



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AMBIENTAL Y FORESTAL**



**“EVALUACIÓN DE LA COAGULACIÓN QUÍMICA Y  
ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTOS PARA  
AGUA DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE  
AZÁNGARO”**

**Bach. Denis Casilla Ticona**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**ASESOR:  
M.Sc. Hugo Apaza Aquino**



**JULIACA - PERÚ**  
**2025**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AMBIENTAL Y FORESTAL**



**“EVALUACIÓN DE LA COAGULACIÓN QUÍMICA Y  
ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTOS PARA  
AGUA DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE  
AZÁNGARO”**

**Bach. Denis Casilla Ticona**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**ASESOR:  
M.Sc. Hugo Apaza Aquino**



**JULIACA - PERÚ**  
**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AMBIENTAL Y FORESTAL**



**“EVALUACIÓN DE LA COAGULACIÓN QUÍMICA Y  
ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTOS PARA  
AGUA DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE  
AZÁNGARO”**

**Bach. Denis Casilla Ticona**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y  
FORESTAL**

Asesor de Tesis:

M.Sc. Hugo Apaza Aquino

Juliaca - Perú

2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

Casilla, D. (2025). *Evaluación de la coagulación química y electrocoagulación como tratamientos para agua de consumo humano en el distrito de Azángaro. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.*

<b>AUTOR</b>	: Denis Casilla Ticona
<b>TÍTULO</b>	: Evaluación de la coagulación química y electrocoagulación como tratamientos para agua de consumo humano en el distrito de Azángaro
<b>PUBLICACIÓN</b>	: Juliaca, 2025
<b>DESCRIPCIÓN</b>	: Cantidad de páginas (136 páginas)
<b>NOTA</b>	: Tesis - Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca
<b>CÓDIGO</b>	: 01-000057-01/C32
<b>NOTA</b>	: Incluye bibliografía
<b>ASESOR</b>	: M.Sc. Hugo Apaza Aquino
<b>PALABRAS CLAVE:</b>	Calidad de agua, coagulación química, electrocoagulación, río Azángaro

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y**  
**FORESTAL**

**“EVALUACIÓN DE LA COAGULACIÓN QUÍMICA Y**  
**ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTOS**  
**PARA AGUA DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO**  
**DE AZÁNGARO”**

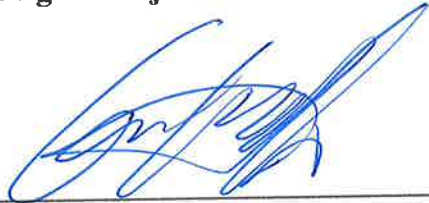
**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**  
**Y FORESTAL**

**Presentado por:**

Bach. Denis Casilla Ticona

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

M.Sc. Godofredo Huanca Chambi  
**PRESIDENTE**

:   
\_\_\_\_\_

M.Sc. Ebed David Paredes Rodríguez  
**JURADO (Secretario)**

:   
\_\_\_\_\_ **2º MIEMBRO**

M.Sc. Milton Quispe Tisnado  
**JURADO (Vocal)**

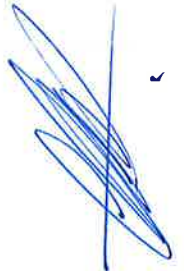
:   
\_\_\_\_\_ **3º MIEMBRO**

  
\_\_\_\_\_ **M.Sc. Hugo Apaza Aquino**  
**ASESOR**

# Denis Casilla Ticona

## EVALUACIÓN DE LA COAGULACIÓN QUÍMICA Y ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTOS PARA AGUA ...

 Universidad Nacional de Juliaca



### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid::3117-541562277

137 páginas

Fecha de entrega  
17 dic 2025, 10:19 a.m. GMT-5

27.169 palabras

Fecha de descarga  
17 dic 2025, 10:58 a.m. GMT-5

161.231 caracteres

Nombre del archivo  
Borrador final - Denis Casilla Ticona 2025.pdf

Tamaño del archivo  
4.8 MB



# 11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

## Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

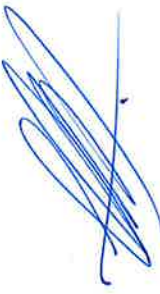
## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y lo revise.



## DEDICATORIA

### ***A Dios***

*A Dios y a mis seres queridos que partieron de este mundo, quienes continúan siendo una fuente inagotable de fortaleza y esperanza. Su influencia espiritual ha estado presente en cada momento de mi trayecto académico, permitiéndome encontrar la fortaleza para enfrentar dificultades y la determinación para continuar adelante.*

### ***A mis Padres, Vidal Casilla Condori e Hilda Ticona Cansaya***

*Porque son ejemplo de sacrificio, amor y entrega incondicional, quienes con sus enseñanzas sembraron en mí la semilla del esfuerzo y la honestidad. Cada página de este trabajo es también fruto de sus desvelos, sus consejos y la confianza que depositaron en mí aun cuando las circunstancias fueron difíciles.*

### ***A mis queridos hermanos, Edgar Alvaro e Ivan Joseph***

*Compañeros de risas, desafíos y sueños compartidos, su lealtad constante y su apoyo incondicional fueron la brújula que me impulsó a seguir adelante y me recordó que nunca estuve solo en este camino. Ustedes me recordaron que no camino solo, que la familia es el mayor refugio y la motivación más grande para seguir adelante.*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios, fuente de mi fortaleza y sabiduría, por acompañarme en cada paso de este proceso y darme la perseverancia necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi vida.*

*A mis queridos padres y hermanos, les expreso mi más profundo agradecimiento por el amor sincero y desinteresado que me han brindado día a día. Sus sacrificios silenciosos y su apoyo inquebrantable han sido mi fortaleza.*

*A la Universidad Nacional de Juliaca, por haberme proporcionado las oportunidades y los recursos necesarios para desarrollarme como profesional.*

*Al, M.Sc. Hugo Apaza Aquino, asesor de tesis, por su orientación atenta y comprometida, que permitió que esta investigación alcanzara sus objetivos.*

*A mis compañeros y colegas de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal por su apoyo constante y colaboración durante esta investigación. De manera especial, reconozco la valiosa orientación y el compromiso al Ingeniero Jhoel Amador Ticona Ramos, cuya experiencia y dedicación fueron fundamentales para enriquecer este trabajo.*

*Mi gratitud al equipo de profesionales de los laboratorios generales de la UNAJ, Ing. Praxides, Ing. Rolando, Lic. Howard, Lic. Kathia, Ing. Abdias, Ing. Dulia e Ing. Eduardo, por su valiosa atención, disposición y asesoramiento durante todo el proceso de experimentación. Su dedicación y experiencia contribuyeron significativamente a la calidad y éxito de este trabajo.*

*Denis Casilla Ticona*

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
ACRÓNIMOS.....	xi
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema de investigación.....	16
1.2. Formulación del problema de investigación.....	18
1.2.1. Problema general.....	18
1.2.2. Problemas específicos.....	18
1.3. Objetivos de la investigación.....	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Hipótesis de la investigación.....	18
1.4.1. Hipótesis general.....	18
1.4.2. Hipótesis específicas.....	19
1.5. Justificación de la investigación.....	19
1.5.1. Justificación ambiental.....	19
1.5.2. Justificación social.....	20
1.5.3. Justificación económica.....	20
1.5.4. Justificación técnica.....	21

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	Antecedentes de la investigación .....	22
2.1.1.	Antecedentes internacionales .....	22
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	23
2.1.3.	Antecedentes locales.....	25
2.2.	Marco teórico .....	27
2.2.1.	Agua .....	27
2.2.2.	Calidad de agua .....	28
2.2.3.	Calidad de agua para consumo humano .....	29
2.2.4.	Agua potable.....	30
2.2.5.	Tecnologías para el tratamiento de agua potable.....	31
2.2.6.	Coagulación química .....	33
2.2.7.	Proceso de la coagulación química.....	33
2.2.8.	Función de la coagulación química .....	34
2.2.9.	Beneficios de la coagulación química .....	35
2.2.10.	Factores que influyen en el proceso de coagulación .....	35
2.2.11.	Electrocoagulación .....	37
2.2.12.	Uso de electrodos para el proceso de electrocoagulación .....	38
2.2.13.	Ventajas de la electrocoagulación .....	38
2.2.14.	Factores que afectan la electrocoagulación .....	39
2.2.15.	Lodos de coagulación química y electrocoagulación .....	40
2.2.16.	Aprovechamiento de lodos del proceso de electrocoagulación.....	41
2.2.17.	Composición y manejo de lodos.....	41
2.2.18.	Características de los lodos .....	42
2.2.19.	Azángaro.....	43
2.2.20.	Sistema de tratamiento de agua potable – Azángaro.....	43

2.2.21. Normativa .....	47
-------------------------	----

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Ámbito de estudio .....	49
3.2. Enfoque de investigación .....	51
3.3. Diseño de investigación .....	51
3.4. Nivel o alcance de la investigación.....	51
3.5. Variables de investigación .....	51
3.7. Equipos, materiales y reactivos .....	53
3.7.1. Equipos .....	53
3.7.2. Materiales de laboratorio .....	53
3.7.3. Reactivos .....	54
3.8. Procedimiento metodológico .....	54
3.8.1. Evaluar las características fisicoquímicas de las aguas del río Azángaro	54
3.8.2. Desarrollo experimental del proceso de tratamiento con coagulación química y electrocoagulación.....	56
3.8.3. Desarrollo experimental del proceso de crecimiento del Ceticio ( <i>Cytisus     racemosa</i> ).....	67

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Caracterización fisicoquímica del río Azángaro.....	74
4.1.1. Caracterización físico-química .....	74
4.2. Caracterización de las muestras tratadas con coagulación química y electrocoagulación .....	75
4.2.1. Análisis de parámetros físico-químicos mediante el tratamiento de coagulación química.....	75

4.3. Aplicación de los lodos de coagulación química y electrocoagulación en el crecimiento del Ceticio ( <i>Cytisus racemosa</i> ). .....	78
4.4. Análisis estadístico de datos .....	82

## **CAPÍTULO V**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos.....	47
Tabla 2. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica.....	48
Tabla 3. Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos.....	48
Tabla 4. Límites del área en estudio.....	49
Tabla 5. Coordenadas del río Azángaro .....	52
Tabla 6. Métodos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos .....	55
Tabla 7. Detalles técnicos de la celda de electrocoagulación .....	60
Tabla 8. Características de las láminas de Al y Fe.....	61
Tabla 9. Capacidad de la celda de electrocoagulación .....	63
Tabla 10. Tiempo de tratamiento .....	64
Tabla 11. Intensidad de corriente en el periodo de tratamiento .....	64
Tabla 12. Intensidad de pH en el periodo de tratamiento.....	64
Tabla 13. Ubicación geográfica del distrito de Chupa - Azángaro .....	67
Tabla 14. Composición de los tratamientos propuestos.....	69
Tabla 16. Matriz del diseño experimental (Box-Behnken).....	73
Tabla 17. Parámetros de campo – río Azángaro .....	74
Tabla 18. Parámetros fisicoquímicos .....	76
Tabla 19. Parámetros fisicoquímicos .....	77
Tabla 20. ANOVA de un solo factor: Crecimiento vs. Tipo.....	81
Tabla 21. Información del factor.....	81
Tabla 22. Análisis de Varianza .....	81
Tabla 23. Comparaciones en parejas Tukey.....	82
Tabla 24. Prueba de T Student .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tecnologías de tratamiento de agua .....	33
Figura 2. Diagrama esquemático experimental de la coagulación química .....	34
Figura 3. Proceso de coagulación y floculación .....	35
Figura 4. Sistema de tratamiento electroquímico .....	37
Figura 5. Diagrama esquemático del proceso de electrocoagulación (EC) .....	38
Figura 6. Zona de captación.....	44
Figura 7. Bombas centrífugas .....	44
Figura 8. Cámara de bombeo.....	45
Figura 9. Reservorio Qakencorani .....	46
Figura 10. Mapa de ubicación del área de estudio - Azángaro.....	49
Figura 11. Ubicación del ámbito de estudio – Río Azángaro.....	50
Figura 12. Ubicación del río Azángaro – Puno .....	52
Figura 13. Muestreo de agua superficial del río Azángaro.....	55
Figura 14. Recolección de muestras .....	56
Figura 15. Floculador Test de jarras .....	57
Figura 16. Muestra de agua a tratar .....	58
Figura 17. Aplicación de coagulante .....	59
Figura 18. Diseño de la celda de electrocoagulación .....	60
Figura 19. Distancia y distribución de los electrodos de aluminio y hierro. ....	62
Figura 20. Diseño de la celda de electrocoagulación .....	62
Figura 21. Flujograma de los procesos de tratamiento .....	66
Figura 22. Procedimiento experimental de electrocoagulación continua.....	66
Figura 23. Pruebas de funcionamiento del sistema .....	67
Figura 24. Separación de materia líquida y sólida.....	68
Figura 25. Selección de semillas .....	69
Figura 26. Crecimiento de las plántulas de Ceticio ( <i>Cytisus racemosa</i> ) .....	71
Figura 27. Crecimiento vs tiempo .....	79
Figura 28. Intervalos de crecimiento .....	79
Figura 29. Superficie respuesta de la interacción entre el Tiempo y Dosis.....	82
Figura 30. Superficie respuesta de la interacción entre el PH y tiempo.....	83
Figura 31. Superficie respuesta de la interacción entre el pH y tiempo .....	84

Figura 32. Superficie respuesta de la interacción entre el PH y Dosis en cada nivel de tiempo .....	84
Figura 33. Superficie respuesta de la interacción entre el tiempo y Dosis .....	85
Figura 34. Superficie respuesta de la interacción entre el PH y tiempo .....	86
Figura 35. Superficie respuesta de la interacción entre el Ph y tiempo .....	86
Figura 36. Superficie respuesta de la interacción entre el PH y dosis en cada nivel de tiempo .....	87
Figura 37. Superficie respuesta de la interacción entre el tiempo y Dosis .....	88
Figura 38. Superficie respuesta de la interacción entre el PH y tiempo .....	88
Figura 39. Superficie respuesta de la interacción entre el PH y dosis en cada nivel de tiempo .....	89
Figura 40. Superficie respuesta de la interacción entre el tiempo y DC .....	90
Figura 41. Superficie respuesta entre la interacción del pH y tiempo .....	91
Figura 42. Interacción del pH y DC en cada nivel de tiempo .....	92
Figura 43. Superficie respuesta entre la interacción del pH y DC .....	92
Figura 44. Superficie respuesta entre la interacción del pH y tiempo .....	93
Figura 45. Interacción del pH y DC en cada nivel de tiempo .....	94
Figura 46. Superficie respuesta entre la interacción del tiempo y DC .....	94
Figura 47. Superficie respuesta entre la interacción del pH y tiempo .....	95
Figura 48. Interacción del pH y DC en cada nivel de tiempo .....	96

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Río Azángaro.....	117
Anexo 2. Toma de muestras del río Azángaro.....	117
Anexo 3. Profesionales involucrados en la mejora de la calidad del agua .....	118
Anexo 4. Traslado de muestra al laboratorio .....	118
Anexo 5. Preservación de las muestras para su análisis respectivo .....	119
Anexo 6. Proceso de análisis de las muestras en estudio.....	119
Anexo 7. Proceso de tratamiento de aguas mediante coagulación química .....	120
Anexo 8. Proceso de tratamiento de aguas mediante electrocoagulación .....	120
Anexo 9. Crecimiento de plántulas de Ceticio ( <i>Cytisus racemosa</i> ).....	121
Anexo 10. Envío de muestras a laboratorio BHIOS .....	121
Anexo 11. Ensayos de agua para consumo humano tratado por electrocoagulación ..	122
Anexo 12. Análisis de agua tratadas mediante electrocoagulación .....	123
Anexo 13. Ensayos de agua para consumo humano por electrocoagulación .....	125
Anexo 14. Análisis de aluminio en muestras tratadas mediante electrocoagulación ..	126
Anexo 15. Agua para consumo humano tratado por coagulación química .....	127
Anexo 16. Resultados de las muestras de agua tratadas por coagulación química.....	128
Anexo 17. Agua para consumo humano tratado por coagulación química .....	130
Anexo 18. Resultados del análisis de aluminio tratadas por coagulación química .....	131
Anexo 19. Cadena de custodia de muestras de coagulación química y electrocoagulación .....	132
Anexo 20. Cadena de custodia de las muestras tratadas .....	133
Anexo 21. Solicitud para acceso a zona de muestreo .....	134
Anexo 22. Constancia por uso de laboratorio .....	135

## ACRÓNIMOS

<b>EC</b>	: Electrocoagulación
<b>CQ</b>	: Coagulación Química
<b>TN</b>	: Tierra Negra
<b>DC</b>	: Densidad de corriente
<b>pH</b>	: Potencial de Hidrógeno
<b>SST</b>	: Sólidos Suspendidos Totales
<b>TDS</b>	: Sólidos Totales Disueltos
<b>OD</b>	: Oxígeno Disuelto
<b>NTU</b>	: Unidades Nefelométricas de Turbidez
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	: Ácido sulfúrico
<b>HCl</b>	: Ácido Clorhídrico
<b>NaOH</b>	: Hidróxido de Sodio
<b>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b>	: Sulfato de Aluminio
<b>PTAP</b>	: Planta de Tratamiento de Agua Potable
<b>LMP</b>	: Límites Máximos Permisibles
<b>OMS</b>	: Organización Mundial de la Salud
<b>DIGESA</b>	: Dirección General de Salud Ambiental

## RESUMEN

Garantizar el acceso al agua potable representa uno de los retos más importantes para la humanidad, en este contexto, se vuelve imperativo desarrollar métodos de tratamiento de agua que sean más innovadores, accesibles y eficientes, especialmente en el distrito de Azángaro, donde esta necesidad es particularmente apremiante. Esta investigación tuvo como objetivo general evaluar la coagulación química y electrocoagulación como tratamientos para agua de consumo humano en el distrito de Azángaro. En la etapa inicial del estudio, se caracterizó fisicoquímicamente las muestras de agua, como el pH, conductividad eléctrica, turbiedad, y TDS, los tratamientos con electrocoagulación y coagulación química, se realizó siguiendo la metodología planteada; evaluando niveles de factores como pH (6, 6.5 y 7), tiempo de tratamiento (12 min, 24 min y 36 min) y densidad de corriente (5.5 A/m<sup>2</sup>, 11.1 A/m<sup>2</sup> y 22.2 A/m<sup>2</sup>) en electrocoagulación, mientras que en la coagulación química se trabajó con 3 niveles de factores pH (5, 6 y 7), tiempo (30 min, 45 min y 60 min) y dosis de coagulante (30 mg/l, 50 mg/l y 70 mg/l). Los resultados en electrocoagulación química mostraron altas eficiencias de remoción en turbidez (84.66%) y TDS (83.75%), y mientras que en coagulación química la turbidez (83.75%) y TDS (94.05%), los valores de la caracterización físico-química de las muestras tratadas bajo coagulación química, se evidenciaron cambios importantes en los sólidos totales disueltos, y turbidez, llegando a valores de 174 mg/L, y 0.81 NTU respectivamente; mientras que, en muestras tratadas con electrocoagulación, también se demostraron cambios importantes como sólidos totales disueltos, y turbidez, llegando a valores de 132 mg/L y 0.81 NTU. La electrocoagulación representa como una alternativa eficiente y sostenible para el tratamiento de agua para consumo humano en el distrito de Azángaro, ya que permite la remoción de contaminantes mediante procesos electroquímicos.

**Palabras clave:** Calidad de agua, coagulación química, electrocoagulación, río Azángaro.

## ABSTRACT

Ensuring access to safe drinking water represents one of the most important challenges for humanity, in this context, it becomes imperative to develop more innovative, accessible and efficient water treatment methods, especially in the district of Azángaro, where this need is particularly pressing. The general objective of this research was to evaluate chemical coagulation and electrocoagulation as treatments for drinking water in the district of Azángaro. In the initial stage of the study, the water samples were characterized physicochemically, such as pH, electrical conductivity, turbidity, and TDS, the treatments with electrocoagulation and chemical coagulation were carried out following the proposed methodology; evaluating levels of factors such as pH (6, 6, 6.5 and 7), treatment time (12 min, 24 min and 36 min) and current density (5.5 A/m<sup>2</sup>, 11.1 A/m<sup>2</sup> and 22.2 A/m<sup>2</sup>) in electrocoagulation, while in chemical coagulation we worked with 3 levels of factors pH (5, 6 and 7), time (30 min, 45 min and 60 min) and coagulant dose (30 mg/l, 50 mg/l and 70 mg/l). The results in chemical electrocoagulation showed high removal efficiencies in turbidity (84.66%) and TDS (83.75%), and while in chemical coagulation the turbidity (83.75%) and TDS (94.05%), the values of the physicochemical characterization of the samples treated under chemical coagulation, significant changes were evidenced in total dissolved solids, and turbidity, reaching values of 174 mg/L, and 0.81 NTU respectively; while, in samples treated with electrocoagulation, important changes were also demonstrated in total dissolved solids and turbidity, reaching values of 132 mg/L and 0.81 NTU.

