianza del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto*

<b>F. V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Voltaje: A	645,77	1	645,77	31,11	0,0014
Tiempo de tratamiento: B	3001,50	2	1500,75	72,30	0,0001
AB	661,88	2	330,94	15,94	0.0040
Error	124,55	6	20,76		
Total	4433,70	11			

CV = 19,64 %

De acuerdo con la tabla 15 donde se encuentra diferencia significativa en los resultados para los factores A, B y su interacción AB, por tanto, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ).

La tabla 16 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto a diferentes voltajes, donde el mínimo incremento del oxígeno disuelto se observó con 10 V logrando una media de 15,86 % y el máximo con 30 V logrando incrementar el oxígeno disuelto hasta una media de 30,53 % diferenciándose significativamente.

**Tabla 16**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto a diferentes voltajes*

<b>Voltaje</b>	<b>Media porcentaje incremento del oxígeno disuelto</b>	<b>del de del</b>	<b>Significancia</b>
10	15,86		a
30	30,53		b

La tabla 17 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto a diferentes tiempos de tratamiento, donde el mínimo incremento del oxígeno disuelto se observó con 20 minutos logrando una media de 11,10 % y el máximo con 60 minutos logrando incrementar el oxígeno disuelto hasta una media de 45,54%.

**Tabla 17**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto a diferentes tiempos de tratamiento*

<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Media porcentaje incremento del oxígeno disuelto</b>	<b>del de del</b>	<b>Significancia</b>
20	11,10		a
40	12,95		a
60	45,54		b

La tabla 18 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto a diferentes

interacciones del voltaje y tiempo de tratamiento, donde el mínimo incremento del oxígeno disuelto se observó con la interacción 10 V – 20 min logrando una media de 7,66 % y el máximo con la interacción 30 V – 60 min logrando una meda de 63,27 %.

**Tabla 18**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto en la interacción de voltaje a diferentes tiempos de tratamiento*

<b>Voltaje</b>	<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Media del porcentaje de incremento del oxígeno disuelto</b>	<b>Significancia</b>	
10	20	7,66	a	
10	40	12,12	a	b
30	40	13,78	a	b
30	20	14,55	a	b
10	60	27,81		b
30	60	63,27		c

#### **5.2.4 Demanda bioquímica de oxígeno**

En la tabla 19 se observa el análisis de varianza de porcentaje de la remoción de la DBO<sub>5</sub>, obteniéndose una elevada diferencia significativa entre los factores A, B y su interacción AB ( $p < 0,05$ ) a un nivel de 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 1,35 %.

**Tabla 19***Análisis de varianza del porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub>*

<b>F. V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Voltaje: A	117,0	1	117,0	111,79	< 0,0001
Tiempo de tratamiento: B	333,083	2	166,54	159,12	< 0,0001
AB	43.4936	2	21,74	20,78	0,0020
Error	6,27975	6	1,05		
Total	499,857	11			

CV = 1,35 %

De acuerdo con la tabla 19 donde se encuentra diferencia significativa en los resultados para los factores A, B y su interacción AB, por tanto, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ).

La tabla 20 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> a diferentes voltajes, donde la mínima remoción de la DBO<sub>5</sub> se observó con 10 V logrando una media de 76,26 % y el máximo con 30 V logrando remover la DBO<sub>5</sub> hasta una media de 78,52 % diferenciándose significativamente.

**Tabla 20**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> a diferentes voltajes*

<b>Voltaje</b>	<b>Media porcentaje remoción de la DBO<sub>5</sub></b>	<b>del de la</b>	<b>Significancia</b>
10	76,26		a
30	78,52		b

La tabla 21 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> a diferentes tiempos de tratamiento, donde la mínima remoción de la DBO<sub>5</sub> se observó con 20 minutos logrando una media de 68,25 % y el máximo con 60 minutos logrando reducir la DBO<sub>5</sub> hasta una media de 80,75 % diferenciándose significativamente.

**Tabla 21**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> a diferentes tiempos de tratamiento*

<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Media porcentaje remoción de la DBO<sub>5</sub></b>	<b>del de la</b>	<b>Significancia</b>
20	68,25		a
40	77,18		b
60	80,75		c

En la tabla 22 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> a diferentes interacciones del

voltaje y tiempo de tratamiento, donde la mínima remoción de la DBO<sub>5</sub> se observó con la interacción 10 V – 20 min logrando una media de 62,53 % y el máximo con la interacción 30 V – 60 min que remueve la DBO<sub>5</sub> hasta una media de 83,28 %.

**Tabla 22**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> en la interacción del voltaje a diferentes tiempos de tratamiento*

<b>Voltaje</b>	<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Media del porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub></b>	<b>Significancia</b>
10	20	62,53	a
30	20	73,97	b
10	40	76,04	b c
10	60	78,22	c
30	40	78,32	c
30	60	83,28	d

### 5.2.5 Demanda química de oxígeno

En la tabla 23 se observa el análisis de varianza del porcentaje de remoción de la DQO, obteniéndose una elevada diferencia significativa entre los factores A y B, baja diferencia significativa en su interacción AB ( $p < 0,05$ ) a un nivel del 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad de 0,40 %.

**Tabla 23***Análisis de varianza del porcentaje de remoción de la DQO*

<b>F. V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Voltaje: A	43,17	1	43,17	416,21	<0,0001
Tiempo de tratamiento: B	84,69	2	42,34	408,26	<0,0001
AB	5,40	2	2,70	26,03	0,0011
Error	0,62	6	0,10		
Total	133,88	11			

CV = 0,40 %

De acuerdo con la tabla 23 donde se encuentra diferencia significativa en los resultados para los factores A, B y su interacción AB, por tanto, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ).

La tabla 24 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de la remoción de la DQO a diferentes voltajes, donde la mínima remoción de la DQO se observó con 10 V logró una media de 78,03 % y el máximo con 30 V que logró una media de 81,83 %.

**Tabla 24**

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

<b>Voltaje</b>	<b>Media del porcentaje de remoción de la DQO</b>	<b>Significancia</b>
10	78,03	a
30	81,83	b

La tabla 25 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de la DQO a diferentes tiempos de tratamiento, donde la mínima remoción de la DQO se observó con 20 minutos logrando una media de 76,63 % y el máximo con 60 minutos que logró una media de 83,13 %.

**Tabla 25**

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

<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Media del porcentaje de remoción de la DQO</b>	<b>Significancia</b>
20	76,63	a
40	80,03	b
60	83,13	c

En la tabla 26 se muestra los resultados de las pruebas de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de la reducción de la DQO a diferentes interacciones del voltaje y tiempo de tratamiento, donde la mínima remoción de la DQO se observó con la interacción 10 V – 20 min

logrando una media de remoción de 73,81 % y el máximo con 30 V – 60 min que logró una media de remoción de 84,75 %.

**Tabla 26**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de la DQO en la interacción de voltaje a diferentes tiempos de tratamiento*

<b>Voltaje</b>	<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Media del porcentaje de remoción de la DQO</b>	<b>Significancia</b>
10	20	73,81	a
10	40	78,77	b
30	20	79,45	b
30	40	81,28	c
10	60	81,52	c
30	60	84,75	d

### 5.2.6 Sólidos totales disueltos

La tabla 27 muestra el análisis de varianza del porcentaje de la remoción de los sólidos totales disueltos, obteniéndose una elevada diferencia significativa entre los factores A y B ( $p < 0,05$ ), sin embargo, su interacción AB no presentó diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) con un nivel del 95 % de confianza y su coeficiente de variabilidad de 3,47 %.

**Tabla 27**

*Análisis de varianza del porcentaje de remoción de los sólidos totales disueltos*

<b>F. V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Voltaje: A	550,13	1	550,13	207,74	< 0,0001
Tiempo de tratamiento: B	994,55	2	497,28	187,78	< 0,0001
AB	16,93	2	8,47	3,20	0,1134
Error	15,89	6	2,65		
Total	1577,51	11			

CV = 3,47 %

De acuerdo con la tabla 27 donde se encuentra diferencia significativa en los resultados para los factores A y B, por tanto, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ).

La tabla 28 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la remoción de los sólidos totales disueltos a diferentes voltajes, donde la mínima remoción de sólidos totales disueltos se observó con 10 V logró una media de remoción de 40,17 % y el máximo con 30 V logró una media de 53,71.

**Tabla 28**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de sólidos totales disueltos a diferentes voltajes*

<b>Voltaje</b>	<b>Media porcentaje remoción sólidos disueltos</b>	<b>del de de totales</b>	<b>Significancia</b>
10	40,17		a
30	53,71		b

La tabla 29 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de sólidos totales disueltos a diferentes tiempos de tratamiento, donde la mínima remoción de sólidos totales disueltos se observó con el tratamiento de 20 minutos que logró una media de remoción de 35,26 % y el máximo con 60 minutos que logró una media de 57,48 %.

**Tabla 29**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de sólidos totales disueltos a diferentes tiempos de tratamiento*

<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Media porcentaje remoción sólidos disueltos</b>	<b>del de de totales</b>	<b>Significancia</b>
20	35,26		a
40	48,08		a b
60	57,48		b

### 5.2.7 Turbidez

En la tabla 30 se observa el análisis de varianza del porcentaje de la remoción de la turbidez, obteniéndose una elevada diferencia significativa del factor A ( $p < 0,05$ ) y una baja diferencia significativa del factor B y la interacción AB ( $p < 0,05$ ) con un nivel del 95 % de confianza y con un coeficiente de variabilidad del 2,94 %.

**Tabla 30**

*Análisis de varianza del porcentaje de remoción de turbidez*

<b>F. V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Voltaje: A	540,29	1	540,29	182,36	< 0,0001
Tiempo de tratamiento: B	292,46	2	146,23	49,36	0,0002
AB	85,37	2	42,68	14,41	0,0051
Error	17,78	6	2,96		
Total	935,89	11			

CV = 2,94 %

De acuerdo con la tabla 30 donde se encuentra diferencia significativa en los resultados para los factores A, B y su interacción AB, por tanto, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ).

La tabla 31 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la remoción de turbidez a diferentes voltajes, donde la mínima remoción de la turbidez se observó con 10 V que logró una media de remoción de 51,90 % y el máximo con 30 V que logró una media de 65,32 %.

**Tabla 31**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la remoción de la turbidez a diferentes voltajes*

<b>Voltaje</b>	<b>Media del porcentaje de remoción de la turbidez</b>	<b>Significancia</b>
10	51,90	a
30	65,32	b

La tabla 32 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la remoción de turbidez a diferentes tiempos de tratamiento, donde la mínima remoción de la turbidez se observó con 20 minutos de tratamiento que logró una media de remoción de 52,55 % y el máximo con 60 minutos que logró una media de 64,64 %.

**Tabla 32**

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

Tiempo de tratamiento	Media del porcentaje de remoción de la turbidez	Significancia
20	52,55	a
40	58,63	b
60	64,64	c

En la tabla 33 se muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de la turbidez a diferentes interacciones del voltaje y tiempo de tratamiento, donde la mínima remoción de la turbidez se observó con 10 V – 20 min que logró una media de remoción de 42,10 % y la máxima con 30 V – 60 min que logró una media de 69,87 %.