Electrocoagulation represents an efficient and sustainable alternative for the treatment of water for human consumption in the district of Azángaro, since it allows the removal of contaminants through electrochemical processes.

**Key words:** Water quality, chemical coagulation, electrocoagulation, Azángaro river.

## INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es un valor ecológico esencial para la salud y para el crecimiento económico (Villena, 2018). Este recurso natural es crucial para la humanidad (Araque, 2022), ya que su preservación y tratamiento adecuado son cruciales para garantizar la salud pública y la integridad de los ecosistemas acuáticos (Jiménez-Jumbo et al., 2024), y es por ello que nuestros ríos, lagos, aguas subterráneas y aguas costeras deben ser utilizadas de forma sustentable, pensando siempre en las nuevas generaciones (Araque, 2022), pero la disponibilidad del recurso hídrico en el mundo está cada vez más limitada, debido al aumento de la contaminación del agua, provocado por el vertido de grandes cantidades de aguas residuales insuficientemente tratadas o sin ningún tipo de tratamiento previo a los ríos, lagos, acuíferos y aguas costeras (ANA, 2020).

La calidad del agua, ha sido objeto de estudio por numerosos científicos a nivel mundial en las últimas décadas (Padilla-Ramirez et al., 2024), ya que la calidad del agua es uno de los principales desafíos que afrontarán las sociedades (ANA, 2020). Cada día las características del agua se deterioran debido a múltiples factores, tanto naturales como antropogénicos (Padilla-Ramirez et al., 2024), existen contaminantes que afectan la calidad del agua que se clasifican, según los parámetros para evaluarlos, en físicos, químicos, radiológicos y biológicos (Puente et al., 2023), esta contaminación ocasiona que la calidad del agua se vea comprometida y que no se pueda garantizar la utilidad de esta para los diferentes fines (Cerna-Cueva et al., 2022). Diversos estudios han evidenciado que, la creciente contaminación de la fuente de suministro de agua del río Azángaro; es consecuencia directa de múltiples factores antrópicos, como las actividades mineras en la parte alta de la cuenca, el vertimiento de aguas residuales domésticas, municipales e industriales, y la disposición inadecuada de residuos sólidos en las riberas del río (Alvarez & Vilca, 2024; SUNASS, 2024).

Los tratamientos de agua para adaptarla a distintos usos con fines específicos juegan un papel muy importante en la actualidad (Perozo & Abreu, 2017). Aunque las tecnologías de tratamiento de agua están bien desarrolladas para abordar estos desafíos (Kumari & Kumar, 2022), sin embargo, son necesarias tecnologías cada vez más confiables, selectivas, eficientes y económicas para que el acceso a la misma sea mayor (Perozo & Abreu, 2017). Por esta razón, la tecnología de coagulación se usa generalmente en el tratamiento de aguas naturales e industriales (Rivas et al., 2017), ayudando a remover el

olor, color, turbidez (Pastrana-Pacho et al., 2023), y sustancias productoras de olores y sabores (García & Zevallos, 2021).

La electrocoagulación es una tecnología que elimina contaminantes suspendidos, disueltos o emulsionados en agua mediante electricidad (Villabona-Ortíz et al., 2021), además, el proceso de la electrocoagulación tiene muchas ventajas, como alta eficiencia de eliminación, fácil operación, rentabilidad, automatización completa del proceso, se originan bajas cantidades de flóculos (Castañeda et al., 2021) y se utilizan equipos simples (Gamero-Quijano et al., 2020). Los electrodos utilizados suelen estar fabricados de aluminio (Al) o hierro (Fe) (Villabona-Ortíz et al., 2021); y los metales más comunes utilizados para fabricar electrodos son Al y Fe porque son rentables, y están ampliamente disponibles y no son peligrosos (Reilly et al., 2019).

Las conclusiones de este trabajo tesis tienen como propósito contribuir al avance de estrategias en el tratamiento de agua destinada al consumo humano, así como al fortalecimiento del conocimiento y la optimización de los procesos de electrocoagulación y coagulación química, considerados como tecnologías viables para dicho fin.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción del problema de investigación

El agua es fundamental para la existencia y preservación de la vida en nuestro planeta (Paca et al., 2019), dado que es un recurso hídrico fundamental para la sostenibilidad de la vida y la diversidad biológica en nuestro planeta (Chavarría et al., 2024). Sin embargo, en la actualidad, casi la mitad de la población mundial enfrenta problemas de acceso al agua durante ciertos períodos del año (UNESCO, 2024). Además, la presencia de agua en estado puro es limitada en los ecosistemas naturales, siendo aún más restringida cuando se considera el acceso a agua potable de calidad adecuada para el consumo humano (Chavarría et al., 2024). El crecimiento exponencial de la población, el aumento de la producción agrícola y la expansión del sector industrial han intensificado significativamente la demanda global de agua (Márquez-Pacheco et al., 2023). Como consecuencia, aproximadamente una cuarta parte de la población mundial enfrenta situaciones de estrés hídrico severo, utilizando más del 80 % de su disponibilidad anual renovable de agua dulce (UNESCO, 2024).

El agua es un recurso esencial para la supervivencia en nuestro planeta, ya que permite la existencia tanto de los seres humanos y de los animales (Araque, 2022), también es un derecho humano fundamental y una medida efectiva para la protección de la salud (Organización Mundial de la Salud, 2018). Cada individuo en el mundo necesita entre 20 y 50 litros de agua limpia y segura al día para hidratarse, preparar alimentos y mantenerse limpio (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2023).

El aumento de la población y el desarrollo de actividades económicas en las cuencas hidrográficas están impactando los recursos hídricos en el Perú (Cerna-Cueva et al., 2022; Dirección General de Salud Ambiental, 2011), Esta situación ha contribuido a la presencia de contaminantes microbiológicos en las fuentes de agua, constituyéndose en un factor determinante en la transmisión de enfermedades de origen hídrico (Espigares & Espínola, 2020). Como consecuencia, las enfermedades diarreicas agudas (EDA) se mantienen como la segunda causa más importante de mortalidad en la población infantil menor de cinco años.

El acceso a agua potable segura es un derecho fundamental y un pilar esencial para la salud pública (Alvarez & Vilca, 2024; SUNASS, 2024). En el distrito de Azángaro, región Puno, la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano es un sistema de captación mediante galerías filtrantes, cuya única etapa de tratamiento consiste en la desinfección con cloro gas antes de su distribución a la población (E. Gonzales, 2017a). Esta modalidad de tratamiento, aunque cumple una función básica de desinfección, no garantiza la remoción eficiente de contaminantes físico-químicos, como turbidez, sólidos suspendidos, y compuestos orgánicos, que son comunes en cuerpos de agua superficial o filtrada insuficientemente (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Diversos estudios indican que el tratamiento exclusivo con cloro no garantiza la eliminación total de microorganismos resistentes, además de generar subproductos organoclorados con posibles riesgos para la salud (Srivastav et al., 2020; Huacani et al., 2025). A pesar de existir normativas para el tratamiento del agua, su aplicación no es uniforme en todo el territorio, especialmente en comunidades con limitaciones económicas (Huacani et al., 2025). En este sentido, se requiere implementar sistemas de potabilización sostenibles que aseguren la inocuidad del agua, sin comprometer el equilibrio ambiental ni el derecho humano al acceso a este recurso esencial (Borda et al., 2021; Cheswick et al., 2020). Esta situación puede representar un riesgo latente para la salud de la población azangarina, ya que la cuenca del río Azángaro es una fuente importante para la recarga hídrica.

Ante esta problemática, surge la necesidad de evaluar tecnologías complementarias de tratamiento que mejoren la calidad del agua antes de la desinfección final (E. Gonzales, 2017a). Entre las tecnologías para tratamiento de agua, la coagulación química convencional es ampliamente utilizada en la remoción de sólidos suspendidos y turbidez en agua potable, siendo una técnica tradicional y revisada continuamente para mejorar su eficiencia en la eliminación de contaminantes emergentes (Guzmán et al., 2013; Pivokonsky et al., 2024b). Por otro lado, la electrocoagulación ha demostrado ser una alternativa más sostenible que emplea procesos electroquímicos para remover turbidez, metales pesados y compuestos orgánicos, con menores volúmenes de lodos generados y mejores eficiencias operacionales (Villon & Reátegui, 2019). Estas tecnologías pueden convertirse en aliadas fundamentales para que las familias y comunidades disfruten de las mejores condiciones de vida.

## **1.2. Formulación del problema de investigación**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál será la eficacia de la coagulación química y la electrocoagulación como tratamientos para agua de consumo humano en el distrito de Azángaro?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Qué características fisicoquímicas presentan las muestras de agua para consumo humano del distrito de Azángaro?
- ¿Cuál será la influencia de los parámetros de densidad de corriente, tiempo de tratamiento, dosis de coagulante y pH en el proceso de la electrocoagulación y coagulación química?
- ¿Los lodos de la electrocoagulación y coagulación química servirán como un suplemento en la fertilización para el crecimiento del Ceticio (*Cytisus racemosa*)?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la eficacia de la coagulación química y electrocoagulación como tratamientos para agua de consumo humano en el distrito de Azángaro.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar fisicoquímicamente las muestras de agua para consumo humano del distrito de Azángaro.
- Realizar ensayos de coagulación química y de electrocoagulación en función a los parámetros de densidad de corriente, dosis de coagulante, tiempo de tratamiento y pH.
- Evaluar la aplicación de los lodos de la coagulación química y electrocoagulación en el crecimiento del Ceticio (*Cytisus racemosa*).

## **1.4. Hipótesis de la investigación**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Debido a que la electrocoagulación remueve contaminantes mediante la formación de coagulantes in situ, es probable que la electrocoagulación presente una mayor eficiencia en más del 70% a comparación de la coagulación química en el tratamiento de agua para consumo humano en el distrito de Azángaro.

#### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- La caracterización fisicoquímica de las aguas para consumo humano en el distrito de Azángaro, sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.
- Los parámetros de densidad de corriente, dosis de coagulante, tiempo de tratamiento y pH influyen positivamente en la eficiencia del proceso de la electrocoagulación.
- Empleando lodos de electrocoagulación y coagulación química favorece el crecimiento del Ceticio (*Cytisus racemosa*).

#### **1.5. Justificación de la investigación**

##### **1.5.1. Justificación ambiental**

El tratamiento de agua para consumo humano mediante procesos de coagulación química y electrocoagulación constituye una estrategia fundamental para mitigar la contaminación de los recursos hídricos superficiales, preservando así el equilibrio de los ecosistemas acuáticos (Perozo & Abreu, 2017). La presencia de sólidos suspendidos, turbidez, materia orgánica y metales pesados en el agua genera impactos negativos sobre la calidad ambiental, afectando tanto la biodiversidad acuática como los servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico.

La aplicación de tecnologías como la coagulación química y la electrocoagulación permite reducir eficientemente la carga contaminante del agua, mediante la remoción de turbidez, sólidos suspendidos, materia orgánica (Rivera et al., 2012). En particular, la electrocoagulación representa una alternativa ambientalmente favorable, ya que genera coagulantes in situ mediante la disolución de electrodos metálicos, reduciendo el uso de insumos químicos (Castillo et al., 2025). Por otro lado, aunque la coagulación química es una tecnología de tratamiento de agua ampliamente utilizada y establecida desde hace mucho tiempo, su uso prolongado genera residuos químicos que deben ser gestionados y evaluados adecuadamente considerando su composición completa y propiedades hidroquímicas (Pivokonsky et al., 2024a).

En este sentido, la evaluación comparativa de ambas tecnologías no solo permite optimizar el tratamiento del agua para consumo humano, sino también identificar la opción que genere un menor impacto ambiental, favoreciendo prácticas de gestión hídrica sostenible.

### **1.5.2. Justificación social**

La implementación de tecnologías de tratamiento sostenible es crucial para garantizar la disponibilidad de agua limpia (Chuquimbalqui-Marina et al., 2025). La electrocoagulación es un método potencial de tratamiento de agua para eliminar diversos contaminantes (Bharti et al., 2023). Asimismo, la coagulación química es un buen ejemplo de tecnología tradicional de tratamiento de agua, ampliamente utilizada para tratar agua potable (Pivokonsky et al., 2024a). Estas tecnologías permitirán proporcionar a la población un recurso hídrico apto para el consumo humano, conforme a los límites establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Esta investigación contribuye a mejorar la calidad de vida de los habitantes de Azángaro, promoviendo condiciones que favorezcan el desarrollo humano sostenible, la equidad social y la reducción de brechas en el acceso a servicios básicos (Villanueva, 2024). Con la aplicación de este proyecto; se permitirá ofrecer un mejor rendimiento en el tratamiento del agua para consumo humano en el distrito de Azángaro. Al implementarlo, se logrará un tratamiento en menos tiempo y con mayor eficiencia, ya que existe una necesidad urgente de implementar tecnologías eficaces, innovadoras y de bajo costo que garantizan agua segura para la población., y que sean aplicables a las condiciones climatológicas de la región Puno.

### **1.5.3. Justificación económica**

A pesar de la existencia de múltiples tecnologías para el tratamiento de agua potable, como la filtración, la ósmosis inversa, nanofiltración, microfiltración, y la ultrafiltración (Castro & Abejón, 2024), muchas de estas presentan limitaciones económicas significativas, relacionadas con sus elevados costos de inversión, operación, mantenimiento e infraestructura especializada (Othman et al., 2022). Esto evidencia la necesidad de implementar tecnologías que sean más accesibles, eficientes y adaptadas a contextos con limitaciones económicas.

La coagulación química, ampliamente utilizada en plantas convencionales, implica costos operativos recurrentes asociados a la adquisición y dosificación continua de insumos químicos, tales como sulfato de aluminio, además de requerir una adecuada gestión de los residuos generados (Echeverría & Vargas, 2025). En contraste, la electrocoagulación, aunque requiere una inversión inicial en infraestructura electroquímica y consumo energético, reduce significativamente el uso de productos químicos externos, simplifica la gestión de residuos sólidos y líquidos, y optimiza los procesos de operación y mantenimiento (Perozo & Abreu, 2017).

Es imperativo contar con tecnologías de tratamiento que sean confiables, selectivas, eficientes y económicamente accesibles, lo que permitirá ampliar el acceso a agua potable segura, especialmente en comunidades vulnerables (Kumari & Kumar, 2022). En este sentido, la electrocoagulación emerge como una tecnología prometedora, caracterizada por menores costos operativos, mayor compatibilidad ambiental, elevada eficiencia termodinámica, alta selectividad en la remoción de contaminantes y procedimientos de operación y mantenimiento simplificados (Perozo & Abreu, 2017).

#### **1.5.4. Justificación técnica**

Técnicamente, es necesario adaptar las tecnologías de tratamiento a las condiciones particulares del agua superficial del distrito de Azángaro. Tanto la coagulación química como la electrocoagulación son procesos viables para remover turbidez, color, sólidos suspendidos y otros contaminantes; sin embargo, su eficiencia puede variar según las características físico-químicas del agua (pH, temperatura, carga contaminante) (Perozo & Abreu, 2017). La evaluación comparativa permitirá identificar el tratamiento más eficiente, considerando aspectos operativos, facilidad de manejo, mantenimiento, y cumplimiento con los estándares de calidad establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, por lo que, son necesarias tecnologías cada vez más confiables, selectivas, eficientes y económicas para que el acceso a la misma sea mayor (Kumari & Kumar, 2022).

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Ebba et al., (2022), investigó experimentalmente la optimización del proceso de electrocoagulación utilizando la metodología de superficie de respuesta. para ello, consideraron varios factores que influyeron en la eficiencia de remoción de turbidez: el pH (rango de 3 a 7,5), la corriente aplicada (0,03 a 0,09 A), la distancia entre electrodos (1 a 2 cm), la concentración electrolítica (1 a 3 g/L) y el tiempo de electrólisis (20 a 60 minutos). Los mejores resultados obtuvieron con una eficiencia de remoción de turbidez del 83,33%, alcanzada bajo las siguientes condiciones óptimas: pH 7,5, corriente de 0,09 A, concentración electrolítica de 3 g/L, distancia entre electrodos 2 cm, y un tiempo de tratamiento de 60 min.

Perozo & Abreu, (2017), determinaron porcentajes de remoción de solidos totales disueltos y turbidez, utilizando electrodos de hierro y aluminio. Los resultados mostraron que, al utilizar un ánodo de aluminio, las eficiencias de remoción de turbidez alcanzaron valores de 40% y el 80%, bajo condiciones óptimas: distancia entre electrodos y tiempo de tratamiento, en cambio, al emplear un ánodo de hierro, los porcentajes de remoción se situaron entre el 10% y el 50%, incluso bajo las mejores condiciones del sistema, además, el análisis de varianza evidenció que existe una diferencia significativa entre los resultados obtenidos al cambiar el tipo de metal anódico.

Pérez-Sicairos et al., (2011), estudió la remoción de turbidez en aguas de tres fuentes río Tamazula, efluente de la planta Degremont y estanque del Jardín Botánico en Culiacán - Sinaloa, mediante electrocoagulación. Diseñaron dos reactores electroquímicos: uno de placas paralelas y otro de flujo continuo, ambos con ánodo de aluminio perforado y cátodo de malla de hierro. Las variables analizadas incluyen corriente aplicada y concentración de electrolito en el reactor de placas paralelas, y gasto volumétrico en el de flujo continuo. Demostraron la viabilidad de eliminar la turbidez del río Tamazula, cumpliendo las normas oficiales mexicanas bajo las condiciones evaluadas. Concluyeron que la electrocoagulación posee alto potencial para tratar las tres fuentes de agua en remoción de turbidez.

González-Flores et al., (2017), evaluó, en condiciones de invernadero (120 días), el impacto de dosis crecientes de biosólidos en maíz, suelo y metales pesados en la zona sur de Puebla. Emplearon un diseño completamente al azar con seis tratamientos (T1-T5: dosis variables; TC: control) y cuatro repeticiones. No hallaron diferencias estadísticas en variables vegetativas entre tratamientos. Las propiedades químicas del suelo mejoraron significativamente con dosis altas, resultando adecuadas. Los contenidos de metales pesados en raíz, tallo y hojas fueron apropiados, sin riesgo de toxicidad por plomo. Concluyeron que lodos secos y compostados son viables como bioabono a bajas tasas, promoviendo una gestión sostenible de residuos sólidos.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Cahuantico, (2019), evaluó la eficiencia del proceso de electrocoagulación y coagulación química para remover altas turbiedades en aguas superficiales, el estudio se llevó a cabo en un reactor de electrocoagulación, utilizando como muestra agua clara del río Rímac. Los resultados mostraron que, con electrocoagulación, logró reducir la turbidez a valores entre 10 y 20 UNT, aunque con tiempos de tratamiento variables, por otro lado, al aplicar el proceso tradicional de coagulación química con sulfato de aluminio tipo B, se obtuvieron resultados más típicos de este método, alcanzando turbiedades finales mucho más bajas, entre 1,16 y 2,10 UNT.

Galindo, (2018), llevó a cabo ensayos de tratamiento de agua mediante el coagulante sulfato de aluminio granulado Tipo B, con el objetivo de determinar las dosis óptimas para la remoción de turbidez y color en muestras recolectadas durante un período específico, a cubrir rangos amplios de estos parámetros. La metodología consistió en la prueba de jarra, considerando el Decreto Supremo N° 031-2010-SA, asegurando que otros parámetros no excedan los Límites Máximos Permisibles (LMP). Demostraron una remoción óptima de parámetros fisicoquímicos, en cumplimiento de la normatividad peruana vigente. En época de avenidas (enero-abril), las dosis óptimas oscilaron entre 29 y 34 mg/L, con un promedio de 31,5 mg/L; en estiaje, entre 24 y 29 mg/L, con promedio de 26,5 mg/L. La aplicación de estas dosis garantiza que el agua tratada cumpla con los LMP de turbidez (5 NTU) y color (15 UCV), conforme al DS N° 031-2010-SA.

Pérez, (2015), consideró la dosificación óptima de sulfato de aluminio como coagulante para el tratamiento de agua potable del río Shullcas. Realizó pruebas de jarras durante cuatro meses, evaluando parámetros fisicoquímicos como turbiedad, color, pH y

conductividad en rangos de rango de 8,2 UNT a 894,2 UNT; de color de 13 UPC a 112 UPC; pH de 7,99 a 8,42 y conductividad de 213,52 uS/cm a 394,84 uS/cm. El sulfato de aluminio demostró ser altamente efectivo, logrando remociones promedio de 96,55% de turbiedad. La dosificación mínima óptima fue de 24 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3$ , logrando 85,05% de remoción de turbiedad, mientras que la dosificación máxima óptima fue de 60 mg/L, alcanzando 99,61% de remoción.