**Tabla 33**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de turbidez en la interacción de voltaje a diferentes tiempos de tratamiento*

Voltaje	Tiempo de tratamiento	Media del porcentaje de remoción de turbidez	Significancia
10	20	42,10	a
10	40	54,18	b
10	60	59,42	b c
30	20	63,01	c
30	40	63,08	c d
30	60	69,87	d

### 5.2.8 Coliformes termo tolerantes

La tabla 34 muestra el análisis de varianza del porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes, obteniéndose una elevada diferencia significativa de los factores A, B y su interacción ( $p < 0,05$ ) a un nivel del 95 % de confianza y con su coeficiente de variabilidad de 0,09 %.

**Tabla 34**

*Análisis de varianza del porcentaje de remoción de Coliformes termotolerantes*

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Voltaje: A	26,61	1	26,611	3842,80	< 0,0001
Tiempo de tratamiento: B	40,28	2	20,139	2908,16	< 0,0001
AB	10,82	2	5,411	781,38	< 0,0001
Error	0,04	6	0,007		
Total	77,75	11			

CV = 0,09 %

De acuerdo con la tabla 34 donde se encuentra diferencia significativa en los resultados para los factores A, B y su interacción AB, por tanto, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ).

La tabla 35 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes a diferentes voltajes, donde la mínima remoción de coliformes termotolerantes se observó con 10 V de tratamiento que logró una media de remoción de 94,30 % y la máxima con 30 V que logró una media de 97,28 %.

**Tabla 35**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de Coliformes termotolerantes a diferentes voltajes*

<b>Voltaje</b>	<b>Media de remoción de coliformes termotolerantes</b>	<b>Significancia</b>
10	94,30	a
30	97,28	b

La tabla 36 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la remoción de coliformes termotolerantes a diferentes tiempos de tratamiento, donde la mínima remoción de coliformes termotolerantes se observó con 20 minutos de tratamiento que logró una media de remoción de 93,27 % y la máxima con 60 minutos que logró una media de 97,58 %.

**Tabla 36**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de Coliformes termotolerantes a diferentes tiempos de tratamiento*

<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Media porcentaje remoción Coliformes termotolerantes</b>	<b>del de de</b>	<b>Significancia</b>
20	93,27		a
40	96,52		b
60	97,58		c

La tabla 37 muestra la prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes a diferentes interacciones del voltaje y tiempo de tratamiento, donde la mínima remoción de coliformes termotolerantes se observó con la interacción 10 V – 20 min de tratamiento que logró una media de remoción de 93,07 % y la máxima con 30 V – 60 min que logró una media de 99,36 %.

**Tabla 37**

*Prueba de rangos múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ) del porcentaje de remoción de Coliformes termotolerantes en la interacción de voltaje a diferentes tiempos de tratamiento*

<b>Voltaje</b>	<b>Tiempo de tratamiento</b>	<b>Media del porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes</b>	<b>Significancia</b>
10	20	93,07	a
30	20	93,48	b
10	40	94,05	c
10	60	95,80	d
30	40	99,00	e
30	60	99,36	f

## **CAPÍTULO VI**

### **DISCUSIONES**

#### **6.1 Discusión del análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas**

El valor del pH del río Torococha es de 7,85 coincide con lo reportado por Gutierrez (2018) que obtuvo 7,90 unidades de pH encontrado en el rango reportado por Kausar et al. (2019) considerado como agua alcalina de transición ligera intermedia, por el contrario Manrique (2023) identificó valores inferiores que se encuentran en el rango de 6,80 – 6,86 unidades de pH esta diferencia de resultados se debe a que el muestreo del presente estudio y lo reportado por Manrique (2023) se encuentran alejados por 8,28 Km aproximadamente, por otro lado esto asevera que el río Torocha recibe aportes que incrementan el pH del agua del río Torococha, es preciso señalar, que el muestreo de nuestro estudio y Manrique (2023) se realizaron en la misma temporalidad (mes de mayo época de estiaje), así mismo, Menendez (2018) reportó que el pH de aguas abajo fue de 7,48

presentando un pH alcalino esta alcalinidad presentada se debió al aporte de cal ( $\text{CaCO}_3$ ) por parte de los pobladores con el fin de contrarrestar plagas para la cosecha de la papa, si bien se observó actividades de agricultura y vertidos de aguas residuales en el río Torococha, esta viene a ser una de las causas del incremento del pH al igual como lo señala Aylas-Quispe et al. (2022).

El oxígeno disuelto del río Torococha es de 3,92 mg/L, similar a lo reportado por ANA (2021) en los resultados de monitoreo de la calidad de agua en el río Coata que reportó el valor de 3,96 mg/L, este valor se asocia a las descargas de agua residuales domésticas aguas arriba, así como lo reportado también por Dinh Dap (2019) donde precisa que debido a la estación seca los valores de oxígeno disuelto presentan bajos valores (0,1 y 7 mg/L) en el río Tolich (Vietnam), esto contradice lo señalado por Manrique (2023) debido a que el agua no presenta un buen nivel de oxígeno disuelto, por otro lado Lin et al. (2021) reportó en el año 2018 que el río Maozhou (China) presentó un nivel de 0,39 mg/L atribuyendo este valor a la contaminación endógena, la escorrentía pluvial y aguas residuales domésticas como las principales fuentes de contaminación, así mismo, Kausar et al. (2019) reportó la reducción de oxígeno disuelto desde 7,5 mg/L en una zona altamente estresada del río Chenab (Pakistan) debido al

vertido de aguas residuales de origen industrial y doméstico no tratadas al río.

El valor de la DQO del río Torocha es de 169,1 mg/L, que coincide en menor proporción con lo reportado por la ANA (2021) de 202 mg/L, así mismo, según lo reportando por Manrique (2023) la DQO del río Torococha se encuentra en el rango de 238 mg/L a 450 mg/L, sin embargo no señaló que el agua del río Torococha en Juliaca presenta un fenómeno de estancamiento en diferentes zonas relacionado al incremento de los residuos sólidos dispuestos incrementándose las concentraciones de los contaminantes en ellas, estos difieren del presente estudio por el lugar de muestreo, puesto que en el presente estudio se tomaron muestras antes de la desembocadura al río Coata y Manrique (2023) tomó muestras de 3 puntos de la zona céntrica, lo contrario a lo que normalmente se conoce como lo señalado por Kausar et al. (2019), que se observa un incremento de la DQO de 4,0 mg/L hasta 48 mg/L aguas abajo, Dinh Dap (2019) reportó que la DQO del río Tolich (Vietnam) se encuentra en el rango de 65 – 91 mg/L en la estación seca sin embargo coincide en precisar que estos valores altos de la DQO están influenciados por las descargas de la actividad industrial, por otro lado Lin et al. (2021) reportó un valor de 40 mg/L de la DQO en el río Maozhou (China) con este valor refirió que no se

asegura buena calidad de agua, así mismo, la escorrentía pluvial y el vertido de aguas residuales domésticas eran las principales fuentes de contaminación, considerando a la demanda química de oxígeno como un buen indicador de la contaminación del agua por materia orgánica.

La demanda bioquímica de oxígeno del río Torococha presenta un valor de 91,8 mg/L mayor a lo que reportó Manrique (2023) con 42,10 mg/L, 1,60 mg/L y 3,80 mg/L siendo diferente en cada zona, así mismo Menendez (2018) reportó un valor similar de 30,92 mg/L superando lo establecido en los estándares de calidad ambiental categoría 3 (15 mg/L), nuestros resultados son contrastados por lo reportado en los resultados de monitoreo en el río Coata con un resultado de 76 mg/L en el mismo punto tomado en el presente estudio, así mismo Gutierrez (2018) reportó que el río Coata presenta valores similares de 38 mg/L indicando aumentando el nivel de contaminación del cauce, estos valores se asocian a descargas de aguas residuales, siendo menor debido a que en nuestro estudio el punto de muestreo se encuentra aguas debajo de un vertimiento de planta de tratamiento de aguas residuales, así mismo, esta diferencia se debe al aporte en los diferentes puntos de aguas residuales domésticas y la descargar de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chilla Apaza (2019).

La temperatura del agua del río Torococha presenta un valor de 18,2 °C, los resultados del presente estudio se encuentran en el rango de 9,8 °C y 23 °C de acuerdo con lo reportado por Kausar et al. (2019) mayor a lo reportado por Manrique (2023) 12,01 °C, y el estudio realizado por Menendez (2019) que presentaron resultados de anteriores estudios con valores de 14,34 °C del río Coata.

La concentración de sólidos totales disueltos del río Torococha presenta un valor de 2000 mg/L mayor a lo reportado por Kausar et al. (2019) que determinó que el río Chenab (Pakistan) oscila en el rango de 110 mg/L y 550 mg/L, este hecho es atribuido a las aguas residuales domésticas e industriales y que las zonas densamente pobladas e industrializadas son responsables de una fuerte carga positiva de carga orgánica.

La conductividad eléctrica presenta un valor de 2100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mayor a lo reportado por Gutierrez (2018) que reportó valores que oscilan entre 1209  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 1493  $\mu\text{S}/\text{cm}$  similar a lo reportado por Menendez (2018) en el río Coata con un valor de 1112  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los resultados de monitoreo de la calidad del río Coata muestran que la conductividad eléctrica en el mismo punto de muestreo del presente estudio es de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  reforzando lo sustentado en el presente estudio.

La turbidez del río Torococha es de 76,5 NTU debido a las altas concentraciones de sedimentos y contaminantes este hallazgo concuerda con lo reportado por Riofrío (2023) en el río Chorlaví (Ecuador) con una turbidez de 10 NTU a pesar de ser menor el autor refiere que el incremento de la turbidez tiene gran influencia por actividades antrópicas como agricultura extensiva, minería, erosión de suelos y liberación de partículas y la que mayormente se atribuye este incremento de la turbidez es la pérdida de vegetación.

Los coliformes termotolerantes presentes en el río Torococha es de 22000 NPM/100 ml que exceden los estándares de calidad ambiental este resultado es concordante con lo reportado por Gutierrez (2018) con 2400 NPM/100 ml que a pesar de ser menor a lo sostenido en el presente estudio, razonablemente por la ubicación del lugar de muestreo tomado al igual que Manrique (2023) que reportó un valor de <1 NPM /100 ml, sin embargo, debido a este último resultado se cuestionaría que el agua del río Torococha no presentaría contaminación de fuente fecal, por otro lado se ha confirmado en diferentes fuentes dicha contaminación de presencia de coliformes termotolerantes validado en los resultados de monitoreo río Coata según ANA (2021) con una concentración de 22000 NPM/100 ml puesto que esta autoridad si toma como punto de control el mismo

considerado en el presente estudio, probablemente los reportado por Manrique (2023) se sustenta en que se tomó como punto de muestreo en un lugar distinto.

## **6.2 Discusión de la determinación del efecto del tiempo y voltaje de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos**

Con un tratamiento de 60 minutos y 30 V el pH incrementa su concentración inicial (7,85) en unas 15,48 % debido al efecto del tratamiento de la electrocoagulación con 60 minutos y 30 V, es preciso señalar que este fenómeno no fue estudiado en detalle anteriormente, sin embargo, en el estudio realizado por Vrsalović et al. (2023) reportó que este incremento se le atribuye a la acumulación de hidróxido  $[\text{OH}]^-$  generado por el proceso de reducción del agua en el cátodo, sin embargo, no logró ampliar el estudio de su incremento por el efecto del tiempo y voltaje en la electrocoagulación.

La remoción de la  $\text{DBO}_5$  es de 83,28 % por el efecto combinado de 60 min de tratamiento y 30 V, el resultado obtenido se encuentra dentro del rango reportado por Idusuyi et al. (2022); Tamani (2017) que fue de 74,76 % - 97,67 %, similar a lo reportado por Elazzouzi et al. (2021) que determinó

una remoción de 85 %, mayor a lo reportado por Idusuyi et al. (2022) quien determinó que un con un voltaje de 30 V logró eliminar el 74,76 % aplicando el proceso de electrocoagulación de bajo coste con latas de aluminio, estos resultados muestran que el tratamiento del presente estudio tuvo mayor eficiencias de remoción de la DBO<sub>5</sub> que lo reportado por Idusuyi et al. (2022), sin embargo, es preciso señalar que el estudio de Prihartini et al. (2022) logró una remoción de hasta 80 % en 5 minutos esto debido a que utilizó dos sistemas de tratamiento combinado como la electrocoagulación y la membrana de ultrafiltración, reduciendo el tiempo de tratamiento a solo 5 minutos.

La conductividad eléctrica incrementó hasta 37,69 % por el efecto combinado de 60 minutos y 30 V aumentando la eficiencia de eliminación de contaminantes en el proceso de electrocoagulación debido al incremento de la conductividad eléctrica Boinpally et al. (2023), el nivel de concentración de la conductividad eléctrica elevado podría reflejar el fondo geológico de la región, pero, sobre todo, las actividades antropogénicas (aguas residuales, los asentamientos, etc.) así como también la presencia de detergentes. Chalupová et al. (2012), este incrementó coincide con lo reportado por Apaza (2018) donde observó el incremento entre los 5 y 15

minutos además explica que este comportamiento en la electrocoagulación se debe al incremento del metal de desgaste y el incremento del pH.

El oxígeno disuelto presenta un incremento de hasta en un 63.27 % por efecto de 60 minutos y 30 V de tratamiento de acuerdo con Guanoluiza (2013) logró un incremento de hasta un 35 %, esta característica puede deberse a altas concentraciones de conductividad y la oxidación que propiamente emanan de los ánodos de las celdas de electrocoagulación.

La DQO sufre una remoción máxima promedio de 84.75 % por efecto del tratamiento con 60 min y 30 V, este resultado se contrasta dentro del rango (48,16 % - 83 %) reportado por Blas (2021), así mismo, Apaza (2018) logró remover hasta un 87 % aplicando un tiempo de 75 min, sin embargo, Idusuyi et al. (2022) solo logró conseguir una remoción de 72,7 % aplicando un voltaje de 30 V, esto podría deberse a que este último utilizó vasos precipitados de una capacidad de 500 ml como recipiente para realizar la electrocoagulación, por tanto las condiciones de tratamiento no son similares a los realizados en el presente estudio, así mismo, en las investigaciones de Humpire (2017) se ha observado que el tiempo de tratamiento aumenta los porcentajes de reducción de la DQO.

La concentración de los sólidos totales disueltos se reduce hasta en un 65.93 % debido al efecto de 60 min y 30 V de tratamiento siendo mayor a

lo reportado por Apaza (2018) que logró una remoción de 47.92 %, demostrando eficiencias de remoción de los sólidos totales disueltos, sin embargo, se ha observado altas eficiencias como los reportado por Limón (2019) que logró remover un 86 %, así también, Idusuyi et al. (2022) logró conseguir una remoción máxima de 69,6 % con un voltaje de 30 V, su estudio demostró que al incrementar el voltaje se puede incrementar las eficiencias de remoción de los sólidos totales disueltos.

La concentración de la turbidez se reduce hasta un 69.87 % aplicando un voltaje de 30 V en un tiempo de 60 minutos en muestras no filtradas como los reportados por Pérez-Sicairos et al. (2011) que logró eficiencias de remoción de la turbidez de 68 % y lo reportado por Prihartini et al. (2022) que es de 72,20 %, en el estudio de Rahman et al. (2020), observó que la eficiencia de la remoción de la turbidez en la electrocoagulación aumentó de 15.58 % a 93.75 %, cuando la distancia entre los electrodos aumenta de 0,5 cm a 1,5 cm después de 150 minutos de tiempo de tratamiento, se han visto casos donde la eficiencia es mayor como el estudio de Apaza (2019) donde logró remover hasta 98,58 % de la turbidez en un tiempo de 30 minutos demostrando altas eficiencias de remoción probablemente su eficiencia está determinado en gran parte por su electrodo que utilizó

aluminio en mayor proporción, puesto que en el presente estudio se utilizó el aluminio contenido en las latas de aluminio.

Los coliformes termotolerantes sufren una remoción de hasta 99.36 % por efecto combinado de 60 minutos y 30 V de tratamiento similar a lo reportado por Pérez-Sicairos et al. (2011) con una remoción de 99.9 %, este valor también fue contrastado y reportado por Tamani (2017) que consiguió remover hasta un 100 % en un tiempo de 30 minutos, así también en su estudio determinó que la eliminación de coliformes estuvo fuertemente influenciados por el tiempo.

La temperatura en la electrocoagulación presenta un incremento de 14,1 %, debido al efecto que tiene el tratamiento de la electrocoagulación con un tiempo de 60 min lo mismo fue reportado por Tamani (2017) quien explica que en la electrocoagulación la energía consumida se pierde en forma de calor por tanto el agua tratada sufre un incremento en su temperatura.

## CONCLUSIONES

Primera:

Utilizando las celdas de electrocoagulación reutilizando latas de aluminio se logró tratar el agua del río Torococha de Puno, así como también, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua se vieron influenciados por efecto del tiempo y voltaje.

Segunda:

Los resultados del análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Torococha determina que el pH presenta un valor de 7,85 indicador de agua neutra, la temperatura de 18,2 °C, entre los valores que exceden los estándares de calidad ambiental para agua son: oxígeno disuelto con 3,92 mg/L, la conductividad eléctrica con 2100  $\mu$ S/cm, los sólidos totales disueltos con 2000 mg/L, la turbidez con 75,5 NTU, la DBO<sub>5</sub> con 91,8 mg/L, la DQO con 169,1 mg/L y coliformes termotolerantes con 22000 NPM/100 ml, por lo tanto, el río Torococha presenta una alta carga orgánica contaminante en el agua, provocando una perturbación en el cuerpo de agua asociados a las actividades antrópica.

Tercera:

El tiempo y voltaje tuvieron efecto de remoción de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Torococha entre ellos la DBO<sub>5</sub> donde se observó una remoción máxima de 83,28 %; para la DQO de 84,75 %; de sólidos totales disueltos de 65,93 %; de turbidez 69,87 %; coliformes termotolerantes hasta un 99,36 %; y la conductividad eléctrica alcanzó una media de 37,69 %. La electrocoagulación también incrementó los parámetros de: pH de hasta 15,48 % y el oxígeno disuelto de hasta 63,27 %.

## RECOMENDACIONES

Primera:

Se recomienda realizar un estudio del aprovechamiento de los lodos generados en la electrocoagulación demostrando sus eficiencias en el uso para la agricultura, compostaje, biol, producción de metano, etc. y evaluar las características fisicoquímicas.

Segunda:

A partir del presente estudio proponer alternativas de diseño de reactores de electrocoagulación a escala laboratorio, piloto y/o industrial y que evalúen la generación cuantitativa de lodos así como sus características fisicoquímicas y microbiológicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida-Leñero, L., Nava, M., Ramos, A., Espinoza, M., Ordoñez, M., & Jujnovsky, J. (2007). Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica*.
- ANA. (2016a). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*.
- ANA. (2016b). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*.
- Apaza, H. (2018). *Sistema combinado electrocoagulación-filtro biológico para la remoción de la carga orgánica de los efluentes lácteos*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Apaza, H. (2019). *Eficiencia de la electrocoagulación en la remoción de materia orgánica de las aguas del río Torococha*. 2(2), 8–18. <http://revistas.upsc.edu.pe/journal/index.php/RIAM/article/view/57/61>
- Aylas-Quispe, A., Campos-Llantoy, A., Perez-Cordova, M., Alvarez-Montalván, C. E., & Camargo-Hinostroza, S. (2022). Evaluation of the Quality of Drinking Water and Rivers in the Mantaro Valley, Central

Peru. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*,  
943(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/943/1/012002>

Bahadori, A., & Smith, S. T. (2016a). Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment. In *Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26261-1>

Bahadori, A., & Smith, S. T. (2016b). *Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26261-1>

Barrera-Díaz, C. E., Balderas-Hernández, P., & Bilyeu, B. (2018). Electrocoagulation: Fundamentals and perspectives. In *Electrochemical Water and Wastewater Treatment* (pp. 61–76). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813160-2.00003-1>

Bener, S., Bulca, Ö., Palas, B., Tekin, G., Atalay, S., & Ersöz, G. (2019). Electrocoagulation process for the treatment of real textile wastewater: Effect of operative conditions on the organic carbon removal and kinetic study. *Process Safety and Environmental Protection*, 129, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.06.010>

- Blanco, F. (2017). Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución. *Dialnet*.
- Blas, F. (2021). *Remoción de sólidos totales disueltos y turbidez mediante electrocoagulación y ozonificación de aguas residuales de destilería*. Universidad Nacional del Callao.
- Boinpally, S., Kolla, A., Kainthola, J., Kodali, R., & Vemuri, J. (2023). A state-of-the-art review of the electrocoagulation technology for wastewater treatment. In *Water Cycle* (Vol. 4, pp. 26–36). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2023.01.001>
- Bratby, J. (2014). Turbidity: Measurement of Filtrate and Supernatant Quality? In *Progress in Filtration and Separation* (pp. 637–657). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384746-1.00016-1>
- Chalupová, D., Havlíková, P., & Janský, B. (2012). Water quality of selected fluvial lakes in the context of the Elbe River pollution and anthropogenic activities in the floodplain. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(10), 6283–6295. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2419-6>
- Chang, R., & Goldsby, K. (2013). *Química* (Undécima edición).