Arroyo & Ramos, (2023), aplicó el proceso de electrocoagulación para la remoción de contaminantes en la laguna Patarcocha, ubicada en Cerro de Pasco. Como resultado del tratamiento, la turbidez se redujo a 12.81 NTU, lo que representó una remoción del 71.96%. Las mejores condiciones operativas encontradas para lograr esta eficiencia fueron: 50 minutos (tiempo de tratamiento) y 60 A/m<sup>2</sup> (densidad de corriente).

Huaman & Muñoz, (2019), estudió la influencia del tiempo de tratamiento y la densidad de corriente en la remoción de turbidez mediante el proceso de electrocoagulación. Los resultados fueron validados mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, el cual confirmó que, las condiciones óptimas que alcanzó en el tratamiento, fueron con un tiempo de 60 minutos y a una densidad de corriente de 20,90 mA/cm<sup>2</sup>, logrando una eficiencia de remoción de turbidez del 99,35%.

Aguilar Villanueva & Bazan Moya, (2018), evaluaron el efecto de la intensidad de corriente eléctrica y el tiempo de tratamiento en la reducción de turbidez mediante el proceso de electrocoagulación, para ello, utilizaron intensidades de corriente de 1, 2, 4 y 5 amperios (A) y tiempos de tratamiento de: 15 min, 30 min y 60 minutos. Los resultados experimentales que demostraron fueron que, con un promedio del 76%, logró la mayor reducción de turbidez, aplicando una intensidad de 4 amperios durante 60 minutos.

Ramón, (2020), determinó que la aplicación del proceso de electrocoagulación es una alternativa eficaz para la remoción de sólidos suspendidos totales en el distrito de San Pedro de Saño, Huancayo (2020). Los mejores resultados obtuvieron al aplicar una corriente eléctrica de 3 amperios durante 20 minutos, logrando una eficiencia de remoción del 89,43%. en contraste, con una menor intensidad de corriente de 2 amperios y un tiempo de contacto de 10 minutos, la capacidad de remoción fue significativamente menor. En general, el proceso mostró una alta eficiencia, con valores superiores al 80% en la mayoría de las condiciones evaluadas.

Apaza & Quirita, (2020), evaluó la viabilidad del biosólido proveniente de la PTAR La Escalerilla como abono en plantones de Mioporo (*Myoporum laetum*), analizando sus propiedades fisicoquímicas mediante análisis de laboratorio. El ensayo incluyó cuatro tratamientos (M1: 100% tierra agrícola; M2: 70% tierra + 30% biosólido; M3: 50% tierra + 50% biosólido; M4: 30% tierra + 70% biosólido) con cinco repeticiones cada uno, realizadas en noviembre de 2019 bajo condiciones controladas de riego semanal y temperatura de 21°C. Evaluaron variables vegetativas (altura de planta, número de hojas y número de ramificaciones) mediante registros semanales durante ocho semanas, cuyos datos fueron procesados mediante medios aritméticos. Los resultados demostraron que el tratamiento M2 presentó el mejor desempeño en las tres variables evaluadas, mientras que M3 y M4 mostraron mayor acumulación de metales totales respecto a M1. Concluye que la combinación óptima de tierra agrícola con biosólido (70%-30%) favorece el crecimiento vegetativo de plantones de Mioporo y permite el aprovechamiento nutrimental del biosólido.

Francisco et al., (2011), realizó ensayos preliminares en invernadero y macetas para evaluar el aprovechamiento agrícola de lodo de la PTAR Puente Piedra (Lima, Perú), mediante fertilización en diferentes dosis. Aplicó un diseño completamente al azar (DCA), análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) a variables agronómicas de maíz (*Zea mays* L.), para el análisis de variables agronómicas de la plántula, altura, grosor del tallo y materia seca. En el ensayo 1 usaron lodo seco (0-10%) mezclado con arena lavada; el ensayo 2, lodo compostado (0-100%), ambos con control NPK (300-400-200 ppm). Los resultados mostraron diferencias altamente significativas en variables a dosis altas de lodo seco o compostado. Sin embargo, observaron pérdida significativa en emergencia de plántulas, atribuida a salinidad elevada y lenta mineralización del lodo. El estudio concluye que los lodos secos y compostados son viables a bajas dosis para producir bioabono sostenible.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Ticona, (2023), evaluó las amenazas, vulnerabilidad y el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua del distrito de Azángaro, aplicando normativas nacionales y los Límites Máximos Permisibles (LMP). Caracterizó 12 parámetros fisicoquímicos, y 2 microbiológicos en tres puntos de muestreo: (M1) Pre-captación, (M2) captación y (M3) potabilización. Los resultados evidenciaron vulnerabilidades bajas, medias y altas,

asociadas principalmente a la turbidez generada por erosión y actividades antrópicas. El IRCA sanitario indicó riesgos altos en M1 (58,04%) y M2 (52,76%), y riesgo medio en M3 (34,42%), siendo el agua no apta para consumo en los dos primeros puntos. Por tanto, concluyó que se requiere un tratamiento físico-químico y microbiológico para cumplir con los estándares del LMP antes de su distribución a la población de Azángaro.

Yana, (2017a), determinó la calidad fisicoquímica del agua, obteniendo los valores de pH (7.64 - 7.86), conductividad eléctrica (1074.20 - 1208.43  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sólidos disueltos totales (272.75 - 284.04 mg/L), donde los resultados se mantuvieron dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) según la normativa vigente.

Cornejo & Pacheco, (2014), evaluó la contaminación de aguas en la cuenca del río Ramis, en el marco de un estudio de caracterización ambiental, seleccionó 13 puntos de muestreo distribuidos en tres subcuencas: Azángaro (6), Ayaviri (4) y Ramis (3). El monitoreo realizó en cuatro épocas del año, a fin de evaluar la variabilidad estacional de los parámetros fisicoquímicos. Colectaron muestras de agua y sedimento, realizando mediciones in situ de pH, temperatura y conductividad eléctrica. Los resultados revelaron concentraciones superiores a los Estándares de Calidad Ambiental para agua, que generan aportes significativos de sólidos en suspensión y contaminantes en los sedimentos superficiales de la cuenca.

Cancapa, (2019), evaluó la eficiencia del proceso de electrocoagulación para la reducción de contaminantes en condiciones altoandinas, específicamente en la ciudad de Juliaca (Puno). Los resultados mostraron variaciones en la eficiencia de remoción según el voltaje aplicado, en particular, para el voltaje 10, se observó una reducción significativa de la turbiedad, disminuyendo de 379 UNT a 70 UNT. Estos resultados evidenciaron que la electrocoagulación es un método eficaz para la remoción de contaminantes en aguas sometidas a condiciones geográficas de altura.

Velasquez & Zúñiga, (2023), evaluó la efectividad del proceso de electrocoagulación para la remoción de contaminantes en las aguas del río Chacapalca, ubicado en el distrito de Ocuvi, Puno. Los resultados demostraron una notable reducción de la turbidez al ajustar el pH del agua. En la muestra PMS1, la turbidez disminuyó de 234 NTU a 0,60 NTU al incrementar el pH de: 3,8 a 7,61. De manera similar, en la muestra PMS2, la turbidez se redujo de 196 NTU a 0,50 NTU al elevar el pH de 3,91 a 6,99, estos resultados confirman que la electrocoagulación, combinada con un ajuste

adecuado del pH, es altamente efectiva para mejorar la calidad del agua en esta zona. Además, la conductividad eléctrica, y los TDS, disminuyeron sus niveles hasta por debajo de los ECA del agua en la categoría 3.

Apaza, (2024), evaluó la eficiencia del proceso de electrocoagulación en el tratamiento de las aguas del río Torococha, obteniéndose niveles de remoción de hasta 65,93% para sólidos disueltos totales y 69,87% para turbidez, el análisis estadístico mostró diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos ( $p < 0,05$ ), lo que confirma la efectividad del tratamiento. El experimento demostró que el uso de celdas de electrocoagulación son una alternativa eficiente para la remoción de contaminantes fisicoquímicos en cuerpos de agua.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Agua**

El agua es un recurso hídrico esencialmente importante para la sostenibilidad de la vida y la biodiversidad en este planeta (Chavarría et al., 2024). Asimismo, el agua es una necesidad fundamental de la humanidad (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2023), ya que es un recurso natural crucial para la humanidad y es por ello que nuestros ríos, lagos, aguas subterráneas y aguas costeras deben ser utilizadas de forma sustentable, pensando siempre en las nuevas generaciones (Araque, 2022).

El agua juega un papel vital en la supervivencia de la vida en la Tierra (Paca et al., 2019), ya que el 70 % de nuestro planeta es agua (Araque, 2022), este elemento vital es un bien indispensable para la sociedad (Lara et al., 2023) y esencial para la vida, y todas las personas deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, seguro y accesible) (Organización Mundial de la Salud, 2018).

El agua es un recurso esencial tanto para el consumo humano como para diversas actividades productivas, incluyendo la industria, la minería, el sector agropecuario y el turismo, entre otros (Enrique, 2019). Además, numerosos sectores económicos, como la agricultura, la ganadería, la pesca y diversas industrias, requieren de los recursos hídricos (Paca et al., 2019).

En las últimas décadas, se ha resaltado la importancia de su consumo y manejo responsable (Lara et al., 2023). A medida que las economías avanzan en su industrialización, las poblaciones se urbanizan y los sistemas de suministro de agua y

saneamiento se extienden (UNESCO, 2024), tal como el aumento demográfico, la expansión de las ciudades y el crecimiento de sus ingresos (Lara et al., 2023), donde la tarifa asignada al consumo humano es más baja debido al impacto socioeconómico (Enrique, 2019).

Se considera que el agua está contaminada cuando experimenta alteraciones que perjudican su uso real o potencial (Perozo & Abreu, 2017). La gestión deficiente de la calidad del agua pone en riesgo la salud pública. Dado que las características y el comportamiento del agua cambian con el tiempo y el espacio, es necesario realizar un monitoreo continuo (W. Gonzales et al., 2023). Para determinar si un agua es apta para un propósito específico, es necesario definir su calidad en función del uso que se le va dar (Perozo & Abreu, 2017).

El agua es un recurso fundamental para mantener la vida y la biodiversidad en el planeta, siendo clave para su sostenibilidad (Chavarría et al., 2024). El consumo de agua dulce ha crecido a una tasa cercana al 1% anual, impulsado por factores como el desarrollo socioeconómico y las variaciones en los hábitos (UNESCO, 2024), es difícil encontrar agua pura en la naturaleza, especialmente cuando se busca garantizar una calidad adecuada para el consumo humano (Chavarría et al., 2024).

### **2.2.2. Calidad de agua**

El concepto de calidad del agua es relativo y solo cobra relevancia universal cuando se vincula con el propósito de su uso (Perozo & Abreu, 2017). Además, posee una importancia ecológica fundamental para el bienestar, la sostenibilidad y el desarrollo económico (Villena, 2018). La disponibilidad y la calidad del agua son necesidades fundamentales para una población (Ramírez, 2021). La calidad del agua se refiere a su estado según sus propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales influyen en su adecuación para un propósito específico (Puente et al., 2023). Uno de los mayores desafíos que deberán enfrentar las sociedades es asegurar la calidad del agua (ANA, 2020).

La calidad del agua en Latinoamérica es fundamental debido a su impacto en diversas áreas, como el consumo humano, la agricultura, la industria y la conservación del ecosistema (Franco et al., 2023). En Perú, el crecimiento de la población y las actividades económicas desarrolladas en las cuencas hidrográficas han generado un impacto negativo en los recursos hídricos (Cerna-Cueva et al., 2022), y la disminución de

la calidad del agua conlleva consecuencias ambientales, sociales y económicas significativas (ANA, 2020). Como resultado de esta contaminación, el agua pierde su calidad, lo que impide su uso adecuado para distintos fines (Cerna-Cueva et al., 2022).

El agua es un recurso indispensable para la vida en nuestro planeta, ya que es esencial para la supervivencia tanto de los seres humanos como de los animales (Araque, 2022). A nivel mundial, la disponibilidad de este recurso hídrico se encuentra en constante disminución (ANA, 2020); El rápido crecimiento poblacional, el aumento de la producción agrícola y la expansión de la industrialización han generado una demanda cada vez mayor de agua dulce a nivel global (Márquez-Pacheco et al., 2023), asimismo, la contaminación del agua se ha intensificado debido al vertimiento de grandes volúmenes de aguas residuales sin tratamiento o con un tratamiento inadecuado en ríos, lagos, acuíferos y zonas costeras, lo que agrava aún más la crisis hídrica (ANA, 2020).

### **2.2.3. Calidad de agua para consumo humano**

La calidad del agua destinada al consumo humano es un aspecto fundamental de la salud pública (Espigares & Espínola, 2020), este recurso es necesario para diversas actividades domésticas, incluyendo el consumo directo, la preparación de alimentos y la higiene personal (Espigares & Espínola, 2020; Organización Mundial de la Salud, 2018). Garantizar un mejor acceso a agua segura puede generar beneficios significativos para la salud, por lo que es crucial realizar todos los esfuerzos posibles para asegurar que el agua de consumo humano sea lo más posible segura (Organización Mundial de la Salud, 2018).

El agua es un elemento esencial para la vida en la Tierra, por lo que cada persona debe contar con acceso suficiente, seguro y asequible a este recurso, lo que contribuye a la salud del ser humano (Dueñas & Hinojosa, 2021). Sin embargo, la contaminación del agua debido a la presencia de sustancias químicas y residuos de origen doméstico o industrial impacta negativamente en los ecosistemas (García-Ubaque et al., 2018). Por ello, es fundamental llevar a cabo un tratamiento adecuado del agua destinada al consumo humano, ya que constituye un pilar clave de la salud pública y ayuda a prevenir enfermedades infecciosas, especialmente aquellas de tipo digestivo y respiratorio causadas por parásitos presentes en el agua (García-Ubaque et al., 2018). Además, el agua potable debe ser incolora, insípida, transparente y libre de partículas en suspensión (Rivera-Contreras, 2018).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecieron la necesidad de garantizar el acceso universal, equitativo y un costo accesible al agua potable para toda la población (Organización Mundial de la Salud, 2019); dado su impacto socioeconómico, las tarifas aplicadas al consumo humano suelen ser más bajas (Enrique, 2019). El acceso a agua limpia y saneamiento, junto con la promoción de la salud y el bienestar, forman parte de los objetivos de desarrollo sostenible, los cuales buscan asegurar una vida saludable (Cusihuamán Ortiz et al., 2023). En la naturaleza, el agua apta para el consumo humano es limitada, por lo que su tratamiento mediante métodos convencionales y tecnologías especializadas es fundamental para garantizar su calidad (Chavarría et al., 2024).

#### **2.2.4. Agua potable**

Según los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), el agua destinada al consumo humano abarca su uso para beber, cocinar y realizar actividades de higiene personal (Organización Panamericana de la Salud, 2020). El agua potable es una necesidad fundamental para la supervivencia humana, ya que permite la hidratación, el saneamiento y la higiene, contribuyendo al bienestar y la salud (World Health Organization, 2022). Garantizar el acceso a servicios seguros y adecuados de agua potable es una de las estrategias más eficaces para mejorar la salud pública y reducir la pobreza, donde los pequeños sistemas de abastecimiento de agua cumplen con un papel clave en la cobertura de esta demanda (World Health Organization, 2024)

La Ley Orgánica de Municipalidades 27972 establece que las municipalidades distritales tienen la responsabilidad de gestionar y regular el servicio de agua potable, garantizando su tratamiento y descontaminación cuando cuenten con la capacidad para hacerlo. Asimismo, aquellas ubicadas en zonas rurales deben fomentar una gestión sostenible de sus recursos (García-Ubaque et al., 2018). El acceso al agua potable en las comunidades se ha convertido en un desafío creciente, no debido a la falta de tecnologías, sino principalmente por la presencia de diversos contaminantes en los recursos hídricos. Estos incluyen tanto contaminantes tradicionales, como color, turbidez, metales, nutrientes y materia orgánica natural (NOM), como contaminantes emergentes, entre ellos productos farmacéuticos y sustancias químicas industriales (Kumari & Kumar, 2022).

A nivel mundial, se registran aproximadamente 1.700 millones de casos de enfermedades diarreicas en niños cada año (Espigares & Espínola, 2020), lo que indica que los recursos hídricos no son aptos para el consumo humano sin un tratamiento adecuado (Kumari & Kumar, 2022). Para garantizar su potabilidad, el agua debe ser analizada considerando distintos factores físicos, así como parámetros químicos y microbiológicos (Paca et al., 2019), con el fin de asegurar que su consumo no represente un peligro para la salud (Rivera-Contreras, 2018). El acceso a agua potable, junto con sistemas de saneamiento e higiene adecuados, es esencial para reducir la incidencia de enfermedades diarreicas (Espigares & Espínola, 2020). Además, el agua destinada al consumo humano debe mantenerse libre de riesgos sanitarios a lo largo de toda la vida (Puente et al., 2023).

### **2.2.5. Tecnologías para el tratamiento de agua potable**

#### **a. Ósmosis inversa (OI)**

La ósmosis inversa (OI) es un proceso de separación por membrana que utiliza presión hidráulica para eliminar sólidos disueltos, materia orgánica e iones presentes en el agua, generando un flujo de agua purificada apta para el consumo humano o usos agrícolas (Aziz et al., 2024). Durante este proceso, el agua fluye a través de una membrana semipermeable desde la solución más concentrada hacia la más diluida, contrarrestando el gradiente osmótico, lo que permite que los contaminantes emergentes queden retenidos en la corriente concentrada y el permeado sea agua potable (Ortega & Sánchez, 2021). Gracias a su naturaleza densa y no porosa, las membranas de ósmosis inversa retienen tanto macromoléculas orgánicas como contaminantes de bajo peso molecular, mostrando eficiencias similares o superiores a la nanofiltración (García-Ávila et al., 2025). Aunque el proceso requiere un consumo energético elevado y costos operativos más altos en comparación con otras tecnologías de membrana, se mantiene como una de las alternativas más eficaces para la eliminación de metales pesados e iones disueltos, alcanzando tasas de remoción superiores al 99 % (Castro & Abejón, 2024).

#### **b. Ultrafiltración (UF)**

La ultrafiltración es una tecnología de separación por membranas semipermeables que permite concentrar y purificar soluciones, ubicándose tecnológicamente entre la microfiltración y la nanofiltración. Su aplicación en el tratamiento de agua potable permite la remoción eficiente de partículas suspendidas, coloides y microorganismos

patógenos como bacterias, virus, *Giardia* y *Cryptosporidium*, garantizando una calidad de agua más estable y segura (Aziz et al., 2024). Posterior al tratamiento, las membranas requieren procesos periódicos de limpieza mediante enjuagues con agua caliente, soluciones ácido-base y detergentes para mantener su eficiencia (Castro & Abejón, 2024).

### **c. Nanofiltración**

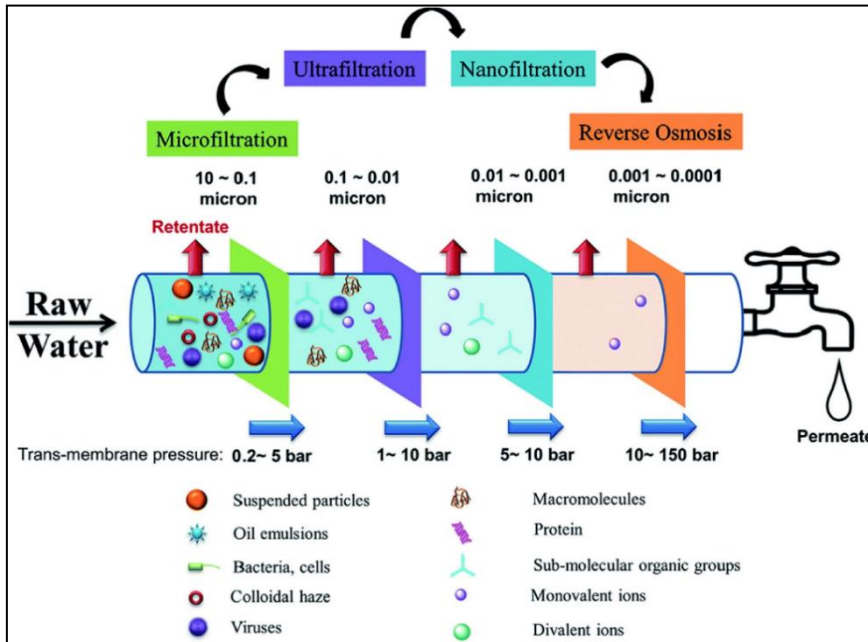
La nanofiltración (NF) es una tecnología de separación por membranas que opera a escala nanométrica, con poros que varían entre 1 y 10 nanómetros, permitiendo la separación selectiva de solutos mediante mecanismos de exclusión por tamaño molecular y repulsión electrostática (Castro & Abejón, 2024; Namla et al., 2025). Esta tecnología se ha consolidado como una solución eficaz para el tratamiento de aguas contaminadas, logrando eficiencias de eliminación del 80 al 99 % en la retención de metales pesados como plomo, cadmio y cobre (Castro & Abejón, 2024), así como en la reducción de compuestos orgánicos (García-Ávila et al., 2025). En conjunto, la nanofiltración constituye una alternativa eficiente y sostenible para el tratamiento avanzado de aguas residuales, garantizando el cumplimiento de los estándares ambientales vigentes y mitigando los impactos negativos sobre los ecosistemas acuáticos y la salud humana (Namla et al., 2025).

### **d. Microfiltración (MF)**

La microfiltración (MF) es una tecnología de separación por membranas que permite la remoción eficiente de materia coloidal y partículas suspendidas presentes en el agua, funcionando bajo un mecanismo de tamizado que retiene sólidos según el tamaño de sus poros. Estas membranas, generalmente de estructura porosa simétrica, poseen tamaños de poro que oscilan entre 0,05 y 10  $\mu\text{m}$  y operan bajo presiones de 0,5 a 3 bar (García-Ávila et al., 2025; Ortega & Sánchez, 2021). La microfiltración es eficaz para reducir turbidez y eliminar hasta un 40 % de la materia orgánica, particularmente en aguas de origen subterráneo o manantial con alta carga mineral (Aziz et al., 2024).

**Figura 1.**

*Tecnologías de tratamiento de agua*



Fuente: Namla et al., (2025).

### 2.2.6. Coagulación química

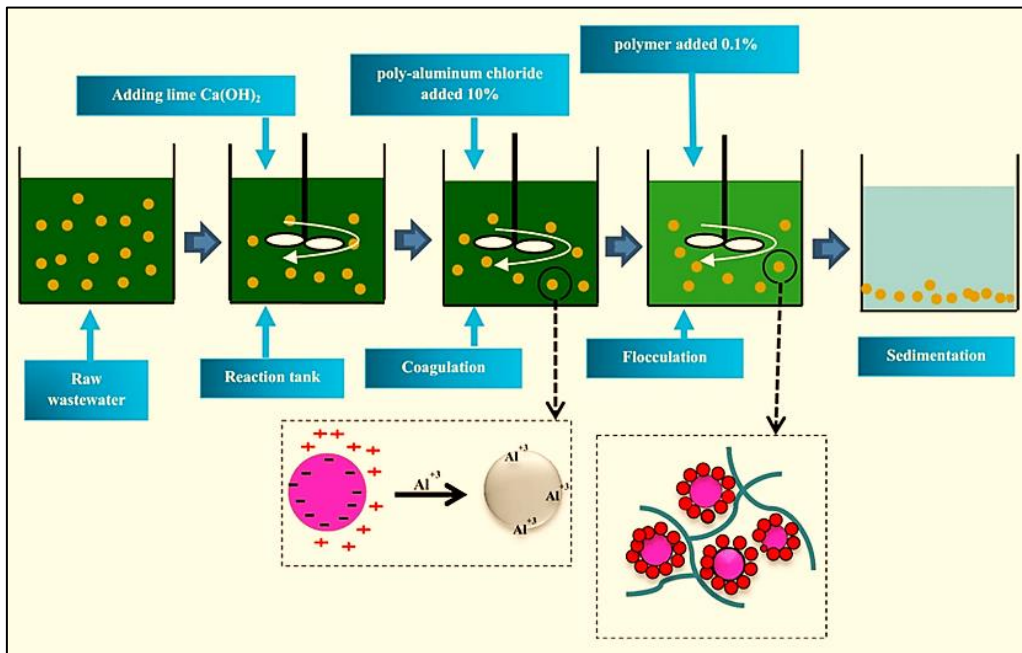
La coagulación es un proceso en el que un sistema cambia de un estado estable a uno desestabilizado (Arenas, 2019). También se describe como el mecanismo mediante el cual las partículas en suspensión se agrupan formando flóculos, los cuales tienen un peso específico mayor al del agua llamadas flóculos (García & Zevallos, 2021). El tratamiento por coagulación es una técnica de separación ampliamente empleada en diversas industrias como etapa previa en la eliminación de materia orgánica antes de otros procesos de tratamiento (Jiménez-Jumbo et al., 2024).

### 2.2.7. Proceso de la coagulación química

La coagulación es un proceso que implica la incorporación de sustancias químicas al agua (García & Zevallos, 2021), con el propósito de modificar y desestabilizar la superficie de las partículas coloidales (Andia et al., 2021) mediante la adición de un coagulante (Neira, 2024); este procedimiento favorece la adhesión de las partículas entre sí, formando estructuras de mayor tamaño que facilitan su sedimentación acelerada (Acuña & Pujaico, 2019).

**Figura 2.**

*Diagrama esquemático experimental de la coagulación química*



Fuente: Mensah-Akutteh et al., (2022)

### 2.2.8. Función de la coagulación química

La coagulación acondiciona el agua para el proceso de sedimentación, mejorando significativamente la eficiencia de los sedimentadores. Su principal función es desestabilizar, agrupar y cohesionar las sustancias coloidales presentes en el agua (García & Zevallos, 2021). Los flóculos generados durante este proceso son eliminados mediante sedimentación y filtración (Neira, 2024), sin embargo, las partículas coloidales son tan diminutas que no logran sedimentarse en un tiempo razonable y tampoco pueden ser removidas de manera efectiva mediante filtración (Acuña & Pujaico, 2019).

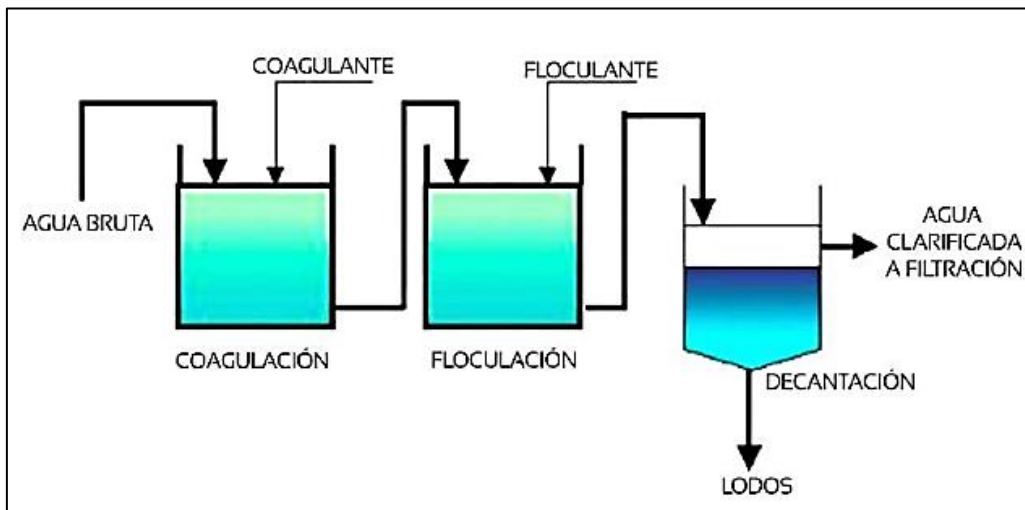
Los coagulantes son sustancias que facilitan el proceso de precipitación (Acuña & Pujaico, 2019), no obstante, es fundamental analizar el tipo de coagulante adecuado, determinar la dosis óptima y evaluar el costo del tratamiento asociado con los diferentes coagulantes utilizados comercialmente en el tratamiento de aguas provenientes de fuentes naturales o procesadas (Jiménez-Jumbo et al., 2024). Asimismo, estos agentes son empleados tanto en el tratamiento de aguas residuales industriales como en el tratamiento de agua doméstico (Nolasco, 2020).

### 2.2.9. Beneficios de la coagulación química

Los coagulantes químicos son compuestos de origen natural o sintético que se incorporan al agua para reducir la carga orgánica, inorgánica y biológica, facilitando la formación de partículas insolubles que se precipitan y ayudan a eliminar el olor, color y turbidez del agua (Pastrana-Pacho et al., 2023). Asimismo, estos coagulantes permiten la eliminación de bacterias, algas, organismos planctónicos, fosfatos y sustancias responsables de olores y sabores indeseables (García & Zevallos, 2021). También se emplea para la remoción de metales pesados, aceites, grasas y otros contaminantes presentes en el agrícola (Nolasco, 2020).

**Figura 3.**

*Proceso de coagulación y floculación*



Fuente: Ruiz, (2022)

### 2.2.10. Factores que influyen en el proceso de coagulación

Los principales factores que influyen de manera significativa en el proceso de coagulación-floculación de aguas superficiales son la dosis adecuada, pH, temperatura, concentración óptima del coagulante y la calidad del agua tratada. De este modo, cuando el agua contiene una concentración elevada de coloides, los procesos de purificación resultan más accesibles y eficientes, permitiendo eliminar estas partículas de forma más directa. Por el contrario, el agua con bajos niveles de coloides presenta mayores desafíos técnicos, requiriendo métodos más atractivos y especializados para lograr la calidad deseada. (Cahuantico, 2019).

**a. Tipo y cantidad de coagulante:**

Si bien existe una conexión entre la turbidez del agua cruda y la cantidad de coagulante, es necesario establecer la dosis precisa a través de pruebas de jarras para prevenir sobredosificaciones que puedan afectar la adsorción superficial (Ruiz, 2022).

**b. pH del agua:**

Cada coagulante tiene un rango de pH específico en el que se logra una floculación efectiva en poco tiempo y con una dosis determinada. Siempre que sea factible, se debe trabajar dentro de ese rango para maximizar la calidad de los productos y los rendimientos (Ruiz, 2022).

**c. Tiempo de mezcla y floculación (periodo de coagulación):**

Es el período que transcurre desde que se añade el coagulante hasta que se detiene la agitación a una velocidad que evite la sedimentación de los materiales floculados (Ruiz, 2022).

**d. Temperatura del agua:**

La temperatura afecta el tiempo necesario para lograr una adecuada formación de coágulos; a temperaturas más bajas, se necesita más tiempo (Ruiz, 2022).

**e. Sulfato de aluminio:**

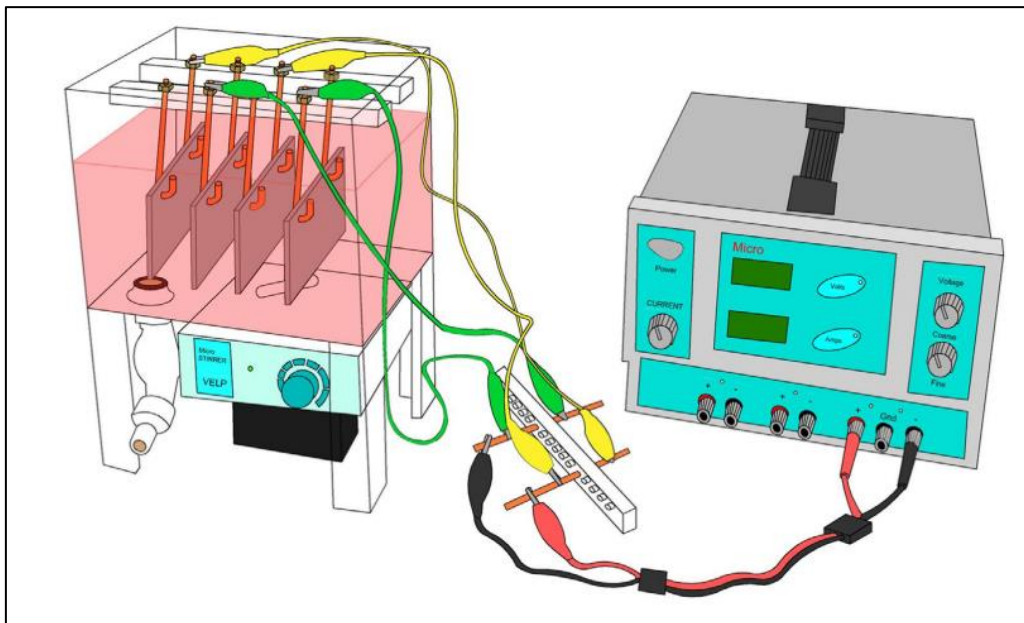
El sulfato de aluminio es un coagulante usado en tratamientos de aguas. Este producto comercial tiene usualmente la fórmula  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  (Galindo, 2018), como coagulante es más efectivo en un medio de pH de 4.4 – 6. Pero se usa para purificación en rangos de pH hasta de 9 (Cahuana & Meza, 2022). La formación óptima de flóculos ocurre en un intervalo de pH entre 6.0 y 8.0 (Molina et al., 2016), al agregar el sulfato de aluminio se logra la sedimentación, del pH, color y turbiedad del agua tratada (Morales et al., 2020).

### 2.2.11. Electrocoagulación

La electrocoagulación es un método empleado para eliminar contaminantes del agua mediante la aplicación de corriente eléctrica, la cual permite neutralizar las partículas con carga negativa y favorecer la formación de complejos de hidróxido que facilitan la remoción de los sólidos suspendidos (Neira, 2024). La electroquímica, como tecnología, ha experimentado un rápido desarrollo en las últimas décadas, logrando múltiples aplicaciones en la industria y ofreciendo alternativas competitivas frente a otros procesos (Ayuque-Rojas et al., 2022), debido a sus ventajas, este método de tratamiento ha cobrado mayor relevancia y se ha consolidado como una opción viable en los últimos años (Perozo & Abreu, 2017).

**Figura 4.**

*Sistema de tratamiento electroquímico*



Fuente: Taheri, (2022)

La electrocoagulación es una tecnología que suele considerarse ambientalmente favorable (Perozo & Abreu, 2017), además, constituye una tecnología innovadora que se perfila como una alternativa viable para el tratamiento de aguas (Cristancho et al., 2019), este método combina los principios de coagulación y floculación, permitiendo la reutilización del agua tratada (Rodríguez Díaz et al., 2021). Su funcionamiento se basa en la generación in situ de reactivos a través de una celda electrolítica (Chacon & Huampotupa, 2021).

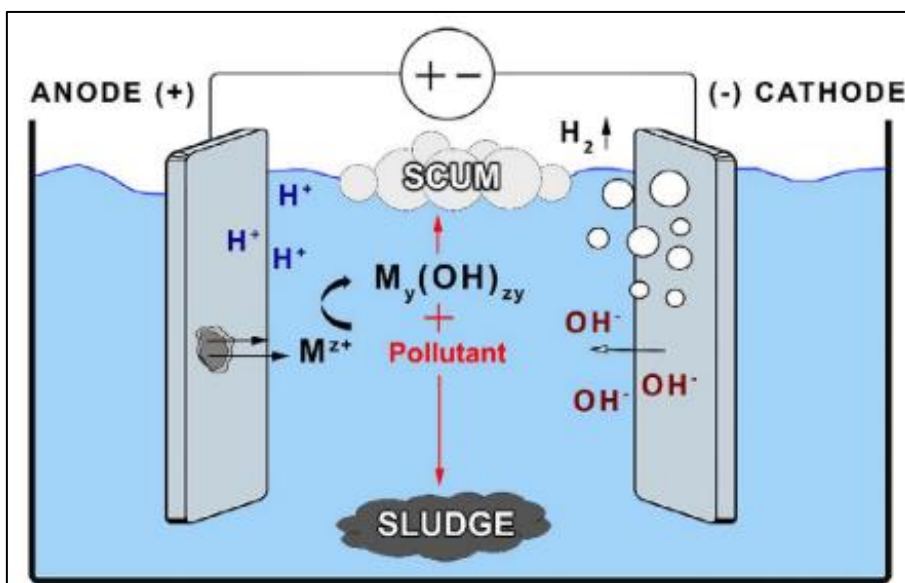
### 2.2.12. Uso de electrodos para el proceso de electrocoagulación

La electrocoagulación posibilita la disminución de partículas contaminantes dentro de la celda mediante la aplicación de corriente eléctrica a través de electrodos (Acuña & Pujaco, 2019). Este proceso emplea diversos tipos de ánodos y cátodos con distintas geometrías, generalmente fabricados de hierro o aluminio, por donde circula la corriente eléctrica, permitiendo que estos reaccionen con el medio de manera similar a un proceso de corrosión (Cristancho et al., 2019).

En los procesos electrolíticos, la generación del coagulante ocurre a través de reacciones de óxido-reducción entre los electrodos y el medio acuoso, impulsadas por la corriente eléctrica (Ayuque-Rojas et al., 2022), los electrodos de hierro o aluminio son los más empleados en la oxidación de los ánodos de sacrificio, permitiendo la formación in situ del coagulante (Velasquez & Zúñiga, 2023).

**Figura 5.**

*Diagrama esquemático del proceso de electrocoagulación (EC)*



Fuente: Ingelsson et al., (2020)

### 2.2.13. Ventajas de la electrocoagulación

Las principales ventajas de la electrocoagulación (EC) en comparación con la coagulación química incluyen el uso de equipos sencillos, facilidad de operación y mayor flexibilidad en su aplicación (Perozo & Abreu, 2017), asimismo, este proceso permite reducir el tiempo de tratamiento, disminuir la generación de lodos y, en consecuencia, reducir los costos asociados a su purificación (Oviedo et al., 2023). Además, ofrece una

mayor eficiencia termodinámica, así como una mejor selectividad y viceversa (Perozo & Abreu, 2017).

La electrocoagulación representa una alternativa viable a la coagulación química (Ayuque-Rojas et al., 2022), pues se ha informado que este proceso es más eficiente que la coagulación química en el tratamiento del agua potable (Ninan & Zambrano, 2019). Por ello, se considera un proceso electroquímico con alto potencial de éxito, siempre que se optimizan sus factores clave, contribuyendo así a la protección, conservación y recuperación de los recursos hídricos (Perozo & Abreu, 2017).

La eliminación de metales ocurre mediante el uso de ánodos convencionales como aluminio, hierro y cobre (Lozada et al., 2021). Además, este proceso se emplea en la síntesis de diversos compuestos orgánicos e inorgánicos, la recuperación de suelos contaminados, la desalación de soluciones y la regeneración de oxidantes, reductores, bases y ácidos, destacando por su eficiencia económica y versatilidad (Perozo & Abreu, 2017), a través de este mecanismo, se logra la desestabilización de contaminantes suspendidos o disueltos en un medio acuoso mediante la aplicación de corriente eléctrica (Cristancho et al., 2019).

#### **2.2.14. Factores que afectan la electrocoagulación**

Son varios los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación y algunos de estos factores influyen más en la efectividad del proceso (Limaymanta, 2023)

##### **a. pH**

El pH influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido (Limaymanta, 2023), además influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido (Araujo et al., 2021). Se puede alcanzar una buena eficiencia de remoción de contaminantes si bajamos el pH y la corriente eléctrica (Cahuantico, 2019), pero por lo general un pH óptimo para el proceso de electrocoagulación se da para valores cercanos a la neutralidad (Neira, 2024). La eficiencia de la electrocoagulación depende del tipo de contaminante, sin embargo, se ha identificado que existen buenos niveles de remoción, utilizando pH, cercanos a 7 (Aviles & Portilla, 2021).

### **b. Densidad de corriente eléctrica:**

Dentro del proceso de electrocoagulación, la variable eléctrica representa uno de los factores clave que afectan significativamente la eficiencia en la eliminación de contaminantes (Limaymanta, 2023), ya que regula tanto la velocidad de formación de flóculos como la remoción de dichos contaminantes (Das & Nandi, 2021). El suministro de corriente al sistema determina la cantidad de iones metálicos, como  $Al^{3+}$  o  $Fe^{2+}$ , liberados por los electrodos correspondientes (Ayuque-Rojas et al., 2022). Por ello, existe una relación directa entre la densidad de corriente aplicada y la concentración de iones metálicos disueltos (Neira, 2024). Sin embargo, aplicar una densidad de corriente excesiva puede reducir notablemente la eficiencia del proceso (Ayuque-Rojas et al., 2022). En consecuencia, la selección de una densidad de corriente adecuada debe considerar otras variables operativas como el pH y la temperatura (Aviles & Portilla, 2021).