- Choque, M. (2019). *Tratamiento de aguas residuales en la industria textil, por el método de electrocoagulación*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Condori, T., & Salcedo, T. (2008). *Optimización del tratamiento secundario de las aguas residuales en la planta de tratamiento del hospital regional IV – EsSALUD*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Crombet-Grillet, S., Pérez-Pompa, N., Ábalos-Rodríguez, A., & Rodríguez-Pérez, S. (2012). Caracterización de las aguas residuales de la comunidad “Antonio Maceo” de la Universidad de Oriente. *Revista Cuabana de Química*.
- Dinh Dap, N. (2019). Impacts of waste water from main factories on water quality of Tolich river, Hanoi. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2019910>
- Elazzouzi, M., Haboubi, K., Elyoubi, M. S., & El Kasmi, A. (2021). Development of a novel electrocoagulation anode for real urban wastewater treatment: Experimental and modeling study to optimize operative conditions. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(1). <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.11.018>

- Essadki, A. H., Gourich, B., Vial, C., Delmas, H., & Bennajah, M. (2009). Defluoridation of drinking water by electrocoagulation/electroflotation in a stirred tank reactor with a comparative performance to an external-loop airlift reactor. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2–3), 1325–1333. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.021>
- García, N., Puentes, O., & Montalvo, J. F. (2008). Contaminación orgánica en el sector de La Bahía de Buena Vista cercano a la desembocadura del río Guano, Villa Clara, Cuba. *Revista Cubana de Química*, XX, 39.
- Guanoluiza, L. (2013). *Dimensionamiento de un sistema de electrocoagulación aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas, con y sin irradiación de electrones acelerados*. Escuela Politécnica Nacional.
- Gutiérrez, A., & de la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (McGRAW-HILL, Ed.; Segunda Edición).
- Gutierrez, V. (2018). *Evaluación de la calidad de agua del río Coata en la desembocadura del río Torococha utilizando el Índice de Calidad de Agua del Consejo Canadiense CCME–WQI y el ICA–PE, Puno – 2018*. Universidad Peruana Union.

- Herawati, N., Dahlan, M. H., Yusuf, M., Iqbal, M. M., Roni, K. A., & Nasir, S. (2023). Removal of total dissolved solids from oil-field-produced water using ceramic adsorbents integrated with reverse osmosis. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.624>
- Humpire, F. (2017). *Efecto del pH y tiempo en la depuración de lactosuero residual por electrocoagulación* [Universidad Nacional del Altiplano]. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3908/Humpire\\_Coila\\_Fredy.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3908/Humpire_Coila_Fredy.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Idusuyi, N., Ajide, O. O., Abu, R., Okewole, O. A., & Ibiyemi, O. O. (2022). Low cost electrocoagulation process for treatment of contaminated water using aluminium electrodes from recycled cans. *Materials Today: Proceedings*, 56, 1712–1716. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.352>
- Ilhan, F., Kurt, U., Apaydin, O., & Gonullu, M. T. (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>

- INACAL. (2023, February 20). *Métodos de ensayo acreditados por la Dirección de Acreditación del INACAL*. Dirección de Acreditación de INACAL. <https://aplicaciones.inacal.gob.pe/crtacre/>
- Kausar, F., Qadir, A., Ahmad, S. R., & Baqar, M. (2019). Evaluation of surface water quality on spatiotemporal gradient using multivariate statistical techniques: A case study of river Chenab, Pakistan. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(4), 2645–2657. <https://doi.org/10.15244/pjoes/92938>
- Lahera Ramón, V. (2010). *Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales*. Quivera.
- Larios-Meoño, J., Gonzáles, C., & Morales, Y. (2015). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú* (Vol. 2).
- Laura, D., & Mamani, R. (2016). *La contaminación ambiental y su influencia en el crecimiento de niños de 1 a 5 años que viven en las riberas del Río Torococha de Juliaca Diciembre - Marzo 2016*. Universidad Andina Nestor Cáceres Velásquez.
- Limache, F. (2021). *Evaluación comparativa de lechuga de agua (Pistia stratiotes) y jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para el tratamiento*

*de aguas residuales de la ciudad de Tacna*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Limón, R. (2019). *Electrocoagulación como tratamiento de aguas de descarga al río Tecolutla en la zona de Gutiérrez Zamora, Veracruz*. Universidad Veracruzana.

Lin, T., Yu, H., Wang, Q., Hu, L., & Yin, J. (2021). Surface water quality assessment based on the Integrated Water Quality Index in the Maozhou River basin, Guangdong, China. *Environmental Earth Sciences*, 80(10). <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09670-y>

Liu, W., Zhan, J., Zhao, F., Yan, H., Zhang, F., & Wei, X. (2019). Impacts of urbanization-induced land-use changes on ecosystem services: A case study of the Pearl River Delta Metropolitan Region, China. *Ecological Indicators*, 98, 228–238. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.054>

Liu, Y., Zhang, X., Jiang, W. M., Wu, M. R., & Li, Z. H. (2021). Comprehensive review of floc growth and structure using electrocoagulation: Characterization, measurement, and influencing factors. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 417). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129310>

- Maldonado, L. (2006). Reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centros de educación superior: Estudio de caso. *Ingeniería Revista Académica*.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental* (Editorial Reverté, Ed.; 3rd ed.).
- Manrique, H. (2023). *Evaluación de la calidad del agua del río Torococha y la percepción de los pobladores sobre los efectos en la salud en el distrito de Juliaca-2023*. Universidad Privada San Carlos.
- Meena, M. D., Dotaniya, M. L., Meena, B. L., Rai, P. K., Antil, R. S., Meena, H. S., Meena, L. K., Dotaniya, C. K., Meena, V. S., Ghosh, A., Meena, K. N., Singh, A. K., Meena, V. D., Moharana, P. C., Meena, S. K., Srinivasarao, Ch., Meena, A. L., Chatterjee, S., Meena, D. K., ... Meena, R. B. (2023). Municipal solid waste: Opportunities, challenges and management policies in India: A review. *Waste Management Bulletin*, 1(1), 4–18. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.04.001>
- Menendez, W. (2018). *Evaluación de parámetros fisicoquímicos y calidad bacteriológica del río Coata – Región Puno 2015*. Universidad Jose Carlos Mariátegui.

- Montalvo, J., García, I., Loza, S., Esponda, S., César, M., Gonzales de Zaya, R., & Hernández, L. (2008). Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Serie Oceanográfica*. <http://hdl.handle.net/1834/3402>
- Moreno-Casillas, H. A., Cocke, D. L., Gomes, J. A. G., Morkovsky, P., Parga, J. R., & Peterson, E. (2007). Electrocoagulation mechanism for COD removal. *Separation and Purification Technology*, 56(2), 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.01.031>
- MVCS. (2006). *Norma os.090 plantas de tratamiento de aguas residuales*. [https://saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.090.pdf](https://saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf)
- Nugroho, F. A., Aryanti, P. T. P., Nurhayati, S., & Muna, H. M. (2019). A combined electrocoagulation and mixing process for contaminated river water treatment. *AIP Conference Proceedings*, 2097. <https://doi.org/10.1063/1.5098192>
- OEFA. (2015). *Informe de monitoreo de agua y sedimentos*. [http://visorsig.oefa.gob.pe/datos\\_de/PM0203/PM020302/03/IF/IF\\_244-2015-OEFA-DE-SDCA.pdf](http://visorsig.oefa.gob.pe/datos_de/PM0203/PM020302/03/IF/IF_244-2015-OEFA-DE-SDCA.pdf)

- Palacios, Í., & Moreno, D. (2022). Contaminación ambiental. *Recimundo*, 6(2), 93–103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- Palomino, P. (2018). Evaluación de la calidad del agua en el río Mashcón, Cajamarca, 2016. *Anales Científicos*, 79(2), 298. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.1242>
- Perez Huachaca, W., & López-Gonzales, J. L. (2017). Aplicación de un diseño factorial  $2^4$  en la remoción de turbiedad del Río Rímac mediante la coagulación y floculación usando goma de tara. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3(1). <https://doi.org/10.17162/rictd.v1i1.895>
- Pérez-Sicairos, S., Morales-Cuevas, J., Felix-Navarro, R., & Hernández, O. (2011). Evaluation of the electro-coagulation process for the removal of turbidity of river water, wastewater and pond water. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10.
- Prihartini, P., Adi, F., Hari, B., Prasetyo, T., Sri, F., Kadier, A., & Sher, F. (2022). Integrated electrocoagulation-tight ultrafiltration for river water decontamination: The influence of electrode configuration and operating pressure. *Cleaner Engineering and Technology*, 9(100524).

- Rahman, N. A., Tomiran, N. A., & Hashim, A. H. (2020). Batch electrocoagulation treatment of peat water in Sarawak with galvanized iron electrodes. *Materials Science Forum*, 997 MSF, 127–138. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.997.127>
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales* (Editorial Reverté, Ed.; 3rd ed.).
- Reyes, W. (2020). *Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia de Caylloma - AQUAFIL*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Riofrío, S. (2023). *Evaluación de la calidad fisicoquímica del recurso hídrico y estado actual de la microcuenca del río Chorlaví*. Universidad Técnica del Norte.
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172–181.
- Sawyer, C., McCarty, P., & Parkin, G. (2001). *Química para Ingeniería Ambiental* (Cuarta Edición).

Sierra, C. (2011). *Calidad del Agua Evaluación y Diagnóstico* (L. López, Ed.; 1st ed.).

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=definicion+de+calidad+de+agua&ots=cd-MSj4l7l&sig=XX-1NTzfu\\_T0n4\\_rl0gpNi-08cM#v=onepage&q=definicion%20de%20calidad%20de%20agua&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=definicion+de+calidad+de+agua&ots=cd-MSj4l7l&sig=XX-1NTzfu_T0n4_rl0gpNi-08cM#v=onepage&q=definicion%20de%20calidad%20de%20agua&f=false)

SUNASS. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. [www.proagua.org.pe](http://www.proagua.org.pe)

Suryaningsih, N., Widayatno, T., Sugiharto, A., & Fuadi, A. M. (2021). The Effectivity of Aluminum Electrode for River Water Purification Using Electrocoagulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012130. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012130>

Tamani, Y. (2017). *Electrocoagulación para la remoción de carga contaminante del efluente del matadero municipal de Tingo María*. Universidad Nacional Agraria de la Selva.