### **c. Tiempo:**

Este parámetro hace referencia al tiempo durante el cual los electrodos permanecen en contacto con el agua o la solución a tratar. Durante este intervalo, una fuente de energía suministra corriente eléctrica a los electrodos, lo que facilita la formación de flóculos y la posterior precipitación de sólidos en suspensión (Arroyo & Ramos, 2023). Un mayor tiempo de reacción implica un incremento en el flujo de carga, lo que favorece el proceso de electrólisis dentro del reactor (Neira, 2024). Al aumentar este tiempo, se incrementa la concentración de iones de hierro o aluminio, así como la formación de flóculos de hidróxidos y la generación de burbujas (Aviles & Portilla, 2021). No obstante, prolongar excesivamente este proceso conlleva un mayor consumo energético, lo cual puede elevar los costos operativos y afectar la viabilidad económica del tratamiento (Neira, 2024).

## **2.2.15. Lodos de coagulación química y electrocoagulación**

Lodo es todo aquel residuo o desecho sólido, semisólido, provenientes de sistemas de tratamiento, de alcantarillado sanitario y plantas potabilizadoras (Escalante, 2021). Se tienen registros de que el lodo que proviene de las plantas de potabilización está constituido principalmente por un 90% de agua, residuos de productos químicos, materia orgánica y residuos del coagulante empleado (Fernández, 2022).

Los lodos de PTAP son considerados residuos y aunque disponerlos en rellenos sanitarios o en cuerpos de agua superficial puede constituir una potencial amenaza para la biota de los ecosistemas por su alto contenido de aluminio o hierro (Torres et al., 2023). Teniendo en cuenta que una adecuada gestión de lodos es fundamental para el correcto funcionamiento de una planta de potabilización y las problemáticas que generan estos residuos en el ambiente (Fernández, 2022).

Las plantas de tratamiento de agua potable contienen sistemas donde se generan una gran cantidad de lodos, como la coagulación, floculación, sedimentación y filtración (Fernández, 2022). Una característica que a su vez es la mayor dificultad del manejo para la disposición y el aprovechamiento de estos lodos, es el alto contenido de humedad, además de la alta resistencia a la deshidratación mecánica (Torres et al., 2023).

Así como los lodos de procesos industriales, agroindustriales o de actividades especiales (Escalante, 2021), es importante tratar estos residuos para evitar consecuencias como la bioacumulación de metales (Fernández, 2022). Estos afectan al medio ambiente por su contenido de materia orgánica, microorganismos y metales pesados (Amador-Díaz et al., 2015). Cuando los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua potable no son tratados, causan un alto impacto en la flora, fauna y potencialmente en los seres humanos (Fernández, 2022).

#### **2.2.16. Aprovechamiento de lodos del proceso de electrocoagulación**

Los lodos generados del proceso de electrocoagulación poseen características benéficas que pueden ser aprovechadas como son el contenido de nutrientes y materia orgánica (De Gante, 2016). Los lodos resultantes son generalmente menos densos y más compactos que los lodos convencionales (Oviedo et al., 2023), lo que permite un menor costo en su tratamiento o disposición final (Aguilar, 2015). La disposición final del lodo dependerá de su peligrosidad, si presenta características peligrosas será llevado a un relleno sanitario, pero si es catalogado como residuo peligroso entonces tendrá que ser dispuesto a celdas de seguridad para ser tratado (Neira, 2024).

#### **2.2.17. Composición y manejo de lodos**

La composición de los lodos de electrocoagulación tiende a ser más simple, con una menor variedad de componentes químicos (Oviedo et al., 2023). Las características físicas de los lodos de la electrocoagulación es que son más estables y retienen menos

agua que los lodos de la coagulación convencional (Neira, 2024). La caracterización de los lodos es la clave para cuantificar las concentraciones de nutrientes para su aplicación en los suelos y de los compuestos dañinos que deben ser eliminados (Amador-Díaz et al., 2015).

Para el adecuado manejo de lodos se debe evaluar la composición química (incluida la concentración de metales pesados), así como el contenido de patógenos y parásitos que posean (Amador-Díaz et al., 2015). En términos de manejo y disposición de los lodos, tanto los lodos convencionales como los lodos de electrocoagulación requieren una gestión adecuada (Oviedo et al., 2023). Esto permite que una vez que han sido tratados, éstos puedan ser aprovechados benéficamente como fertilizantes, mejoradores de suelo, o como cubierta de rellenos sanitarios (De Gante, 2016).

#### **2.2.18. Características de los lodos**

Una característica que a su vez es la mayor dificultad del manejo para la disposición y el aprovechamiento de estos lodos, es el alto contenido de humedad, además de la alta resistencia a la deshidratación mecánica (Torres et al., 2023). Estos pueden ser sometidos a procesos de deshidratación antes de su disposición final, ya sea mediante métodos como la digestión anaerobia, la incineración, el compostaje u otros métodos de tratamiento de lodos (Oviedo et al., 2023), que, dependiendo de su composición, generan impactos ambientales, altos costos económicos por su disposición y crean pasivos ambientales (Muñoz, 2016).

Los lodos de PTAP son considerados residuos y aunque disponerlos en rellenos sanitarios o en cuerpos de agua superficial puede constituir una potencial amenaza para la biota de los ecosistemas por su alto contenido de aluminio o hierro (procedentes del coagulante) (Torres et al., 2023). Por la problemática ambiental anteriormente expuesta, se crea la necesidad de buscar alternativas de aprovechamiento de lodos en algún proceso productivo donde se mitigue el continuo aumento del volumen de estos residuos, como también un valor agregado para disminuir costos de aprovechamiento (Muñoz, 2016).

### **2.2.19. Azángaro**

El distrito de Azángaro se encuentra situado al norte de la región Puno, en la provincia del mismo nombre, a 148 Km. (1 hora y 15 minutos) (E. Gonzales, 2017b). La localización geográfica de esta ciudad tiene un clima frígido con vientos fuertes, y la temporada de lluvias inicia desde el mes de diciembre a marzo (Quispe, 2013), entre las coordenadas geográficas: latitud Sur: 14°54'24" y longitud Oeste: 70°11'36", se encuentra ubicada en el eje principal de la vía transoceánica. Tiene una extensión territorial de 706,13 km<sup>2</sup>, situada a 3859 msnm en la Meseta del Collao, al centro-norte del lago Titicaca, el clima es cálido y templado, su temperatura es en promedio 8.1 ° C., y su precipitación es de 671 mm. (E. Gonzales, 2017b; Yana, 2017b). La provincia de Azángaro se divide en quince distritos, siendo Azángaro el más importante de estos, ya que funciona como su distrito capital. Tiene una extensión territorial de 4,970.01 km<sup>2</sup>, una densidad población de 27.47 hab./km<sup>2</sup> (Quispe, 2013). En la actualidad el recurso hídrico viene disminuyendo a gran escala a consecuencia del crecimiento de la poblacional y el incremento de las actividades pecuarias (Yana, 2017b).

### **2.2.20. Sistema de tratamiento de agua potable – Azángaro**

SUNASS, (2024), el sistema de abastecimiento de agua potable en Azángaro, se ubicada en la ciudad de Azángaro, región Puno, Perú, presenta una estructura basada en componentes hidrológicos y de infraestructura específicos para garantizar el suministro a la población local. administradas por la EPS NOR PUNO.

#### **a. Captación**

El distrito de Azángaro obtiene su agua potable fundamentalmente a través de agua subterránea, que es extraída mediante una galería filtrante conocida localmente como Yaraja Azángaro., ubicada en el río Azángaro, se sitúa a una altitud aproximada de 3,885 m.s.n.m. Esta galería, fue construida desde el año de 1994, tiene 240 metros de longitud y 3 metros de profundidad. Está compuesta por tuberías perforadas de 200 mm de diámetro con perforaciones de 1" (SUNASS, 2024).

## **Figura 6.**

### *Zona de captación*



Fuente: SUNASS, (2024)

### **b. Estación de bombeo**

Desde la galería, el agua se transporta hacia una cámara de bombeo que dispone de una cisterna de almacenamiento con capacidad de 6,3 m<sup>3</sup>, y dos bombas centrífugas de 75 HP. En la línea de impulsión se aplica directamente la cloración mediante la aplicación directa de cloro gas (SUNASS, 2024).

## **Figura 7.**

### *Bombas centrífugas*



Fuente: SUNASS, (2024)

### c. Desinfección

El único tratamiento aplicado es la desinfección con cloro gas, realizada en la cámara de bombeo antes de llegar al reservorio (SUNASS, 2024).

**Figura 8.**

*Cámara de bombeo*



Fuente: SUNASS, (2024)

### d. Reservorios

El sistema cuenta con dos reservorios:

Reservorio	Tipo	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Estado	Situación actual
R-1 Qakencorani	Apoyado	600	Regular	Operativo
R-2 Qakencorani	Apoyado	1 250	Regular	Inoperativo

Fuente: SUNASS, (2024).

## **Figura 9.**

### *Reservorio Qakencorani*



Fuente: SUNASS, (2024)

#### **e. Líneas de conducción e impulsión**

La línea de conducción de agua cruda hacia la estación de bombeo funciona mediante una red de tuberías que aprovecha la gravedad para transportar el fluido de manera eficiente. Este sistema integra dos tipos de líneas diferenciadas: una destinada al agua sin procesar y otra para el agua que ha recibido desinfección. Las principales líneas de conducción de agua cruda se muestran en el siguiente: tuberías de 8" y 240 m de longitud, hechas de material asbesto cemento. Y las principales líneas de conducción de agua tratada se muestran en el siguiente: tuberías de 6" y 8", con longitudes de 100 m y 100 m, respectivamente, hechas de PVC (SUNASS, 2024).

Las líneas de impulsión son conductos que transfieren el agua desde la estación de bombeo hasta el reservorio, utilizando equipos de bombeo para impulsar el fluido hacia su destino. Las principales líneas de impulsión se muestran en lo siguiente: tuberías de 12" y 8", con longitudes de 271 m y 94 m, respectivamente, hechas de HDPE y hierro dúctil (SUNASS, 2024).

## f. Redes de distribución

Redes primarias: El sistema de distribución de agua potable adolece de una sectorización en sus redes primarias, lo que ocasiona deficiencias en la presión y la continuidad del servicio en diversas áreas de cobertura. Cuenta con redes matrices que varían entre 6 y 8 pulgadas de diámetro de asbesto cemento, sumando 4,500 m de longitud (SUNASS, 2024).

Redes secundarias: En el subsistema de distribución de agua potable, las redes secundarias presentan variaciones en sus dimensiones, oscilando entre 1 ½ y 6 pulgadas. Diversas tuberías de PVC, HDPE y asbesto cemento, sumando aproximadamente 72 km de longitud (SUNASS, 2024).

### 2.2.21. Normativa

El Decreto Supremo N.º 031-2010-SA establece los requisitos que debe cumplir el agua de consumo humano para ser segura. Su propósito es proteger la salud de las personas previniendo enfermedades y garantizando que el agua que llega a nuestros hogares no represente riesgo alguno para nuestra integridad. (Dirección General de Salud Ambiental, 2011).

**Tabla 1.**

*Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos*

	<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
1	Bacterias Coliformes totales	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2	Escherichia coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3	Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4	Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5	Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6	Virus	UFC / mL	0
7	Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

**Fuente:** (Dirección General de Salud Ambiental, 2011)

**Tabla 2.***Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica*

	<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
1	Olor	...	Aceptable
2	Sabor	...	Aceptable
3	Color	UCV escala Pt/Co	15
4	Turbiedad	NTU	5
5	Ph	Valor de pH	6,5 a 8,5
6	Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7	Sólidos totales disueltos	mgL <sup>-1</sup>	1 000
8	Cloruros	mg Cl – L <sup>-1</sup>	250
9	Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> = L <sup>-1</sup>	250
10	Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500
11	Amoniaco	mg N L <sup>-1</sup>	1,5
12	Hierro	mg Fe L <sup>-1</sup>	0,3
13	Manganeso	mg Mn L <sup>-1</sup>	0,4
14	Aluminio	mg Al L <sup>-1</sup>	0,2
15	Cobre	mg Cu L <sup>-1</sup>	2,0
16	Zinc	mg Zn L <sup>-1</sup>	3,0
17	Sodio	mg Na L <sup>-1</sup>	200

Fuente: (Dirección General de Salud Ambiental, 2011)

**Tabla 3.***Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos*

	<b>Parámetros Inorgánicos</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
1	Antimonio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0,020
2	Arsénico	mg As L <sup>-1</sup>	0,010
3	Bario	mg Ba L <sup>-1</sup>	0,700
4	Boro	mg B L <sup>-1</sup>	1,500
5	Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0,003
6	Cianuro	mg CN L <sup>-1</sup>	0,070
7	Cloro	mg L <sup>-1</sup>	5
8	Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0,7
9	Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0,7
10	Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0,050
11	Flúor	mg F L <sup>-1</sup>	1,000
12	Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0,001
13	Níquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0,020
14	Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50,00
15	Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3,00 exposición corta 0,20 exposición larga
16	Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010
17	Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0,010
18	Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0,07
19	Uranio	mg U L <sup>-1</sup>	0,015

Fuente: (Dirección General de Salud Ambiental, 2011)

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ámbito de estudio

El estudio se realizó en el distrito de Azángaro, provincia de Azángaro – región Puno, a 3859 m.s.n.m.

**Figura 10.**

*Mapa de ubicación del área de estudio - Azángaro*



Fuente: Elaboración propia, 2025

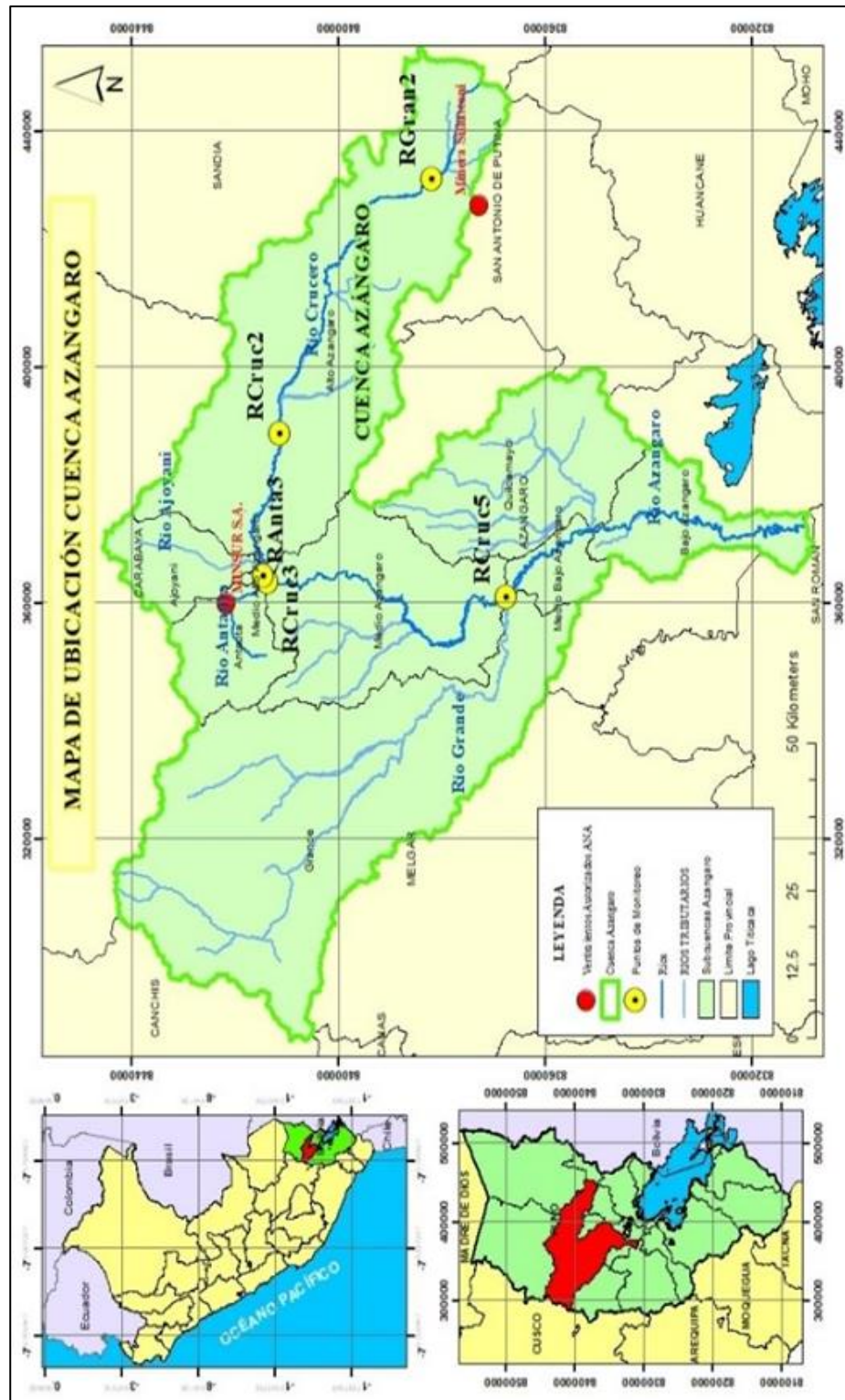
**Tabla 4.**

*Límites del área en estudio*

Orientación	Descripción
Norte	Distritos de San José y Asillo
Sur	Distritos de San Juan de Salinas y Santiago de Pupuja
Este	Distrito de Arapa
Oeste	Distrito de Muñani

**Figura 11.**

*Ubicación del ámbito de estudio – Río Azángaro*



Fuente: Elaboración propia, 2025

### **3.2. Enfoque de investigación**

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo porque se recopilaron y se analizaron datos numéricos medibles (parámetros fisicoquímicos, porcentajes de remoción de turbidez, TDS, etc.) para evaluar la efectividad de ambos tratamientos. Vizcaíno et al., (2023), señalan que, señalan que el enfoque cuantitativo se distingue por su énfasis en la medición y el análisis numérico de datos, mediante la recopilación sistemática de información cuantificable y su posterior análisis riguroso con técnicas estadísticas.

### **3.3. Diseño de investigación**

Se utilizó un diseño factorial completo en el tratamiento de electrocoagulación y coagulación química.

### **3.4. Nivel o alcance de la investigación**

Esta investigación fue de tipo experimental, el cual se realizó manipulando las variables independientes; que nos llevó a obtener mejores eficiencias en los procesos al combinarlas, y durante su proceso observemos cambios en las variables dependientes. (Ramos, 2021; Vizcaíno et al., 2023), indica que, cuando es experimental, la investigación se caracteriza por la manipulación intencionada de una variable independiente para investigar su efecto sobre una variable dependiente.

### **3.5. Variables de investigación**

#### **3.5.1. Variable independiente**

##### **a. Coagulación química**

- Dosis de coagulante
- Potencial de hidrogeno - pH
- Tiempo de tratamiento

##### **b. Electrocoagulación**

- Densidad de corriente
- Potencial de hidrogeno - pH
- Tiempo de tratamiento

##### **c. Crecimiento del Ceticio**

- Altura de la planta

#### **3.5.2. Variable dependiente**

Reducción de la turbidez y sólidos totales disueltos.

### 3.6. Población y muestra de la investigación

#### 3.6.1. Población

La localidad sujeta a análisis estuvo constituida por el recurso hídrico superficial del río Azángaro, comprendido dentro del ámbito geográfico de la ciudad de Azángaro, departamento de Puno.

#### Figura 12.

*Ubicación del río Azángaro – Puno*



#### Tabla 5.

*Coordenadas del río Azángaro*

Código	Punto de muestreo	Coordenadas WGS84		Altura (msnm)
		Este (x)	Norte (y)	
M-01	Río	372095.02	8352371.69	3859

#### 4.6.2. Muestra

La muestra de agua superficial fue recolectada del río Azángaro, seleccionado por ser un punto estratégico de captación que abastece el sistema de potabilización y distribución de agua al distrito de Azángaro. Esta zona constituye una fuente hídrica de importancia socioambiental, debido a su función en el abastecimiento de agua para consumo humano. La elección del sitio de muestreo responde a la necesidad de evaluar la calidad fisicoquímica del recurso, en el marco de la vigilancia sanitaria y la gestión integrada del recurso hídrico, conforme a lo establecido en la normativa ambiental.

### **a. Técnica de muestreo**

Para el desarrollo de este estudio, se aplicó el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales. Mediante ello, se establecieron los criterios generales para el desarrollo del monitoreo de la calidad del recurso hídrico superficial, como: Logística, planificación, materiales, equipos, transporte y aseguramiento de la calidad de la muestra (Autoridad Nacional del Agua (Perú), 2016).

### **b. Unidad de muestreo**

El prototipo experimental de tratamiento por electrocoagulación fue diseñado para procesar un volumen unitario de 5,07 litros por ensayo, correspondiente a cada combinación de variables del diseño experimental. En total, se establecieron 81 combinaciones experimentales, lo que implicó el uso de 410,67 litros de muestra de agua para esta fase del estudio.