- Tang, H., Yuan, S., & Cao, H. (2022). Theory and Practice of Hydrodynamic Reconstruction in Plain River Networks. *Engineering*.  
<https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.01.015>
- Tapara, V. (2022). *Electrocoagulación en la depuración de aguas residuales de una planta de productos lácteos*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Wang, H., Xiong, X., Wang, K., Li, X., Hu, H., Li, Q., Yin, H., & Wu, C. (2023). The effects of land use on water quality of alpine rivers: A case study in Qilian Mountain, China. *Science of the Total Environment*, 875.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162696>
- Water, B. (1971). State of the art of coagulation. *American Water Works Association*, 63.
- Yousuf, M., Mollah, A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC)-science and applications. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 84).
- Zhang, Y., Li, F., Zhang, Q., Li, J., & Liu, Q. (2014). Tracing nitrate pollution sources and transformation in surface- and ground-waters using environmental isotopes. *Science of the Total Environment*, 490, 213–222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.004>

# **ANEXOS**

**Anexo 1  
Matriz de Consistencia**

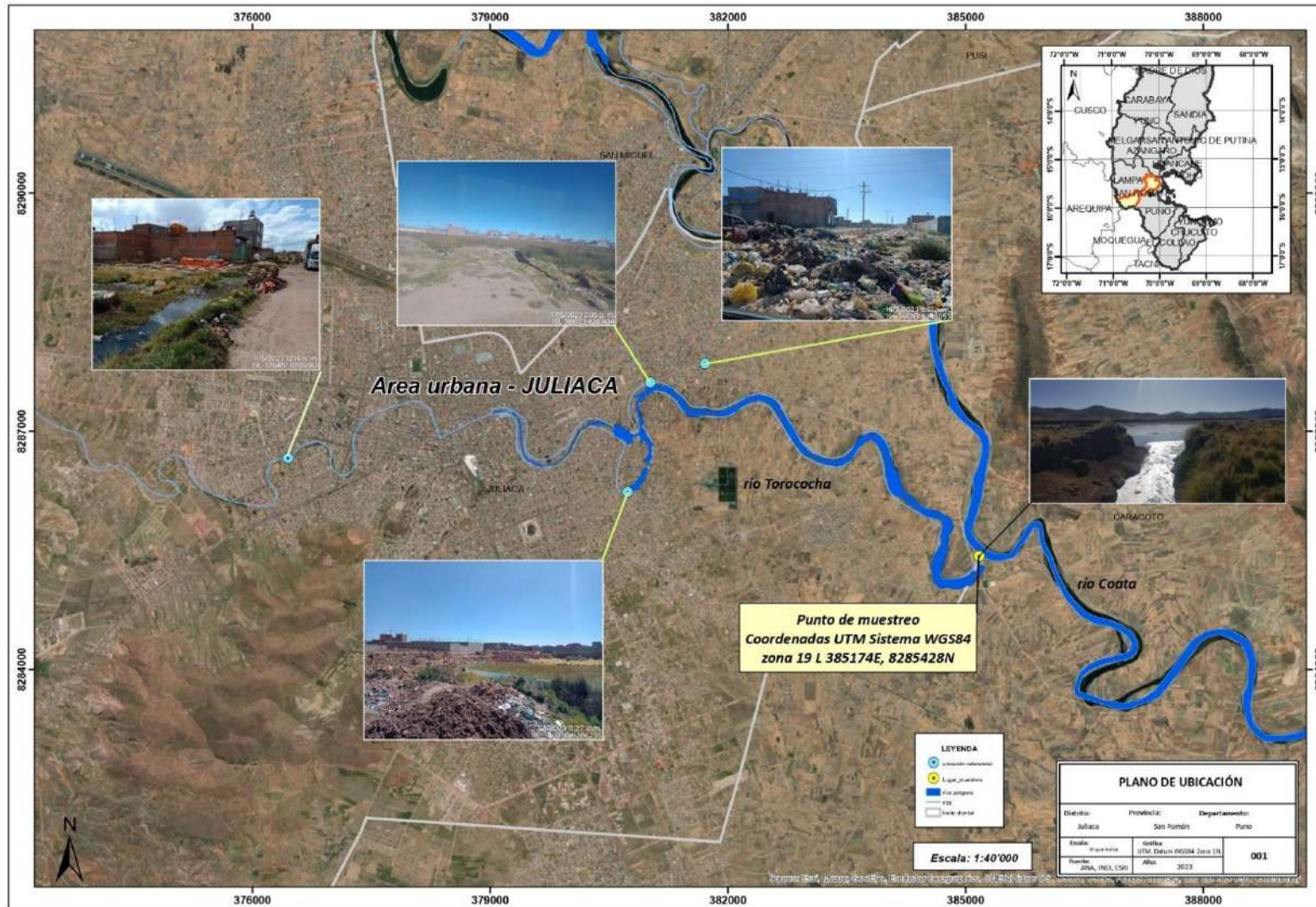
**Tabla 38**

*Matriz de consistencia*

<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Metodología</b>	<b>Estadística</b>
¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Torococha de Puno?	Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Torococha de Puno.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar las características del agua del río Torococha</li> <li>- Determinar el efecto del tiempo y voltaje de la electrocoagulación del agua del río Torococha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Características fisicoquímicas</li> <li>- Características microbiológicas</li> <li>- Efecto del tiempo</li> <li>- Efecto del voltaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje</li> <li>- Tiempo</li> <li>- pH</li> <li>- Temperatura</li> <li>- Conductividad eléctrica</li> <li>- Sólidos totales disueltos</li> <li>- Oxígeno disuelto</li> <li>- Turbiedad</li> <li>- DBO5</li> <li>- DQO</li> <li>- Coliformes termo tolerantes</li> </ul>	Se recolectarán datos de tratamientos combinados de los factores de voltaje y tiempo de tratamiento de electrocoagulación, con 9 variables de respuesta como (Turbiedad, DBO5, DQO, STD, Coliformes termotolerantes, pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto y temperatura).	Diseño experimental bifactorial con dos repeticiones de variables de respuesta (Turbiedad, DBO5, DQO, STD, Coliformes termotolerantes, pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto y temperatura), ANOVA y prueba de contraste múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ )
¿Cuáles son los efectos de los factores tiempo y voltaje de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua del río Torococha de Puno?	Determinar el efecto del tiempo y voltaje de la electrocoagulación en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua del río Torococha de Puno.	Remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológico de agua del río Torococha de Puno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parámetros fisicoquímicos</li> <li>- Parámetro microbiológico</li> </ul>			

## Anexo 2

### Plano de ubicación geográfica de los puntos de monitoreo proyectado en sistema de coordenadas UTM WGS84



### Anexo 3

#### Cuadro de resultados

**Tabla 39**

*Resumen de los resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológico realizado a las muestras del agua del río Torococha*

N°	Voltaje CC (V)	Tiempo de tratamiento (min)	Ph (unidades)	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Coliformes Term (NPM/100 ml)	Turbidez (NTU)	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	STD (mg/L)
1	10	20	8,31	1810	4,21	1500	43,4	33,5	43,9	1413
2		20	8,33	1846	4,23	1550	45,2	35,3	44,7	1412
3		40	8,38	1647	4,38	1300	34,4	21,7	36,4	1154
4		40	8,41	1637	4,41	1320	35,7	22,3	35,4	1162
5		60	8,7	1272	4,72	920	31,2	20,7	31,8	1022
6		60	8,8	1369	5,3	930	30,9	19,3	30,7	1017
7	30	20	8,6	1805	4,52	1420	27,4	24,2	34,7	1224
8		20	8,52	1837	4,46	1450	29,2	23,6	34,8	1130
9		40	8,92	1637	4,48	220	29,9	19,7	31,7	915
10		40	8,87	1604	4,44	220	26,6	20,1	31,6	923
11		60	9,13	1023	6,3	140	23,7	14,3	25,4	712
12		60	9	1570	6,5	140	22,4	16,4	26,2	651

*Nota.* En la presente tabla se puede observar los resultados obtenidos del experimento diseño bifactorial con factores de voltaje y tiempo

## Anexo 4

### Registro fotográfico

#### Foto 1

*Almacenamiento, lavado y recorte de latas de aluminio reciclado*



*Nota.* en la presente foto se muestra la **a)** dos sacos recolectados de latas de aluminio **b)** Corte y medida de las latas de aluminio; **c)** una vez cortado se procede a clasificar los recortes; **d)** Lavado de las suciedades adheridas a las latas de aluminio

## Foto 2

*Fotografías de campo preparación para el muestreo insitu del agua del río*

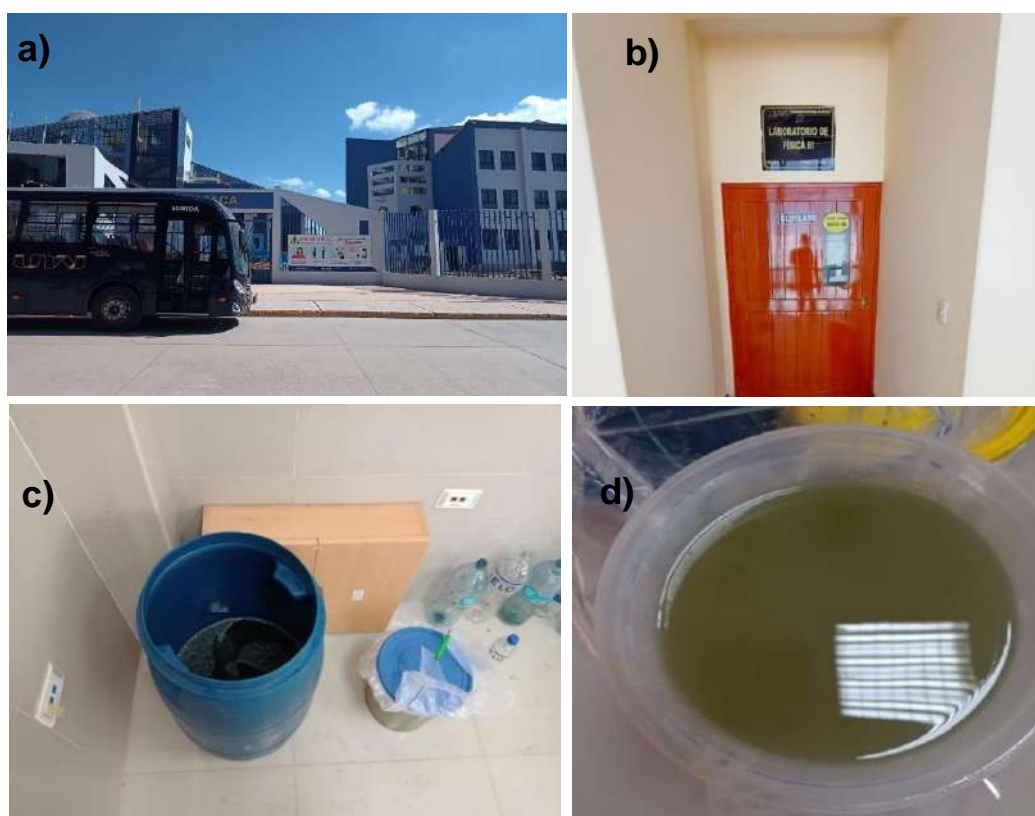
*Torococha*



*Nota.* en la presente foto se muestra la **a)** Vista panorámica del lugar de muestreo **b)** Preparación de la indumentaria para le muestreo; **c)** Preparación y rotulado de los envases de muestreo; **d)** Recojo de muestras en baldes de 20 l y 10 l de capacidad de almacenamiento

### Foto 3

*Muestras almacenadas y acondicionadas en los laboratorios de la Universidad Nacional de Juliaca*



*Nota.* en la presente foto se muestra las **a)** Instalaciones de la UNAJ para llevar a cabo los tratamientos de electrocoagulación y medición de parámetros fisicoquímicos; **b)** Laboratorio de física lugar donde se llevó a cabo los tratamientos de electrocoagulación; **c)** Muestra de agua del río Torococha homogenizada en un bidón; **d)** Vista de la muestra de agua del río Torococha

#### Foto 4

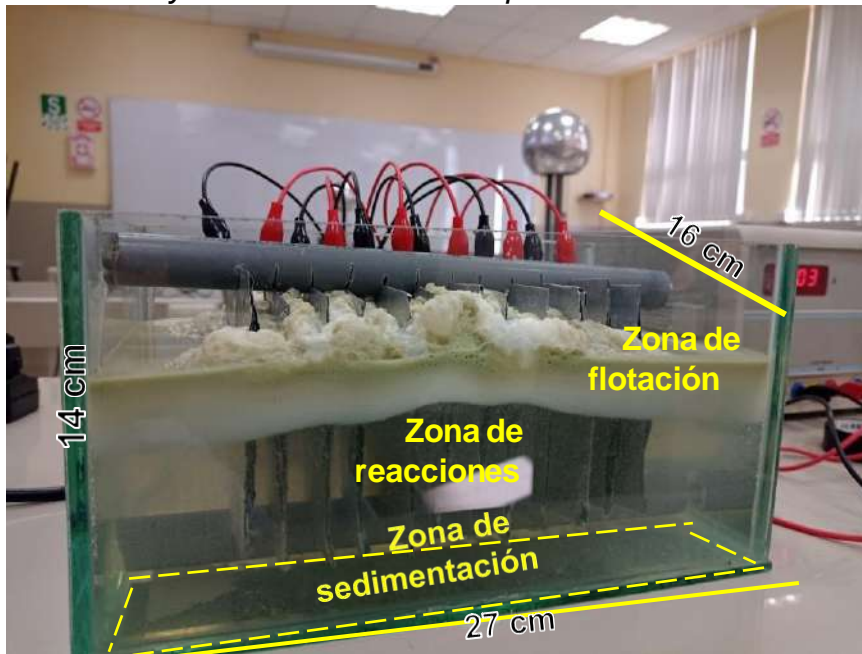
*Medición, pesado e instalación de las celdas de electrocoagulación para el tratamiento de las muestras del agua del río Torococha*



*Nota.* en la presente foto se muestra las **a)** Electroodos de latas de aluminio reciclado; **b)** Pesado inicial de los electrodos de aluminio; **c)** Instalación de celdas de electrocoagulación utilizando latas recicladas; **d)** Electrocoagulación de las muestras de agua del río Toroco

**Foto 5**

*Dimensión y zonas del reactor de tipo batch*



*Nota.* En la presente foto se muestra las dimensiones del reactor tipo batch y las zonas formadas en los tratamientos

## Foto 6

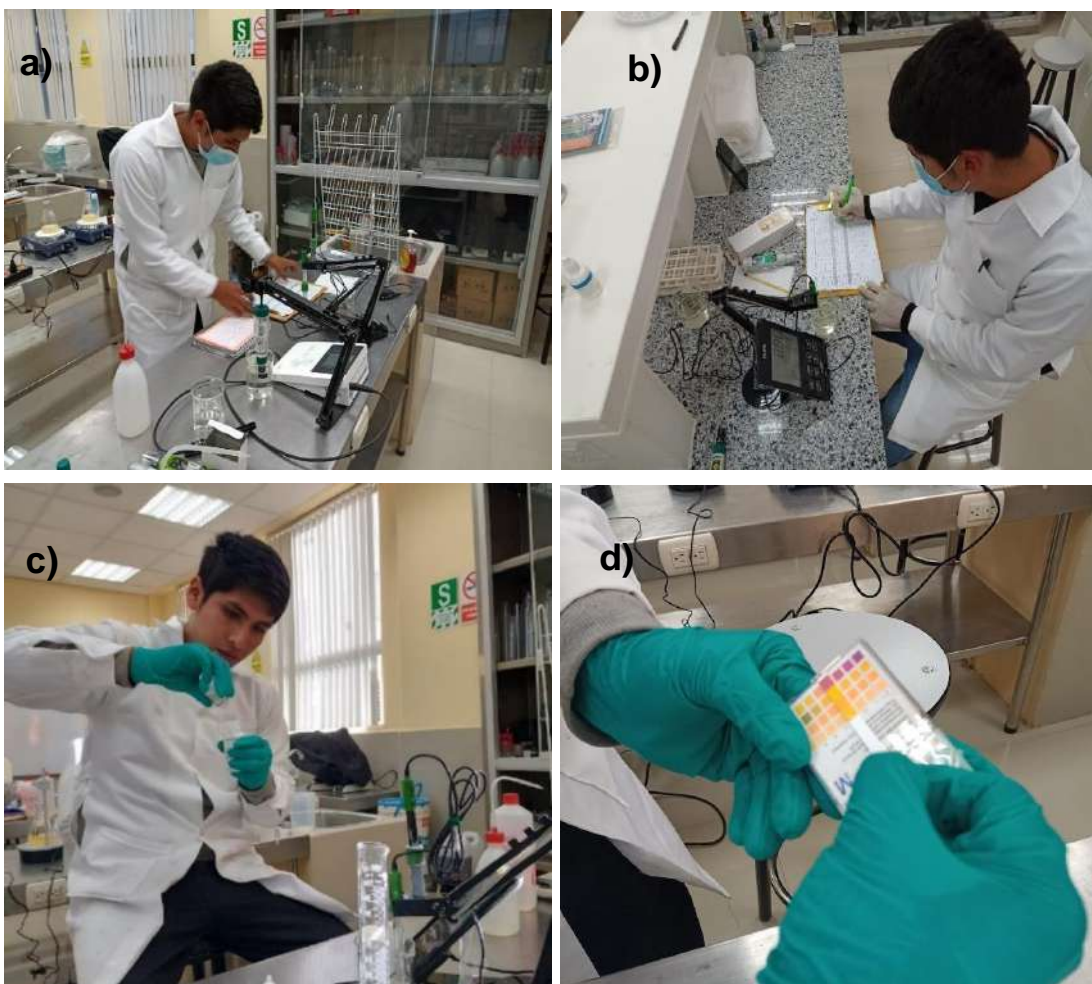
*Muestras extraídas de los tratamientos realizados, recojo de frascos de muestreo, muestreo de los tratamientos y pesado final de electrodos*



*Nota.* en la presente foto se observa las **a)** Muestras extraídas luego de cada tratamiento para la medición de los parámetros fisicoquímicos **b)** Cooler con frascos para muestreo **c)** Muestreo de los tratamientos para la remoción **d)** Pesado final de los electrodos de aluminio

**Foto 7**

*Medición de parámetros fisicoquímicos, preservación de muestras con  $H_2SO_4$  para la medición de la DQO*



*Nota.* en la presente foto se observa en **a) y b)** Medición de parámetros fisicoquímicos de las muestras tratadas **c) y d)** adición con  $H_2SO_4$  hasta disminuir el pH de las muestras  $pH=3$ , con el fin de preservar la muestra para la medición de la DQO

**Foto 8**

*Medición de parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto, pH y solidos totales disueltos)*



*Nota.* en la presente foto se observa la medición de parámetros fisicoquímicos **a)** temperatura y conductividad eléctrica **b)** oxígeno disuelto **c)** pH **d)** y solidos totales disueltos

### Foto 9

Envío de muestras al laboratorio acreditado SGS del Perú SAC para la medición de los parámetros fisicoquímicos: turbidez,  $DBO_5$ , DQO y coliformes termotolerantes



Nota. en la presente foto se observa a) Muestras listas para el envío al laboratorio SGS del Perú S.A.C. b) envío de muestras en un cooler en la empresa JATSA Cargo para el posterior análisis en el laboratorio SGS del Perú S.A.C. c) Boleta de pago por los materiales y equipos usados en el laboratorio de física y d) biología de la Universidad Nacional de Juliaca

**Foto 10**

*Acumulación de desmote invadiendo el cauce del río Torococha*



**Foto 11**

*Discurriramiento de aguas salinas producto del lavado de cuero y lana de oveja que ingresan al río Torococha*



## Anexo 5

### **Metodología para el análisis fisicoquímico de determinación del pH mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 4500-H+ B, 23a Edición**

a. Calibración del instrumento: Siga en cada caso las instrucciones del fabricante del pH-metro y de almacenamiento y preparación de los electrodos para su uso. Las soluciones recomendadas para el almacenamiento a corto plazo de los electrodos varían según el tipo de electrodo y el fabricante, pero generalmente tienen una conductividad superior a 4000 mhos/cm. El agua del grifo es un sustituto mejor que el agua destilada, pero la solución tampón de pH 4 es la mejor para el electrodo de vidrio simple y se prefiere el KCl saturado para un electrodo de referencia de calomelano y Ag/AgCl. El KCl saturado es la solución preferida para un electrodo combinado. Mantenga los electrodos húmedos devolviéndolos a la solución de almacenamiento siempre que el pH-metro no esté en uso.

Antes de usarlos, retire los electrodos de la solución de almacenamiento, enjuáguelos, séquelos con un paño suave, colóquelos en la solución tampón inicial y fije el punto isopotencial (2a anterior). Seleccione un segundo tampón dentro de las 2 unidades de pH del pH de la muestra y lleve la muestra y el tampón a la misma temperatura, que puede ser la

temperatura ambiente, una temperatura fija como 25 °C, o la temperatura de una muestra fresca. Retirar los electrodos de la primera solución tampón, enjuagarlos a fondo con agua destilada, secarlos con un paño y sumergirlos en la segunda solución tampón. Registrar la temperatura de la medición y ajustar el dial de temperatura del medidor para que éste indique el valor de pH del tampón a la temperatura de prueba (se trata de un ajuste de pendiente).

Utilizar el valor de pH indicado en las tablas para el tampón utilizado a la temperatura de prueba. Retire los electrodos del segundo tampón, enjuáguelos a fondo con agua destilada y séquelos como se ha indicado anteriormente. Sumergir en un tercer tampón por debajo de pH 10, aproximadamente 3 unidades de pH diferente del segundo; la lectura debe estar dentro de 0,1 unidad para el pH del tercer tampón. Si la respuesta del medidor muestra una diferencia superior a 0,1 unidad de pH del valor esperado, busque problemas con los electrodos o el potenciómetro (véanse los puntos 5a y b siguientes).

El propósito de la normalización es ajustar la respuesta del electrodo de vidrio al instrumento. Cuando sólo se realicen mediciones ocasionales del pH, normalice el instrumento antes de cada medición. Cuando se realicen mediciones frecuentes y el instrumento sea estable, normalice con menos

frecuencia. Si los valores de pH de la muestra varían ampliamente, estandarice para cada muestra con un tampón que tenga un pH dentro de 1 a 2 unidades de pH de la muestra.

b. Análisis de la muestra: Establezca el equilibrio entre los electrodos y la muestra agitando la muestra para asegurar la homogeneidad; agite suavemente para minimizar el arrastre de dióxido de carbono. Para muestras tamponadas o de alta fuerza iónica, acondicione los electrodos después de limpiarlos sumergiéndolos en la muestra durante 1 minuto. Seque, sumerja en una nueva porción de la misma muestra y lea el pH.

Con soluciones diluidas y mal tamponadas, equilibrar los electrodos sumergiéndolos en tres o cuatro porciones sucesivas de muestra. Tomar una nueva muestra para medir el pH.