Por otro lado, el tratamiento mediante coagulación química convencional fue diseñado para una unidad muestral mínima de 1 litro (1000 mL) por ensayo. En este caso, el diseño experimental contempló 14 combinaciones, requiriendo un volumen total de 14 litros de muestra para la ejecución completa de esta etapa.

## **3.7. Equipos, materiales y reactivos**

### **3.7.1. Equipos**

Turbidímetro (Hanna HI93703), espectrofotómetro (Modelo 4255/50), estufa (Horno de cámara UF75), balanza analítica (Modelo GR X 0.0001 GR OHAUS), bomba de vacío (Modelo LBX V), multiparámetro (Modelo HI9829-10101), termorreactor (Hanna HI839800), floculador test de jarras (Modelo DH-WJT06020), fuente de poder 0-20 A (DP6020).

### **3.7.2. Materiales de laboratorio**

Probeta de 100 mL y 250 mL (Nahita), matras erlenmeyer de 100 mL y 250 mL (Isolab), vaso precipitado de 50 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL y 1000 mL (Isolab), pipetas de 1 mL, 2 mL, 5 mL, 10 mL y 20 mL (Nahita), fiolas de 50 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL y 1000 mL (Isolab), embudos de 25 ml (Nahita), tubos de ensayo con tapa rosca (Pyrex), luna de reloj, micropipeta, pinzas, espátula, gradilla de tubos, papel filtro.

### **3.7.3. Reactivos**

Ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), hidróxido de sodio (NaOH), cloruro de sodio (NaCl).

## **3.8. Procedimiento metodológico**

### **3.8.1. Evaluar las características fisicoquímicas de las aguas del río Azángaro**

El muestreo de agua superficial se realizó en el río Azángaro, conforme al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua Superficial establecido por la Autoridad Nacional del Agua (Autoridad Nacional del Agua (Perú), 2016). El punto de recolección fue seleccionado en una zona de fácil acceso, ubicada en las coordenadas UTM: Este 372095.02 y Norte 8352371.69, asegurando condiciones de flujo homogéneo, criterio esencial para garantizar la representatividad de las muestras.

El procedimiento de toma de muestra contempló en enjuagar los frascos de muestreo tres veces con el agua del mismo cuerpo receptor, a fin de evitar contaminación externa. Posteriormente, los envases fueron sumergidos a una profundidad de aproximadamente 20 cm desde la superficie, siguiendo una técnica estandarizada para evitar la captación de sólidos flotantes o sedimentos de fondo.

Durante el proceso de muestreo, se llevó a cabo la medición in situ de parámetros fisicoquímicos de campo, como oxígeno disuelto (OD), temperatura, pH, TDS, turbidez y conductividad eléctrica (CE), utilizando un equipo multiparamétrico portátil, previamente calibrado según especificaciones y normas técnicas.

Cabe resaltar que el muestreo se efectuó durante el periodo de lluvias, comprendida entre los meses de noviembre a febrero, periodo que puede influir significativamente en la dinámica hidrológica y composición fisicoquímica del cuerpo de agua.

Finalmente, las muestras fueron rotuladas, conservadas en un contenedor isotérmico (cooler) con acumuladores de frío y transportadas bajo condiciones controladas hacia el laboratorio para su análisis, asegurando la integridad de las propiedades fisicoquímicas de las mismas.

**Figura 13.**

*Muestreo de agua superficial del río Azángaro*



Para evaluar la calidad del agua del río Azángaro, se analizaron diversos parámetros fisicoquímicos mediante procedimientos específicos utilizados para determinar las propiedades físico-químicas del recurso hídrico

**Tabla 6.**

*Métodos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos*

N°	Parámetro	Unidad	Método (según normativa peruana)
1	pH	Und. de pH	Potenciometría
2	Temperatura	°C	Sensor térmico digital
3	Conductividad eléctrica (CE)	μS/cm	Medición electrométrica
5	Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/L	Cálculo a partir de la CE
6	Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	Sensor óptico
7	Turbiedad	NTU	Nefelométrico

### 3.8.2. Desarrollo experimental del proceso de tratamiento con coagulación química y electrocoagulación

#### a. Desarrollo experimental del proceso de tratamiento con coagulación química

El sistema experimental implementado estuvo conformado principalmente por ensayos de coagulación-floculación en sistema de jarras (Jar Test), con el objetivo de evaluar la influencia de la dosis de coagulantes y floculantes sobre la calidad del agua, a través del análisis de parámetros fisicoquímicos representativos tales como turbidez, pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (TDS).

La metodología adoptada respondió a un diseño experimental, orientado a interpretar los mecanismos involucrados en los procesos de agregación y sedimentación de partículas, mediante el establecimiento de relaciones de causa-efecto entre las condiciones operativas (dosis de reactivo, pH, tiempo de agitación) y las eficiencias de remoción alcanzadas. Este enfoque permitió no solo cuantificar el comportamiento del sistema, sino también inferir los procesos fisicoquímicos predominantes, proporcionando fundamentos para la optimización del tratamiento propuesto.

A continuación, se describe el protocolo metodológico implementado para el desarrollo del procedimiento experimental:

#### ▪ Muestras de análisis

Se utilizaron muestras de agua superficial recolectadas del río Azángaro, ubicado en el distrito y provincia de Azángaro, en la región de Puno.

#### **Figura 14.**

*Recolección de muestras*



- **Preparación de la dosis de coagulante sulfato de aluminio**

El sulfato de aluminio  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$  fue empleado como agente coagulante para el tratamiento de agua, debido a su alta eficacia en la desestabilización de partículas coloidales y la remoción de turbidez. Para su aplicación, se preparó una solución madre 1000 mg/L de concentración, disolviendo la cantidad correspondiente del compuesto en un frasco de vidrio con capacidad de 500 mL

La dosis de coagulante a aplicar en cada ensayo fue determinada mediante la siguiente expresión:

$$V_i \times C_i = V_f \times C_f \quad (1)$$

Donde:

$V_i$ : Volumen del sulfato de aluminio

$C_i$ : Concentración inicial de la solución de sulfato de aluminio

$V_f$ : Volumen de la muestra de agua cruda a tratar

$C_f$ : Concentración objetivo de sulfato de aluminio en la muestra

- **Ensayo de Jarras (Jar Test)**

Durante el ensayo, se aplicaron diferentes condiciones operativas en cada vaso, variando parámetros como la dosis de coagulante, el pH inicial y los tiempos de agitación, con el fin de evaluar su efecto sobre la remoción de contaminantes. Esta metodología facilita la comparación simultánea de múltiples configuraciones de tratamiento bajo condiciones controladas y reproducibles.

**Figura 15.**

*Floculador Test de jarras*



### ▪ Procedimiento durante el tratamiento

El procedimiento incluyó las siguientes etapas: Recolección y conservación de la muestra de agua, conforme a los lineamientos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), con el objetivo de garantizar su representatividad y mantener la integridad de sus características fisicoquímicas hasta su análisis.

Distribución homogénea del volumen de muestra recolectada en seis vasos de precipitado de 1000 mL de capacidad cada uno, asegurando condiciones equivalentes de partida en cada unidad experimental.

Instalación de las aspas de agitación en cada vaso, permitiendo la mezcla controlada mediante el equipo de jar test. Esta etapa fue fundamental para garantizar una dispersión uniforme del coagulante en la muestra durante las fases de mezcla rápida y lenta.

### Figura 16.

*Muestra de agua a tratar*



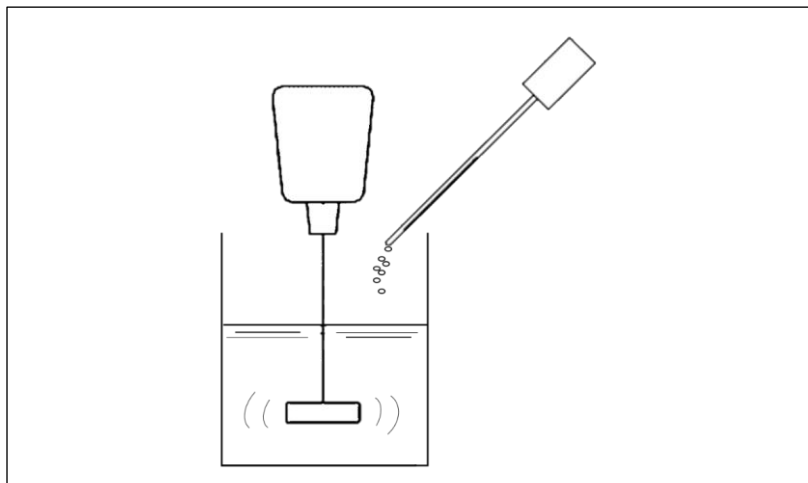
El procedimiento experimental se desarrolló siguiendo una secuencia de etapas estandarizadas propias del método de coagulación–floculación mediante ensayo de jarras (Barros et al., 2022). Inicialmente, se programó el equipo a una velocidad de agitación de 100 rpm (revoluciones por minuto) durante 1 minuto, correspondiente a la fase de mezcla rápida, cuyo propósito es asegurar la dispersión homogénea del coagulante en el volumen total de agua, favoreciendo el contacto inmediato con las partículas coloidales presentes.

Transcurrido este intervalo, se ingresó a la fase de mezcla lenta, reduciendo la velocidad de agitación a 65 rpm (revoluciones por minuto) durante 15 minutos, etapa en la cual se inicia la formación de microfloculos por colisión y aglomeración de las partículas estabilizadas. Posteriormente, se ajustó la velocidad a 30 rpm durante 9 minutos adicionales, permitiendo la consolidación y crecimiento de los floculos hasta alcanzar un

tamaño y densidad adecuados para su separación posterior. Con ello, se completó la etapa de floculación con una duración acumulada de 15 minutos.

### **Figura 17.**

*Aplicación de coagulante*



Fuente: Elaboración propia, 2025

Finalizada la agitación mecánica, se procedió a la fase de sedimentación estática, durante la cual se suspendieron los mecanismos de agitación, permitiendo la decantación gravitacional de los flóculos formados. Culminado el tiempo de sedimentación previamente establecido, se realizó la recolección cuidadosa del sobrenadante clarificado, a fin de evaluar la eficiencia del tratamiento.

## **b. Procedimiento metodológico para el tratamiento de agua por electrocoagulación**

### **▪ Prototipo de la celda de electrocoagulación**

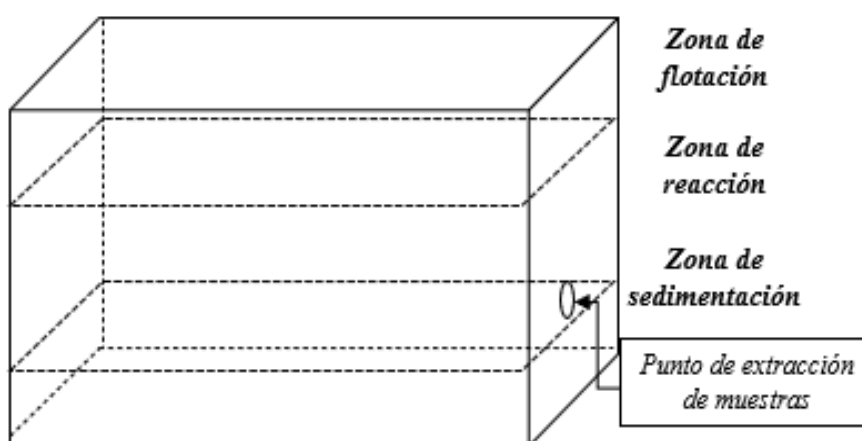
El sistema experimental implementado estuvo constituido principalmente por un reactor tipo Batch (discontinuo) y una fuente de alimentación de corriente directa (fuente de poder), elementos esenciales para el desarrollo del proceso de electrocoagulación a escala de laboratorio. Se utilizó un reactor rectangular de acrílico transparente como recipiente contenedor (ver Figura 18).

Las celdas de electrocoagulación a escala de laboratorio son las más adecuadas para estudiar y optimizar variables operacionales como tiempo de tratamiento y densidad de corriente, permitiendo evaluar respuestas en función del contaminante o matriz específica (Rodríguez Díaz et al., 2021). El diseño funcional en estas celdas se divide en tres zonas principales: zona de flotación, donde las partículas son separadas mediante

burbujas de gas generadas electrolíticamente; zona de reacción, que alberga procesos electroquímicos de oxidación y reducción; y zona de sedimentación, donde ocurre la deposición y generación de lodos (Visigalli et al., 2021). Esta distribución volumétrica mejora el rendimiento del proceso y facilita la recolección de sólidos suspendidos tratados (Palacios & Vásquez, 2024).

**Figura 18.**

*Diseño de la celda de electrocoagulación*



Fuente: Loayza & Ochoa, (2022).

La celda fue construida con las siguientes dimensiones internas: Ancho 15 cm, largo 26 cm y alto 13 cm, lo que resultó un volumen total de 5,07 litros. Este volumen representa la capacidad útil del reactor, utilizada en cada uno de los tratamientos experimentales, asegurando la estabilidad hidráulica y operacional del sistema durante el proceso de remoción de contaminantes.

**Tabla 7.**

*Detalles técnicos de la celda de electrocoagulación*

Características	Medidas	Unidad
Largo	26	cm
Ancho	15	cm
Altura	13	cm
Volumen de la celda	5.07	L
Separación de electrodos	1.5	cm

### ▪ **Electrodos, características e instalación**

En el interior de la celda se instalaron electrodos metálicos (ánodo y cátodo) dispuestos en configuración paralela, conectados a una fuente de corriente continua regulable, capaz de suministrar el voltaje y la densidad de corriente requeridos para promover las reacciones electroquímicas de coagulación, desestabilización y aglomeración de los contaminantes presentes en el agua.

Los metales más comunes utilizados para fabricar electrodos para electrocoagulación son el (Al) y hierro (Fe) (Reilly et al., 2019). Se emplearon 12 láminas: 6 de aluminio, que funcionaron como electrodos positivos, y 6 de hierro, que actuaron como electrodos negativos. Las dimensiones de las láminas de aluminio y hierro fueron de 10x7 cm, y un espesor de 3 mm.

**Tabla 8.**

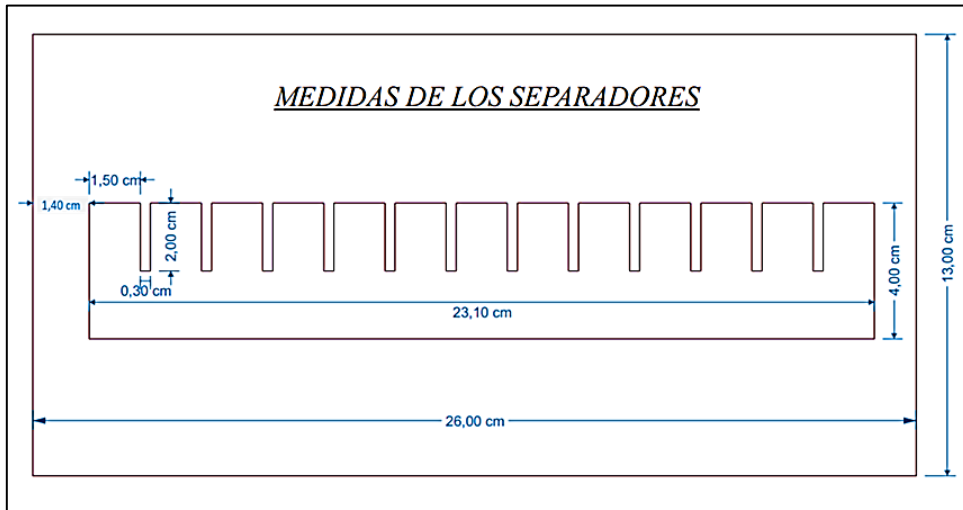
*Características de las láminas de Al y Fe*

<b>Características</b>	<b>Medidas</b>	<b>Unidad</b>
Ancho	7	cm
Largo	10	cm
Espesor	3	mm
Cantidad de placas de Al	6	Unidades
Cantidad de placas de Fe	6	Unidades

Las 12 láminas de aluminio y hierro fueron ubicadas en la celda de forma intercalada, diseñada con separadores precisos que permitieron mantener los electrodos en posición vertical. Los espacios entre las láminas se establecieron con una separación uniforme de 1.5 cm.

**Figura 19.**

*Distancia y distribución de los electrodos de aluminio y hierro.*

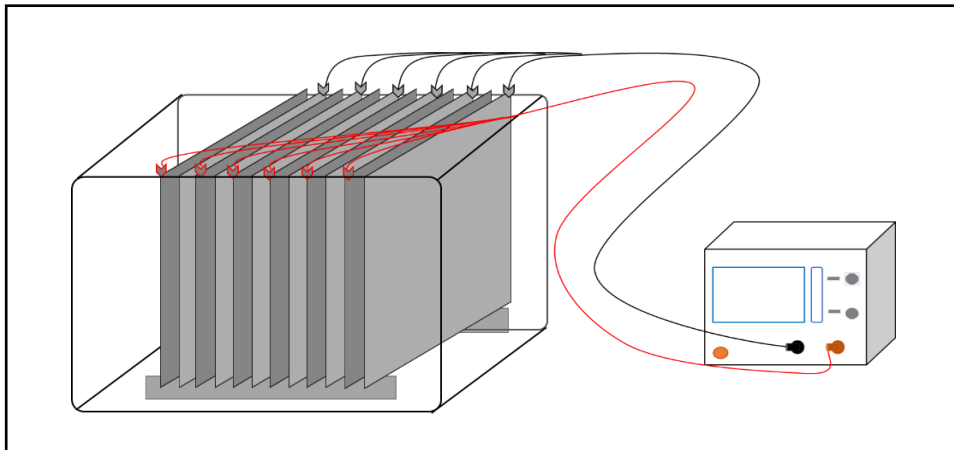


Fuente: Elaboración propia, 2025

Posteriormente, se conectaron los dispositivos a las pinzas previamente soldadas y se integraron con los cables de distribución de energía, enlazándolos finalmente a la fuente de alimentación

**Figura 20.**

*Diseño de la celda de electrocoagulación*



Fuente: Elaboración propia, 2025

▪ **Volumen de la celda de electrocoagulación**

El volumen útil del reactor fue determinado en 5,07 litros (ver Tabla 6), valor calculado con base en las dimensiones internas del recipiente y considerando el espacio ocupado por los electrodos. Este volumen corresponde al fluido tratado por ensayo, garantizando una operación segura, sin sobresaturación ni pérdidas.

**Tabla 9.**

*Capacidad de la celda de electrocoagulación*

<b>Tratamiento</b>	<b>Capacidad máxima</b>
Celda de electrocoagulación	5.07 Litros

▪ **Instalación eléctrica**

Para la instalación del sistema de conexión eléctrica del reactor, se emplearon 4 metros de cable bipolar (rojo y negro), adecuados para conducción de corriente continua. Cada conductor fue equipado con un total de 12 pinzas tipo cocodrilo (6 para conexión positiva y 6 para conexión negativa), las cuales permitieron una conexión segura y directa a los electrodos metálicos del sistema de electrocoagulación.

En el extremo opuesto del cableado, se acondicionaron dos terminales de conexión (una positiva y una negativa) compatibles con la salida de la fuente de alimentación de corriente directa. Esta configuración permitió establecer un circuito eléctrico cerrado, facilitando el flujo controlado de corriente entre la fuente de poder y los electrodos, garantizando la eficiencia y estabilidad del proceso electroquímico durante el tratamiento del agua.

▪ **Fuente de alimentación**

En el procedimiento de electrocoagulación que llevamos a cabo, empleamos un equipo de alimentación eléctrica de corriente continua, el cual permitió ajustar el suministro de energía de manera flexible dentro de un intervalo de 0 a 30 voltios, según las necesidades del experimento. Este equipo fue seleccionado por su capacidad de ajustar de manera continua y precisa los parámetros eléctricos, lo que permite mantener un control riguroso de la variable operativa (voltaje) durante todo el tratamiento.

▪ **Componentes importantes para el proceso de tratamiento**

Se definieron tres niveles de tiempo de tratamiento de estudio como: 12; 24 y 36 minutos (ver tabla 7), los cuales fueron seleccionados a partir de una revisión bibliográfica y pruebas preliminares. Estos niveles permiten analizar el comportamiento cinético del sistema, así como su impacto en la eficiencia de remoción de parámetros como turbidez, sólidos totales, pH, color, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica.

**Tabla 10.***Tiempo de tratamiento*

<b>Características</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Unidad</b>
A	12	min
B	24	min
C	36	min

Asimismo, se aplicaron tres niveles de intensidad de corriente eléctrica, medida en amperios (A), con el objetivo de evaluar su influencia sobre la eficiencia del proceso de electrocoagulación, manteniéndose constante una tensión de 12 voltios (V) durante todos los tratamientos (ver Tabla 11).

**Tabla 11.***Intensidad de corriente en el periodo de tratamiento*

<b>Características</b>	<b>Intensidad eléctrica</b>	<b>Unidad</b>
A	1	Amperios
B	2	Amperios
C	4	Amperios

Se evaluó el efecto del pH inicial de la solución como variable operativa, trabajando con tres niveles controlados de pH: 6.0; 6.5 y 7.0. Estos valores fueron seleccionados en función de la literatura técnica y estudios previos, que indican que el rango ligeramente ácido a neutro favorece la formación eficiente de especies coagulantes metálicas durante el proceso de electrocoagulación.

**Tabla 12.***Intensidad de pH en el periodo de tratamiento*

<b>Características</b>	<b>pH</b>
A	6.5
B	6.0
C	7.0

## ▪ **Procesos de tratamiento**

El procedimiento experimental del tratamiento se estructuró en etapas secuenciales definidas, conforme a los requerimientos del diseño metodológico, y constó de las siguientes fases operativas: Inicialmente, se preparó una muestra representativa de agua residual para cada ensayo, utilizando un volumen constante de 5,07 litros, correspondiente al volumen útil del reactor tipo batch. Esta cantidad fue vertida cuidadosamente en la celda de electrocoagulación, asegurando la homogeneidad de la muestra.

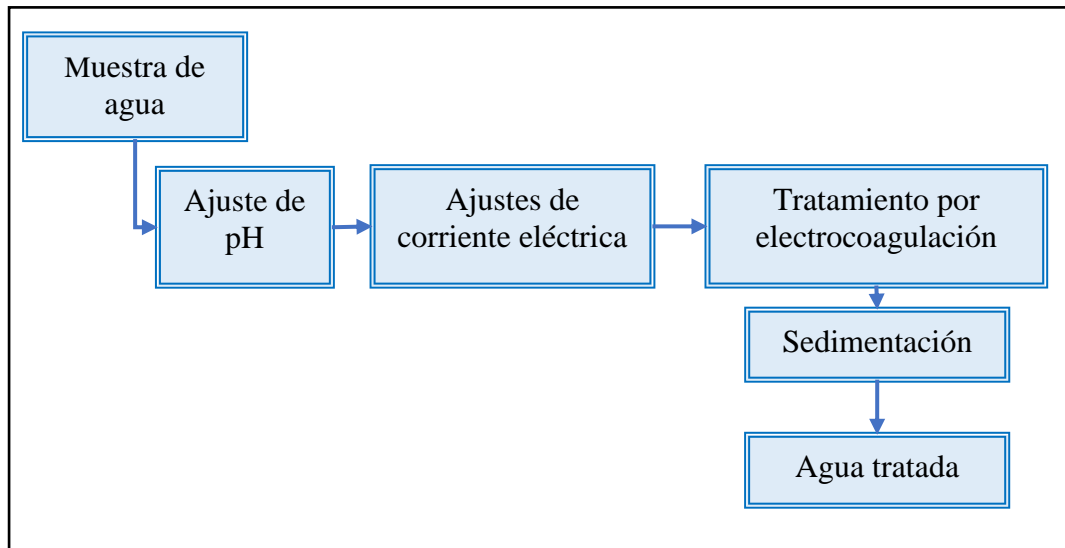
Para cada prueba experimental, se procedió al ajuste del pH inicial de la muestra, previamente determinado mediante un equipo multiparámetro debidamente calibrado, obteniéndose un valor promedio inicial de pH 8,02. Posteriormente, el pH fue ajustado a valores específicos de 6.0; 6.5 y 7.0, mediante la dosificación controlada de ácido clorhídrico (HCl) concentrado al 99 % de pureza, con el fin de evaluar el comportamiento del sistema bajo condiciones de pH ligeramente ácido a neutro, rangos óptimos para la generación de especies coagulantes.

La densidad de corriente eléctrica fue establecida como una variable crítica en el proceso. Para ello, se utilizó una fuente de poder de corriente directa regulable, configurada para suministrar tres niveles de intensidad: 5.5 A/m<sup>2</sup>, 11.1 A/m<sup>2</sup>, y 22.2 A/m<sup>2</sup>. Durante el tratamiento electroquímico, se aplicaron los parámetros eléctricos establecidos durante tres tiempos de exposición: 12, 24 y 36 minutos. Con el que se buscaba determinar cómo el tiempo de tratamiento afectaba la capacidad del proceso para eliminar los contaminantes.

Una vez finalizado el proceso de electrocoagulación, las muestras tratadas fueron transferidas a envases de 6 litros y sometidas a una fase de sedimentación gravitacional durante un periodo de 30 minutos. Esta etapa permitió la decantación de los flóculos generados, facilitando la posterior recolección del sobrenadante para su análisis fisicoquímico. Para determinar la eficacia del proceso de electrocoagulación, se analizaron una serie de parámetros fisicoquímicos representativos de la calidad del agua. Se evaluó la calidad del agua en dos momentos: antes de aplicar el tratamiento y después de haberlo realizado, utilizando como referencia los estándares establecidos en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA.

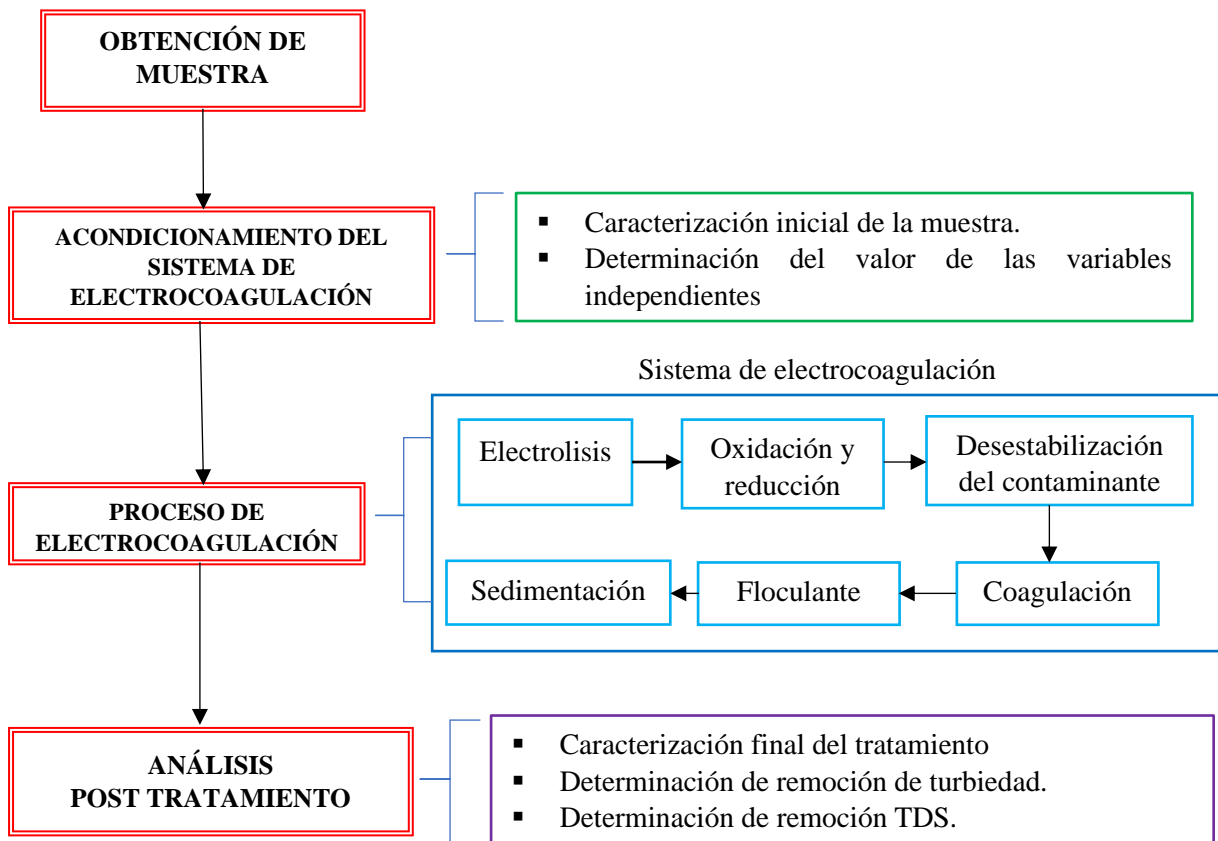
**Figura 21.**

*Flujograma de los procesos de tratamiento*



**Figura 22.**

*Procedimiento experimental de electrocoagulación continua*



Fuente: Adaptado de Araujo et al., (2021).

**Figura 23.**

*Pruebas de funcionamiento del sistema*



### **3.8.3. Desarrollo experimental del proceso de crecimiento del Ceticio (*Cytisus racemosa*)**

#### **a. Características del campo experimental**

Fue desarrollado en las instalaciones de un invernadero de uso familiar, situado en el distrito de Chupa, provincia de Azángaro, región de Puno, bajo condiciones ambientales controladas. La ubicación geográfica del sitio corresponde a las coordenadas UTM: Este 391135.158 y Norte 1326566.848, a una altura de 3825 msnm.

**Tabla 13.**

*Ubicación geográfica del distrito de Chupa - Azángaro*

<b>Distrito</b>	<b>Provincia</b>	<b>Coordenadas WGS84</b>		<b>Altura (msnm)</b>
		<b>Este (x)</b>	<b>Norte (y)</b>	
Chupa	Azángaro	372095.02	8352371.69	3825

#### **b. Características generales del experimento**

Número de tratamientos	: 5
Número de repeticiones	: 2 unidades experimentales
Distancia entre tratamiento	: 0,5 m
Número de plantas	: 5 plantas
Número total del experimento	: 50 plantas

### c. Proceso de acopio de lodos de electrocoagulación y coagulación química

Los lodos generados durante el proceso de electrocoagulación y coagulación química, fueron recolectados y posteriormente almacenados en conos Imhoff, con el objetivo de facilitar la separación por sedimentación gravitacional entre la fase sólida (sedimentable) y la fase líquida (sobrenadante).

**Figura 24.**

*Separación de materia líquida y sólida*



#### ▪ Selección del material propagativo

La selección de semillas de *Cetico* se realizó en el campus de la Universidad Nacional de Juliaca, conforme se muestra en la (Figura 19). Durante este proceso, se evaluaron criterios de viabilidad y calidad fisiológica, seleccionándose aquellas semillas que presentaron un porcentaje promedio de germinación superior al 80%, umbral considerado como óptimo para fines experimentales, asegurando así la uniformidad y confiabilidad en los ensayos posteriores.

**Figura 25.**

*Selección de semillas*



▪ **Preparación del sustrato**

Los materiales utilizados incluyeron: lodos provenientes del proceso de electrocoagulación, recolectados tras la aplicación del tratamiento de agua; lodos de coagulación química, obtenidos de un proceso convencional de tratamiento físico-químico; y suelo agrícola (comúnmente denominado tierra de chacra), extraído de áreas de cultivo y caracterizado por su textura franca y contenido moderado de materia orgánica, cualidades que lo hacen apto como componente de sustrato. Las proporciones específicas de estos materiales utilizadas en cada tratamiento experimental se detallan en la (Tabla 14).

**Tabla 14.**

*Composición de los tratamientos propuestos*

<b>Tratamiento</b>	<b>Proporción</b>	<b>Insumos</b>
<b>T0</b>	100 %	Tierra agrícola
<b>T1</b>	100 %	Lodos de electrocoagulación
<b>T2</b>	50 % 50 %	Tierra agrícola Lodo de electrocoagulación
<b>T3</b>	100 %	Lodos de coagulación química
<b>T4</b>	50 % 50 %	Tierra agrícola Lodo de coagulación química

- **Siembra**

El estudio experimental fue llevado a cabo en las instalaciones del laboratorio perteneciente a la Universidad Nacional de Juliaca, donde se efectuó la preparación de unidades experimentales utilizando macetas plásticas como recipientes contenedores. En cada unidad se incorporaron mezclas controladas de suelo agrícola (tierra negra), lodos procedentes del proceso de electrocoagulación y lodos de coagulación química, de acuerdo con las proporciones establecidas en el diseño experimental. Previo a la siembra, los sustratos fueron homogeneizados, nivelados y acondicionados mediante riego inicial, con el fin de garantizar condiciones físicas adecuadas de humedad y estructura para el desarrollo del experimento.

- **Variables a evaluar del experimento**

La evaluación fitométrica se efectuó mediante un muestreo aleatorio aplicado a cada unidad experimental, con el propósito de cuantificar las variables morfológicas de interés. La altura de planta (cm) fue determinada utilizando un vernier, midiendo la distancia desde la base del tallo hasta la yema apical, y registrando los valores obtenidos en centímetros. Asimismo, el número de hojas (unidades) se determinó mediante conteo directo, considerando todas las hojas visibles desde la base hasta el ápice de la planta, con el fin de establecer el desarrollo foliar como indicador del estado vegetativo.

- **Recolección de datos y evaluación**

El tamaño muestral se definió considerando dos repeticiones por tratamiento, conforme al diseño experimental establecido. No obstante, con el fin de garantizar la representatividad estadística y mitigar posibles pérdidas por mortalidad vegetal durante la fase de evaluación, se procedió a la selección aleatoria de 50 individuos por tratamiento, los cuales fueron monitoreados como respaldo.

**Figura 26.**

*Crecimiento de las plántulas de Ceticio (Cytisus racemosa)*



▪ **Análisis estadístico de la investigación**

Los datos fueron analizados mediante el uso del programa estadístico R-studio, se utilizó un diseño factorial como estrategia metodológica para estructurar el experimento bajo una orden completamente al azar, para lo cual se planteó 3 factores principales y cada una de ellas con 3 niveles. Se realizó el experimento por triplicado.

Se tuvo como variables independientes:

- Factor 1: Tiempo de tratamiento (12, 24 y 36 minutos)
- Factor 2: Densidad de corriente (5.5, 11.1 y 22.2 A/m<sup>2</sup>)
- Factor 3: pH (6, 6.5 y 7)

El modelo estadístico que se usó fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \mu_{ijkl}$$

$i$  = Tiempo de tratamiento (12, 24 y 36 minutos)

$j$  = Densidad de corriente (5.5, 11.1 y 22.2 A/m<sup>2</sup>)

$k$  = pH (6, 6.5 y 7)

$l$  = 1,2 y 3 repeticiones

$Y_{ijkl}$ : Representa la observación correspondiente al nivel (i) del factor de densidad de corriente, al nivel (j) del factor de tiempo de tratamiento, al nivel (k) valor de pH y al nivel (l) de repeticiones.

$\mu$ : Efecto constante, es el porcentaje de remoción de turbidez.

$\alpha_i$ : Efecto producido por el nivel i-ésimo del factor de tiempo de tratamiento.

$\beta_j$ : Efecto producido por el nivel j-ésimo del factor de densidad de corriente.

$\gamma_k$ : Efecto producido por el nivel k-ésimo del factor del valor de pH.

$(\alpha\beta)_{ij}$ : Efecto producido por la interacción entre el tiempo de tratamiento y densidad de corriente.

$(\alpha\gamma)_{ik}$ : Efecto producido por la interacción entre el tiempo de tratamiento y el valor de pH.

$(\beta\gamma)_{jk}$ : Efecto producido por la interacción entre la densidad de corriente y el valor de pH.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ : Efecto producido por la interacción entre el tiempo de tratamiento, densidad de corriente y valor de pH.

$(\mu)_{ijkl}$ : Variable independiente con distribución  $N(0, \vartheta)$ .

**Tabla 15.**

*Modelo estadístico*

<b>pH</b>	<b>Densidad (A/dm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tiempo (h)</b>
6.0	5.5	12
6.0	5.5	24
6.0	5.5	36
6.0	11.1	12
6.0	11.1	24
6.0	11.1	36
6.0	22.2	12
6.0	22.2	24
6.0	22.2	36
6.5	5.5	12
6.5	5.5	24
6.5	5.5	36
6.5	11.1	12
6.5	11.1	24
6.5	11.1	36
6.5	22.2	12
6.5	22.2	24
6.5	22.2	36
7.0	5.5	12
7.0	5.5	24
7.0	5.5	36
7.0	11.1	12
7.0	11.1	24
7.0	11.1	36
7.0	22.2	12
7.0	22.2	24
7.0	22.2	36

▪ **Análisis estadístico de la investigación**

Con el objetivo de identificar las combinaciones más adecuadas de las variables: dosis de coagulante, pH y tiempo, se recurrió a un diseño Box-Behnken que permitió evaluar 14 experimentos distintos. Esta estrategia incluyó 12 combinaciones diferentes de las variables, más 2 réplicas adicionales en el punto central, facilitando así la identificación de los valores óptimos para el proceso. Se tuvo como variables independientes:

- Factor 1: Dosis de coagulante (30 mg/L, 50 mg/L y 70 mg/L)
- Factor 2: pH (5, 6 y 7)
- Factor 3: Tiempo (30 min, 45 min y 60 minutos)

**Tabla 16.**

*Matriz del diseño experimental (Box-Behnken)*

N°	X1	X2	X3	Factores		
				Dosis de coagulante	pH	Tiempo
1	-	-	0	30	5	45
2	-	+	0	30	7	45
3	+	-	0	70	5	45
4	+	+	0	70	7	45
5	-	0	-	30	6	30
6	-	0	+	30	6	60
7	+	0	-	70	6	30
8	+	0	+	70	6	60
9	0	-	-	50	5	30
10	0	-	+	50	5	60
11	0	+	-	50	7	30
12	0	+	+	50	7	60
13	0	0	0	50	6	45
14	0	0	0	50	6	45

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Caracterización fisicoquímica del río Azángaro

##### 4.1.1. Caracterización físico-química

Los resultados de la caracterización fisicoquímica de la calidad del agua del río Azángaro, se presentan en las tablas siguientes:

**Tabla 17.**

*Parámetros de campo – río Azángaro*

N°	Parámetro	Unidad	Valor
1	pH	Und. de pH	8.02
2	Temperatura	°C	21.2
3	Conductividad eléctrica	μS/cm	624
4	Oxígeno disuelto	mg/L	1.31
5	Turbiedad	NTU	48.16
7	Sólidos totales disueltos	mg/l	314

La medición de campo registrada en la Tabla 17 indica un pH de 8.02 para la muestra del río Azángaro, reflejando una ligera alcalinidad característica de esta cuenca. Este valor se ubica cómodamente dentro del rango recomendado por la Organización Mundial de la Salud lo cual se encuentra dentro del rango recomendado por la Organización Mundial de la Salud, que establece un intervalo de 6.5 a 8.5 para aguas destinadas al consumo humano (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Estos hallazgos son consistentes con monitoreos previos por la (EPS. Nor Puno S.A., 2021), quien reportó un pH de 8.15, un pH de 8.15, mientras que (Neira, 2024) y (Fernández, 2022) registraron valores similares pH de 8.2. Según Cornejo & Pacheco, (2014), el pH puede alcanzar hasta 9.5 en tramos bajos durante el estiaje, ya que la dilución por lluvias reduce la concentración de sales alcalinizantes, confirmando la variabilidad estacional observada en esta matriz hídrica.

Respecto al parámetro de turbidez, se obtuvo un valor de 48.16 NTU en la muestra de agua del río Azángaro. Se clasifica como moderadamente elevada, típica de ríos andinos con alta erosión de suelos y aportes antrópicos. Este nivel supera el Límite Máximo Permisible (LMP) de 5 NTU del DS N° 031-2010-SA para consumo humano, justificando la necesidad de tratamiento previo a la potabilización

Ticona, (2023), documentó valores comparables (45 NTU) en la misma cuenca, atribuyéndolos a procesos erosivos intensificados en temporada de lluvias. En línea con esto, Brousett-Minaya et al., (2018) y SUNASS, (2024) explican que la turbidez surge principalmente del arrastre de sedimentos por escorrentía superficial, exacerbado por degradación de ribereños y actividades mineras, lo que valida la representatividad de la muestra analizada para escenarios reales de la cuenca Azángaro.

En cuanto a la conductividad eléctrica, se registró un valor de 624  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la muestra de agua del río Azángaro. Este valor indica una concentración moderada de sales disueltas en el agua. Por medio de la conductividad eléctrica se puede determinar indirectamente el contenido de sólidos disueltos totales presentes en el agua, por tanto, refleja la influencia de procesos tanto naturales como antrópicos en la calidad del recurso hídrico. Según Yana, (2017a) indica una mineralización moderada, correlacionable indirectamente con sólidos totales disueltos (TDS) estimados en torno a 272-284 mg/L. Los incrementos estacionales reportados por Brousett-Minaya et al., (2018) señalan que, durante los primeros meses del año, las lluvias intensas provocan el arrastre de sustancias del suelo, favoreciendo la disolución y movilización de sales hacia los cuerpos de agua superficiales. Estos antecedentes confirman que la conductividad del río Azángaro responde a una combinación de procesos naturales y antrópicos (agricultura, minería), estableciendo una línea base adecuada para evaluar tratamientos posteriores.