## **Anexo 6**

### **Metodología para el análisis fisicoquímico de determinación de la temperatura mediante el método SMEWW-APHA- AWWA-WEF. Part 2550 B. 23 rd Edition**

Laboratorio y otras mediciones de temperatura no profundas Normalmente, las mediciones de temperatura pueden realizarse con cualquier termómetro Celsius de mercurio de buena calidad. Como mínimo, el termómetro debe tener una escala marcada para cada 0,1 °C, con marcas grabadas en el vidrio capilar. El termómetro debe tener una capacidad térmica mínima para permitir un rápido equilibrio. Comparar periódicamente el termómetro con un termómetro de precisión certificado por el Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST, anteriormente National Bureau of Standards) que se utilice con su certificado y tabla de corrección. Para las operaciones sobre el terreno, utilice un termómetro con caja metálica para evitar roturas.

## **Anexo 7**

### **Metodología para el análisis fisicoquímico de determinación de la conductividad eléctrica mediante el método SMEWW-APHA- AWWA- WEF. Part 2510 B, 23rd Edition**

Instrumentos de conductividad autónomos: Utilizar un instrumento capaz de medir la conductividad con un error no superior al 1 % o a 1 umho/cm, el que sea mayor.

Para la medición de la conductividad eléctrica se utilizan instrumentos de conductividad autónomos capaces de medir la conductividad con un error no superior al 1 %, como el Conductímetro equipado siguiendo el siguiente procedimiento:

Una vez se haya calibrado el instrumento, se debe introducir la sonda del conductímetro a la muestra que se desea evaluar con una previa agitación con una varilla de vidrio.

Se debe oprimir la tecla que inicia la lectura de la conductividad, de esa forma se determina la conductividad y este realiza los cálculos necesarios para la realización de la compensación por la temperatura.

Finalmente, el dato marcado en el instrumento luego de la medición debe ser registrado para su posterior análisis e interpretación de resultados, es

preciso señalar que una vez se haya extraído las muestras del cooler que esta acondicionado a temperaturas menores se espere a que la temperatura predominante sea la temperatura ambiente.

## **Anexo 8**

### **Metodología para el análisis fisicoquímico de determinación del oxígeno disuelto mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 23rd Ed**

El método del electrodo de membrana se basa en el hecho de que la difusión del oxígeno disuelto a través de la membrana del electrodo produce un cambio en el potencial del electrodo. Este cambio de tensión es medido por el medidor de OD. Estos electrodos, al igual que los de pH, son sensibles a los cambios de temperatura, pero la mayoría de los medidores de OD modernos están equipados con circuitos automáticos de compensación de temperatura. Este método es especialmente útil para lodos, mediciones rápidas en la planta, tasas de respiración y, cuando está equipado con una sonda de botella agitadora, para mediciones de DBO.

## Anexo 9

### **Metodología para el análisis fisicoquímico de determinación de los sólidos totales disueltos mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23rd Ed**

a. Preparación del disco filtrante de fibra de vidrio: Si se utilizan discos filtrantes de fibra de vidrio ya preparados, elimine este paso. Inserte el disco con el lado arrugado hacia arriba en el aparato de filtración. Aplique vacío y lave el disco con tres volúmenes sucesivos de 20 ml de agua apta para reactivos. Continúe succionando para eliminar todos los restos de agua. Desechar los lavados.

b. Preparación de la cápsula de evaporación: Si se van a medir los sólidos volátiles, encender la cápsula de evaporación limpia a 550 °C durante 1 h en un horno de mufla. Si sólo se van a medir los sólidos disueltos totales, calentar la cápsula limpia a 180,2 °C durante 1 h en un horno. Almacenar en un desecador hasta que se necesite. Pesar inmediatamente antes de usar.

c. Selección del tamaño del filtro y de la muestra: Elegir el volumen de la muestra para obtener entre 2,5 y 200 mg de residuo seco. Si se requieren

más de 10 minutos para completar la filtración, aumente el tamaño del filtro o disminuya el volumen de la muestra.

d. Análisis de la muestra: Agitar la muestra con un agitador magnético y pipetear un volumen medido sobre un filtro de fibra de vidrio con vacío aplicado. Lavar con tres volúmenes sucesivos de 10 ml de agua de calidad reactiva, permitiendo el drenaje completo entre lavados, y continuar la succión durante unos 3 minutos después de completar la filtración. Transferir el filtrado total (con los lavados) a una placa de evaporación pesada y evaporar hasta sequedad en un baño de vapor o en una estufa de secado. Si es necesario, añadir porciones sucesivas a la misma placa después de la evaporación. Secar la muestra evaporada durante al menos 1 h en una estufa a 180,2 °C, enfriar en un desecador hasta alcanzar la temperatura de equilibrio y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta que se obtenga un peso constante o hasta que el cambio de peso sea inferior al 4 % del peso anterior o a 0,5 mg, si esta cifra es inferior. Analizar al menos el 10 % de todas las muestras por duplicado. Las determinaciones por duplicado deben coincidir dentro del 5 % de su peso medio. Si se van a determinar sólidos volátiles, siga el procedimiento en 2540E.

## Anexo 10

### **Metodología para el análisis fisicoquímico de determinación de la turbidez mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23 rd Ed.: 2017**

a. calibración del turbidímetro: Siga las instrucciones de funcionamiento del fabricante. En ausencia de una escala precalibrada, prepare curvas de calibración para cada rango del instrumento. Compruebe la precisión de las escalas de calibración suministradas en un instrumento precalibrado utilizando los patrones adecuados. Ejecutar al menos un estándar en cada rango del instrumento que se vaya a utilizar. Asegurarse de que el turbidímetro da lecturas estables en todos los rangos de sensibilidad utilizados. Es probable que las turbideces altas determinadas por medición directa difieran apreciablemente de las determinadas por la técnica de dilución.

b. Medición de turbidez inferiores a 40 NTU: Agitar bien la muestra. Esperar a que desaparezcan las burbujas de aire y verter la muestra en el tubo del turbidímetro. Cuando sea posible, vierta la muestra agitada en el tubo del turbidímetro y sumérjala en un baño de ultrasonidos, provocando la completa liberación de las burbujas. Leer la turbidez directamente de la escala del instrumento o de la curva de calibración apropiada.

c. Medición de turbidez superiores a 40 NTU: Se diluye la muestra con uno o más volúmenes de agua libre de turbidez y se añade a un volumen de muestra y la muestra diluida muestra una turbidez de 30 NTU, entonces la turbidez de la muestra original era de 180 NTU.

d. Calibre los monitores continuos de turbidez para detectar turbideces bajas determinando la turbidez del agua que entra o sale de ellos utilizando un turbidímetro modelo de laboratorio. Cuando esto no sea posible, utilice un estándar de turbidez diluido adecuado, 3e. Para turbiedades superiores a 40 NTU, utilice una solución madre no diluida.

Cálculo

$$\text{Unidades nefelométricas de turbidez (NTU)} = \frac{A \times (B+C)}{C}$$

donde:

A = NTU encontradas en la muestra diluida.

B = volumen de agua de dilución, ml y

C = volumen de muestra tomado para la dilución, ml.

## **Anexo 11**

### **Metodología para el análisis fisicoquímico de determinación de la DBO<sub>5</sub> mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed**

Los materiales y reactivos utilizados son los siguientes:

- Frascos de incubación de 250 - 300 ml de capacidad
- Incubadora de aire o baño maría
- Agua destilada - Solución amortiguadora de fosfato
- Solución de sulfato de magnesio. - Solución de cloruro de calcio
- Solución de cloruro férrico. - Solución de sulfito de sodio 0,025 N.
- Inóculo

Y a continuación el procedimiento es de la siguiente forma:

- Preparación del agua de dilución
- Inoculación, adición de una población adecuada de microorganismos, para que oxiden la materia orgánica biodegradable
- Pretratamiento, tratamientos específicos según la muestra a analizar
- Dilución, de acuerdo con la muestra

- Determinación del OD
- Incubación, por cinco días a 20 C
- Corrección por el inóculo
- Control del agua por dilución

Los cálculos establecidos cuando se emplea agua de disolución inoculada es la siguiente:

$$\frac{mg}{l} \text{ de } DB = \frac{(D1-D2)-(B1-B2)f}{P}$$

Donde:

Donde: D1= OD de la muestra diluida, después de 15 min de su preparación.

D2= OD de la muestra diluida, después de la incubación. P= Fracción decimal, de la muestra usada.

B1= OD de la disolución de control del inóculo, antes de la incubación.

B2= OD de la disolución de control del inóculo, después de la incubación.

F= Relación del inóculo en la muestra al inóculo en el control.

## Anexo 12

### **Metodología para el análisis fisicoquímico de determinación de la DQO con el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed: 2017**

a. Tratamiento de las muestras: Medir un volumen adecuado de muestra y reactivos en un tubo o ampolla según se indica en la Tabla 5220: I. Prepare, digiera y enfríe las muestras, el blanco y uno o más patrones según se indica en la Sección 5220C.4. Tenga en cuenta las precauciones de seguridad. Es fundamental que se conozca el volumen de cada componente y que el volumen total sea el mismo para cada recipiente de reacción. Si el control volumétrico es difícil, transfiera la muestra digerida, diluya a un volumen conocido y lea. Los reactivos premezclados en tubos de digestión están disponibles comercialmente.

b. Medición de la reducción de dicromato: Enfriar lentamente la muestra a temperatura ambiente para evitar la formación de precipitados. Una vez que las muestras se hayan enfriado, ventile, si es necesario, para aliviar cualquier presión generada durante la digestión. Mezclar el contenido de los recipientes de reacción para combinar el agua condensada y desalojar la materia insoluble. Dejar que la materia en suspensión se asiente y asegurarse de que el camino óptico esté despejado. Medir la absorción de

cada blanco de muestra y patrón a la longitud de onda seleccionada (420 nm o 600 nm). A 600 nm, utilizar un blanco no digerido como solución de referencia. Analizar un blanco digerido para confirmar que los reactivos analíticos son buenos y para determinar la DQO del blanco; restar la DQO del blanco de la DQO de la muestra. Alternativamente, utilice blanco digerido como solución de referencia una vez que se haya establecido que el blanco tiene una DQO baja.

A 420 nm, utilizar agua reactiva como solución de referencia. Mida todas las muestras, blancos y estándares contra esta solución. La medición de la absorción de un blanco no digerido que contenga dicromato, con agua reactiva en sustitución de la muestra, dará una absorción inicial de dicromato. Cualquier muestra digerida, blanco o estándar que tenga un valor de DQO dará menor absorbancia debido a la disminución del ion dicromato. Analice un blanco digerido con agua reactiva en sustitución de la muestra para asegurar la calidad del reactivo y para determinar la contribución de los reactivos a la disminución de la absorbancia durante una digestión dada. La diferencia entre las absorbancias de una muestra digerida dada y el blanco digerido es una medida de la DQO de la muestra. Cuando se corran los estándares, grafique las diferencias de absorbancia

del blanco digerido y la absorbancia del estándar digerido versus los valores de DQO para cada estándar.

c. Preparación de la curva de calibración: Prepare al menos cinco estándares a partir de la solución de hidrogenoftalato de potasio con equivalentes de DQO para cubrir cada rango de concentración. Enrasar con agua reactiva; utilizar los mismos volúmenes de reactivo, tamaño de tubo o ampolla y procedimiento de digestión que para las muestras. Prepare la curva de calibración para cada nuevo lote de tubos o ampollas o cuando los estándares preparados en 4 a difieran en un 5 % de la curva de calibración. Las curvas deben ser lineales. Sin embargo, puede producirse cierta no linealidad, dependiendo del instrumento utilizado y de la precisión general necesaria.

Los cálculos para la determinación de la demanda química de oxígeno se muestran a continuación:

$$DQO \text{ en } mg \frac{O_2}{L} = \frac{mg \ O_2 \text{ en volumen final } \times 1000}{mL \text{ de muestra}}$$

Es preferible analizar las muestras por duplicado debido al pequeño tamaño de la muestra. Las muestras que no sean homogéneas pueden requerir múltiples determinaciones para un análisis preciso. Éstas no deben diferir de su media en más de un  $\pm 5 \%$  para la prueba de DQO de alto nivel, a

menos que las condiciones de la muestra dicten lo contrario. En el procedimiento de bajo nivel, los resultados inferiores a 25 mg/L pueden tender a ser cualitativos más que cuantitativos.

### Anexo 13

#### **Metodología para el análisis microbiológico de determinación de Coliformes termotolerantes mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 23rd Ed. 2017**

La prueba de coliformes fecales se utiliza para distinguir aquellos organismos coliformes totales que son coliformes fecales. Utilice el medio EC o, para una prueba más rápida de la calidad de las aguas para cría de moluscos, aguas residuales tratadas o aguas de origen, utilice el medio A-1 en una prueba directa.

Medio EC: Triptosa o tripticasa .....	20,0 g
Lactosa .....	5,0 g
Mezcla de sales biliares o sales biliares no 3 .....	1,5 g
Hidrógeno fosfato dipotásico, K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .....	4,0 g
Dihidrógeno fosfato potásico, KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	5,0 g
Cloruro de sodio, NaCl.....	5,0 g
Agua de calidad reactiva .....	1, 0 L

Añadir los ingredientes deshidratados al agua, mezclar bien y calentar para disolver. El pH debe ser  $6,9 \pm 0,2$  después de la esterilización. Antes de la

esterilización, dispensar en tubos de fermentación, cada uno con un vial invertido, suficiente medio para cubrir el vial invertido al menos parcialmente después de la esterilización. Cerrar los tubos con tapones metálicos o de plástico resistente al calor.

b. Procedimiento: Someter a la prueba de coliformes fecales todos los tubos o frascos de presunta fermentación que muestren cualquier cantidad de gas, crecimiento o acidez en las 48 h siguientes a la incubación.

1) Agitar o girar suavemente los tubos o frascos de presunta fermentación que muestren gas, crecimiento o acidez. Utilizando un asa estéril de 3 o 3,5 mm de diámetro o un palillo de madera estéril, transferir el crecimiento de cada tubo o frasco de presunta fermentación al caldo CE (véase el apartado 9221b.2).

2) Incubar los tubos de caldo CE inoculados en un baño de agua a  $44,5 \pm 0,2$  °C durante  $24 \pm 2$  h. Colocar todos los tubos CE en el baño de agua en los 30 minutos siguientes a la inoculación. Mantenga una profundidad de agua suficiente en la incubadora de baño de agua para sumergir los tubos hasta el nivel superior del medio.

c. Interpretación: La producción de gas con crecimiento en un cultivo de caldo CE en  $24 \pm 2$  h o menos se considera una reacción positiva de

coliformes fecales. La falta de producción de gas (con crecimiento escaso o nulo) constituye una reacción negativa. Si se utilizan varios tubos, calcular el NMP a partir del número de tubos de caldo CE positivos como se describe en la sección 9221 C. Si se utiliza un solo tubo para el subcultivo a partir de un solo frasco de presunción, informe de la presencia o ausencia de coliformes fecales.

## Anexo 14

### Informe de ensayo de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO  
MA2318388 Rev. 0

YURY JOEL APAZA POMA

ENV / LB-352382-003

Fecha de Recepción SGS : 24-05-2023

Fecha de Ejecución : Del 24-05-2023 al 31-05-2023

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo

Testigo Roto

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 31/05/2023

Carmen R. Guerrero Cantorin  
C.Q.P.1198  
Coordinador de Calidad

Liz E. Huamani Perez  
C.B.P. 13019  
Coordinador de Laboratorio

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"  
Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 1 de 7



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2318388 Rev. 0**

Estación de Muestreo
1M1020
2M3020
3M1020
4M3020
5M1040
6M3040
7M1040
8M3040
9M1060
10M3060
11M1060
12M3060

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 2 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe  
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com  
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO  
MA2318388 Rev. 0**

IDENTIFICACION DE MUESTRA					Testigo Roto 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL	1M1020 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL
Fecha de Muestreo	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Turbidez	EW_APHA2130B_AQ	NTU	0.0	0.1	76.5 ± 2.70	43.4 ± 0.80
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHAB210B_AQ	mg/L	1.0	2.6	91.8 ± 2.60	33.5 ± 2.60
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHAS220D_AQ	mgO <sub>2</sub> /L	1.8	4.5	169.1 ± 9.30	43.9 ± 1.80
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP_AQ	NMP/100 mL	--	--	22000	1500

IDENTIFICACION DE MUESTRA					2M3020 8285428N / 8285428E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL	3M1020 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL
Fecha de Muestreo	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Turbidez	EW_APHA2130B_AQ	NTU	0.0	0.1	27.4 ± 3.70	45.2 ± 3.60
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHAB210B_AQ	mg/L	1.0	2.6	24.2 ± 2.60	35.3 ± 2.60
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHAS220D_AQ	mgO <sub>2</sub> /L	1.8	4.5	34.7 ± 1.80	44.7 ± 1.90
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP_AQ	NMP/100 mL	--	--	1420	1550

IDENTIFICACION DE MUESTRA					4M3020 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL	5M1040 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL
Fecha de Muestreo	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Turbidez	EW_APHA2130B_AQ	NTU	0.0	0.1	29.2 ± 1.60	34.4 ± 2.80
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHAB210B_AQ	mg/L	1.0	2.6	23.6 ± 2.60	21.7 ± 2.60
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHAS220D_AQ	mgO <sub>2</sub> /L	1.8	4.5	34.8 ± 2.20	36.4 ± 1.80
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP_AQ	NMP/100 mL	--	--	1450	1300

IDENTIFICACION DE MUESTRA					6M3040 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL	7M1040 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL
Fecha de Muestreo	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Turbidez	EW_APHA2130B_AQ	NTU	0.0	0.1	29.9 ± 2.40	35.7 ± 2.80
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHAB210B_AQ	mg/L	1.0	2.6	19.7 ± 2.60	22.3 ± 2.60
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHAS220D_AQ	mgO <sub>2</sub> /L	1.8	4.5	31.7 ± 1.80	35.4 ± 1.80
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP_AQ	NMP/100 mL	--	--	220	1320

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 3 de 7



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registros N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO  
MA2318388 Rev. 0**

IDENTIFICACION DE MUESTRA					8M3040 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL	9M1060 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Turbidez	EW_APHAZ130B_AQ	NTU	0.0	0.1	26.6 ± 2.10	31.2 ± 0.50
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B_AQ	mg/L	1.0	2.6	20.1 ± 2.60	20.7 ± 2.60
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D_AQ	mgO <sub>2</sub> /L	1.8	4.5	31.8 ± 1.80	31.8 ± 1.80
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP_AQ	NMP/100 mL	-	-	220	920

IDENTIFICACION DE MUESTRA					10M3060 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL	11M1060 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Turbidez	EW_APHAZ130B_AQ	NTU	0.0	0.1	23.7 ± 2.20	30.9 ± 2.50
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHAZ210B_AQ	mg/L	1.0	2.6	14.3 ± 2.60	19.3 ± 2.60
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D_AQ	mgO <sub>2</sub> /L	1.8	4.5	25.4 ± 1.80	30.7 ± 1.80
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP_AQ	NMP/100 mL	-	-	140	930

IDENTIFICACION DE MUESTRA					12M3060 8285428N / 385174E 22/05/2023 10:16:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>					
Turbidez	EW_APHAZ130B_AQ	NTU	0.0	0.1	22.4
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHAZ210B_AQ	mg/L	1.0	2.6	16.4 ± 2.60
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D_AQ	mgO <sub>2</sub> /L	1.8	4.5	26.2 ± 1.80
<b>Análisis Microbiológicos</b>					
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP_AQ	NMP/100 mL	-	-	140

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

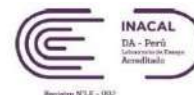
Página 4 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 | Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe  
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 508 e Pt.servicios@sgs.com  
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 396 092

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO  
MA2318388 Rev. 0

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación MB: Blanco del proceso. LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso. MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada. MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada. Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.							
Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.6	<2.6	5 - 8%	97 - 101%		
Turbidez	NTU	0.1		1%	97 - 99%		
Demanda Química de Oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L	4.5	<4.5		94 - 101%	98 - 105%	0%

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

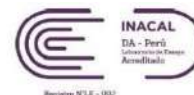
Página 5 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 | Callao 1 | Callao | T (511) 517 1900 | www.sgs.pe  
Ernesto Gunther 275 | Parque Industrial | Arequipa | T (054) 213 506 | e Pe.servicios@sgs.com  
Jr. Arnaldo Márquez | Ba. San Antonio | Cajamarca | T (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2318388 Rev. 0**

**REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APHA2130B_AQ	Arequipa	Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.: 2017. Turbidity Nephelometric Method
EW_APHA5210B_AQ	Arequipa	Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD test
EW_APHA5220D_AQ	Arequipa	Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed.: 2017. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
EW_APHA9221E_NMP_AQ	Arequipa	Numeración de Coliformes fecales o Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E-1, 23rd Ed.: 2017. Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

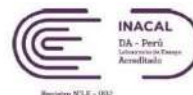
Página 6 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 | Callao 1 | Callao | T (511) 517 1900 | www.sgs.pe  
Ernesto Gunther 275 | Parque Industrial | Arequipa | T (054) 213 506 | e Pe.servicios@sgs.com  
Jr. Arnaldo Márquez | Ba. San Antonio | Cajamarca | T (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2318388 Rev. 0**

**NOTAS**

Notas:

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"**

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C. Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s); no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 7 de 7

SGS del Perú S.A.C.	Av. Elmer Faucett 3348 Ernesto Gunther 275 Jr. Arnaldo Márquez	Callao 1 Parque Industrial Ba. San Antonio	Callao t (511) 517 1900 Arequipa t (054) 213 506 Cajamarca t (076) 366 092	www.sgs.pe e Pe.servicios@sgs.com
---------------------	--	--	--	--------------------------------------

Miembro del Grupo SGS