## **4.2. Caracterización de las muestras tratadas con coagulación química y electrocoagulación**

### **4.2.1. Análisis de parámetros físico-químicos mediante el tratamiento de coagulación química**

Los valores de la caracterización físico-química mediante el tratamiento de coagulación química se muestran en la (Tabla 18).

**Tabla 18.***Parámetros fisicoquímicos*

	<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Inicial</b>	<b>Valor Post Tratamiento</b>	<b>Límites Máximos Permisibles</b>
<b>1</b>	Turbidez	NTU	48.16	0.81	5
<b>2</b>	Sólidos totales disueltos	mg/L	314	174	1 000
<b>3</b>	Conductividad	µmho/cm	624	338	1 500
<b>4</b>	pH	Valor de pH	8.02	7.5	6,5 a 8,5

Los resultados expuestos en la Tabla 18 evidencian una mejora sustancial en la calidad del agua tratada, logrando la estabilización del pH en 7.5 unidades, una reducción de los Sólidos Totales Disueltos a 174 mg/L y una disminución de la turbidez hasta 0.81 NTU. Estos valores no solo demuestran la eficacia del tratamiento, sino que aseguran el cumplimiento estricto de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA), garantizando la aptitud sanitaria del recurso hídrico.

La alta eficiencia alcanzada en este estudio es consistente con lo reportado por Pérez, (2015) en el tratamiento de aguas del río Shullcas, quien demostró que el sulfato de aluminio es un coagulante altamente efectivo, logrando remociones promedio de turbiedad del 96.55%. De manera similar, los resultados actuales (0.81 NTU) se posicionan favorablemente frente a investigaciones como la de (Cahuantico, 2019), quien al tratar aguas del río Rímac con alta carga de sedimentos (21 a 2313 NTU), logró reducciones significativas (hasta 1.16 NTU) utilizando dosis entre 25 y 180 mg/L. Esto confirma que la coagulación química es una tecnología robusta capaz de adaptarse a diferentes cargas contaminantes para alcanzar niveles de clarificación óptimos.

Asimismo, la relación entre la dosificación y el cumplimiento de la normativa nacional es respaldada por Galindo, (2018), En sus ensayos, el autor determina que el ajuste preciso de la dosis de sulfato de aluminio oscilando entre 29-34 mg/L en época de avenidas y 24-29 mg/L en estiaje, es determinante para asegurar una turbidez final menor a 5 NTU. Por lo que, la correlación entre los hallazgos de (Galindo, 2018) y los datos de

la presente investigación ratifican que, bajo condiciones controladas de operación, la coagulación química es un método confiable para satisfacer los estándares de calidad exigidos por la normatividad peruana vigente.

#### 4.2.2. Análisis de parámetros fisicoquímicos mediante el tratamiento de electrocoagulación

Los valores de la caracterización físico-química mediante tratamiento de electrocoagulación se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19.**

*Parámetros fisicoquímicos*

	<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Inicial</b>	<b>Valor Post Tratamiento</b>	<b>Límites Máximos Permisibles</b>
<b>1</b>	Turbidez	NTU	48.16	0.81	5
<b>2</b>	Sólidos totales disueltos	mg/L	374	132	1 000
<b>3</b>	Conductividad	µmho/cm	624	253	1 500
<b>4</b>	pH	Valor de pH	8.02	7.7	6,5 a 8,5

Los resultados expuestos en la Tabla 19 evidencian la eficacia del proceso de electrocoagulación, logrando optimizar la calidad del agua hasta alcanzar niveles aptos para el consumo humano, garantizando su conformidad con el DS N° 031-2010-SA. Específicamente, el pH final de 7.7 se ubicó dentro del rango de neutralidad exigido (6.5 – 8.5), mientras que los Sólidos Totales Disueltos (132 mg/L) se mantuvieron muy por debajo del Límite Máximo Permisible de 1000 mg/L. Asimismo, la turbidez se redujo a 0.81 NTU, un valor inferior al límite normativo de 5 NTU, lo que ratifica la alta eficiencia del sistema para la potabilización y clarificación del agua.

Respecto a la eficiencia de remoción, los valores alcanzados son consistentes con estudios previos que emplearon densidades de corriente y tiempos de contacto similares. Huaman & Muñoz, (2019) reportaron una remoción del 99.35% operando a 60 minutos y 20.90 mA/cm<sup>2</sup>, condiciones que se asemejan a la alta eficiencia observada en este estudio. Esta tendencia es corroborada por investigaciones recientes como las de (Fernandez, 2025) y (Barja et al., 2025), quienes obtuvieron eficiencias de remoción de turbidez del 95% y 96.67% respectivamente, confirmando que la electrocoagulación es

una tecnología robusta capaz de alcanzar valores de clarificación comparables a los obtenidos en el presente trabajo.

En cuanto a la influencia del pH, se observa que el ajuste hacia la neutralidad es determinante para optimizar el proceso. Este comportamiento es análogo a lo documentado por Velasquez & Zúñiga, (2023), quienes lograron reducir la turbidez desde niveles críticos (234 NTU y 196 NTU) hasta valores inferiores a 1.0 NTU (0.60 y 0.50 NTU) al ajustar el pH ácido inicial hacia rangos neutros (7.61 y 6.99). Esto confirma que, tal como ocurrió en nuestros resultados, la neutralización favorece la formación de flóculos de hidróxido metálico, maximizando la captura de partículas coloidales. Además, Pérez-Sicairos et al., (2011) validaron la aplicabilidad de este fenómeno en muestras de agua del río Tamazula, destacando una alta eficiencia general que respalda la efectividad del método en las condiciones evaluadas en esta tesis.

Respecto a la remoción de Sólidos Totales Disueltos (TDS), el proceso demostró ser competitivo frente a otros informes. Mientras que Apaza, (2024) identificó eficiencias de remoción del 65.93% para TDS y 69.87% para turbidez, otros autores han reportado rendimientos superiores bajo condiciones intensificadas. Es el caso de Ramón, (2020), quien señaló que incrementar la intensidad de corriente a 3 A y el tiempo a 20 minutos permite alcanzar remociones de sólidos suspendidos del 89.43%. Asimismo, Blas & Conislla, (2021), que lograron 91% de eficiencia en TDS. obtuvieron una eficiencia destacable del 91% en la remoción de TDS. Estos antecedentes sugieren que los parámetros aplicados en esta investigación no solo son efectivos para la turbidez, sino que presentan un potencial significativo para la reducción de carga iónica y sólidos disueltos, alineándose con las tendencias de alta eficiencia reportadas.

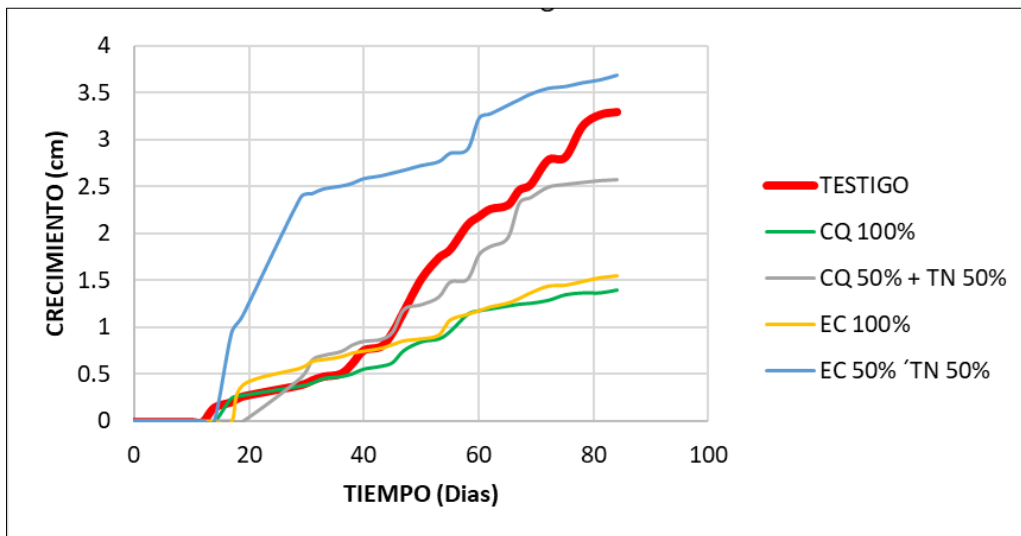
#### **4.3. Aplicación de los lodos de coagulación química y electrocoagulación en el crecimiento del Ceticio (*Cytisus racemosa*).**

Para conocer las mejores combinaciones de las variables de lodos de coagulación química, electrocoagulación y uno de control (testigo), se hicieron una serie de análisis para determinar la eficiencia.

Se muestran variaciones en el crecimiento de las plántulas de Ceticio; a base del tipo de muestra (muestra representativa, lodos de coagulación química y electrocoagulación) vs el tiempo.

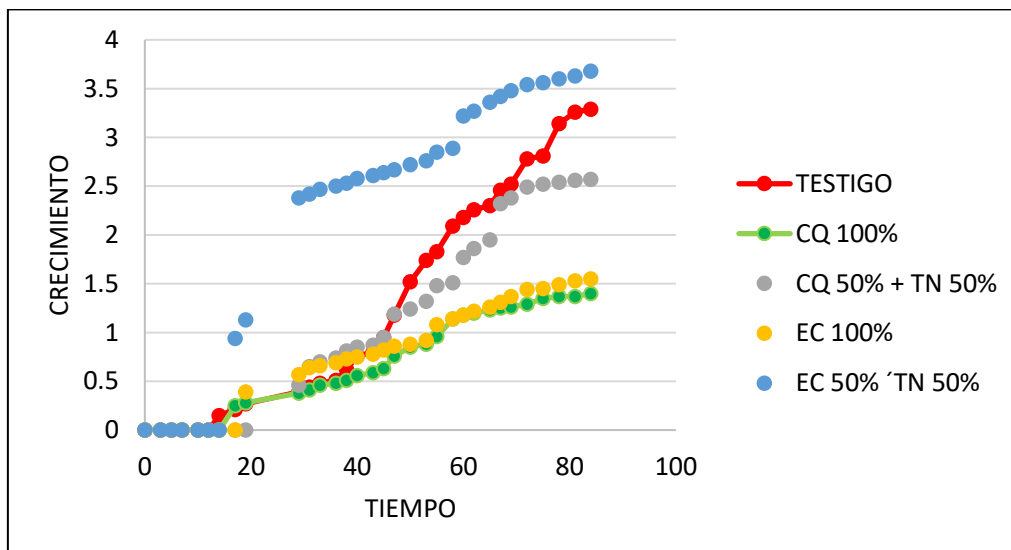
**Figura 27.**

*Crecimiento vs tiempo*



**Figura 28.**

*Intervalos de crecimiento*



En la figura 27 y 28, se muestra el comportamiento del crecimiento (en cm) de plantas (o unidades experimentales) durante un período de 90 días, bajo cinco tratamientos diferentes, uno de ellos actuando como testigo. En el eje Y se representa el crecimiento acumulado, y en el eje X, el tiempo en días.

El tratamiento EC 50% + TN 50% (azul) presentó el mayor crecimiento acumulado al final del período, alcanzando aproximadamente 3.6 cm a los 90 días. Este tratamiento también mostró una tasa de crecimiento más temprana y sostenida a lo largo del tiempo.

- La muestra testigo o control (rojo) mostró un crecimiento significativo, alcanzando cerca de 3.2 cm, destacándose por una aceleración pronunciada a partir de los 40 días.
- La combinación de lodos de CQ 50% + TN 50% (gris) tuvo un desempeño intermedio, con un crecimiento final de alrededor de 2.7 cm, evidenciando una respuesta positiva al combinar compost químico con tratamiento natural.
- Lodos de Coagulación Química CQ 100% (verde) y Electrocoagulación EC 100% (amarillo) presentaron los valores más bajos de crecimiento acumulado, alrededor de 1.5 cm, y curvas más planas, lo cual indica un efecto limitado o menor eficiencia al ser aplicados de forma individual.

El gráfico revela que la combinación de lodos de electrocoagulación con tierra negra (TN) en proporción 50:50 es el tratamiento más eficaz en términos de crecimiento vegetal durante el período evaluado. Este tratamiento no solo logra el mayor crecimiento acumulado, sino que también presenta una respuesta temprana y sostenida, lo cual puede indicar una mejor disponibilidad de nutrientes, mejora en la estructura del suelo, o sinergia entre componentes orgánicos y naturales.

Por otro lado, los tratamientos con uso exclusivo de lodos de coagulación química o electrocoagulación al 100% resultaron menos efectivos, sugiriendo que un solo tipo de insumo puede no cubrir todos los requerimientos nutricionales o puede generar condiciones subóptimas para el desarrollo vegetal. La combinación con TN (Tierra Negra) parece corregir estas limitaciones, alineándose con hallazgos previos como los de Apaza & Quirita, (2020), quienes evaluaron biosólidos de PTAR como abono en plántones de *Myoporum laetum*. En su estudio, la mezcla M2 (30% biosólido-70% tierra agrícola) superó a proporciones más altas (M3: 50:50; M4: 70:30) en altura de planta, número de hojas y ramificaciones tras 8 semanas, destacando que dosis moderadas de biosólidos optimizan el crecimiento al equilibrar nutrientes sin saturar el sustrato.

Asimismo, los resultados obtenidos en esta investigación contrastan con Téllez-Pérez et al., (2018), quienes reportaron tiempos prolongados de germinación en semillas de maíz azul criollo con sustratos de lodo de nejayote (LNC25 crudo; LNCF25 y LNCF50 tratados por coagulación/floculación) debido a su bajo contenido de materia orgánica. La mezcla 50:50 con TN (tierra negra) mitiga este efecto, posiblemente por la contribución orgánica de la tierra negra, acelerando la respuesta vegetal. De modo similar, Francisco

et al., (2011) demuestra la acción fertilizante de lodo seco de PTAR en maíz con dosis bajas (0,08-0,24 kg por 4 kg de sustrato), beneficiando el crecimiento a los 60 días; Esto respalda la superioridad de tus tratamientos combinados sobre los puros, donde dosis elevadas (100%) podrían inhibir el desarrollo.

La muestra testigo o control, si bien no es intervenido, alcanza un crecimiento notable. Esto podría interpretarse como indicio de condiciones de base favorables del sistema (suelo, clima, etc.) o de la necesidad de reevaluar los objetivos de los tratamientos en comparación con el manejo tradicional.

**Tabla 20.**

*ANOVA de un solo factor: Crecimiento vs. Tipo*

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

*Nota. Se propuso igualdad de varianzas para el análisis*

**Tabla 21.**

*Información del factor*

Factor	Niveles	Valores
Tipo	5	CQ 100%; CQ50+TN50%; EC 100%; EC50+TN50%; Testigo

**Tabla 22.**

*Análisis de Varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo	4	47.52	11.8798	13.11	0.000
Error	155	140.43	0.9060		
Total	159	187.95			

**Tabla 23.**

*Comparaciones en parejas Tukey*

Tipo	N	Media	Agrupación
EC 50 + TN 50%	32	2.214	A
Testigo	32	1.279	B
CQ 50 + TN 50%	32	1.117	B
EC 100%	32	0.7722	B
CQ 100%	32	0.6887	B

*Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Asimismo, se agruparon información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.*

#### 4.4. Análisis estadístico de datos

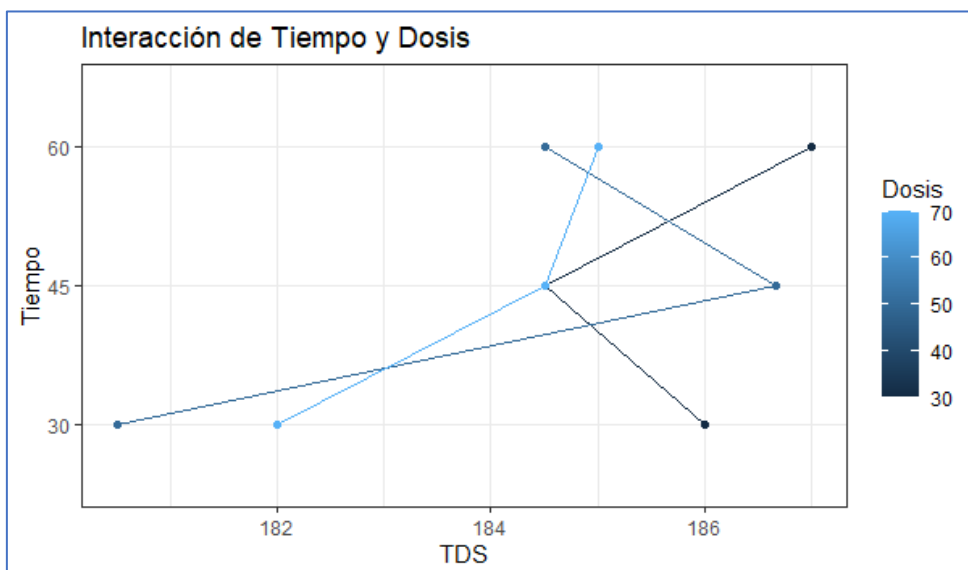
##### 4.4.1. Superficie respuesta por método de tratamiento coagulación química

###### a. Análisis de los sólidos disueltos totales (TDS) en función tiempo, dosis y pH

La interacción entre Tiempo-Dosis; muestra que la relación entre TDS y Tiempo difiere según el nivel de dosis de coagulante. Para dosis bajas, un incremento en TDS se asocia con una reducción del tiempo a valores altos, mientras que para dosis intermedias y altas el incremento en TDS produce aumentos del tiempo en rangos específicos. La presencia de líneas no paralelas y con cruces; indica una interacción estadísticamente relevante entre ambos factores.

**Figura 29.**

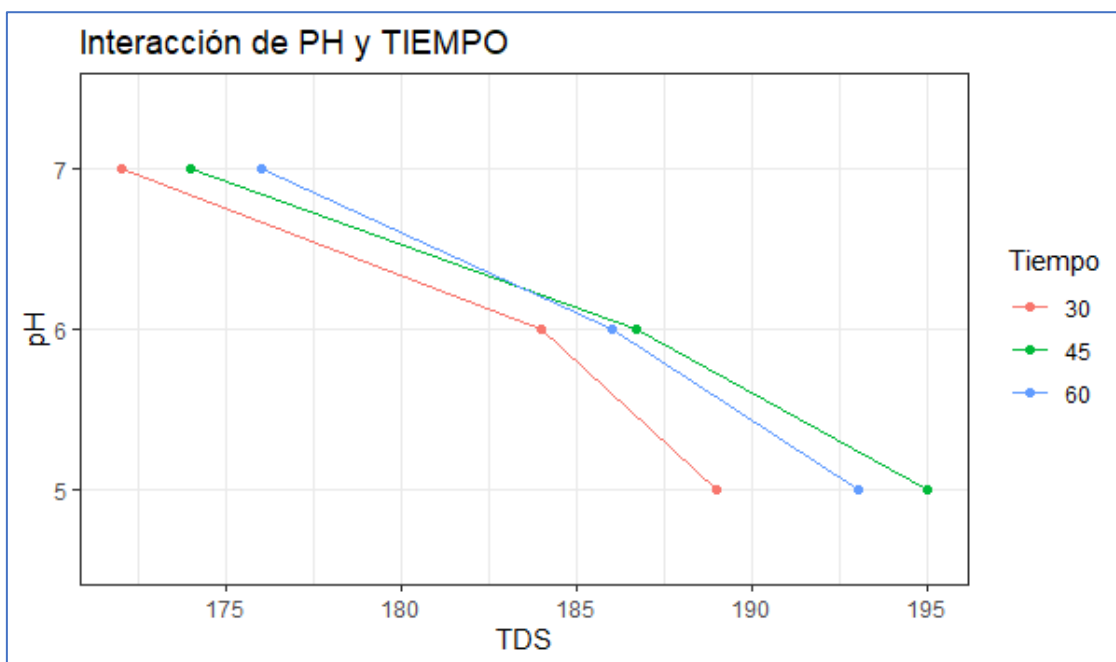
*Superficie respuesta de la interacción entre el Tiempo y Dosis*



En la figura 30 se muestra que, a medida que aumenta la concentración de sólidos disueltos totales (TDS), el pH del agua disminuye de forma casi lineal en los tres tiempos evaluados, lo que indica que el medio se vuelve progresivamente más ácido. Además, las diferencias entre las pendientes de las líneas de 30, 45 y 60 minutos son pequeñas, por lo que la interacción entre TDS y tiempo es débil: el efecto principal lo ejerce TDS y no el tiempo.

**Figura 30.**

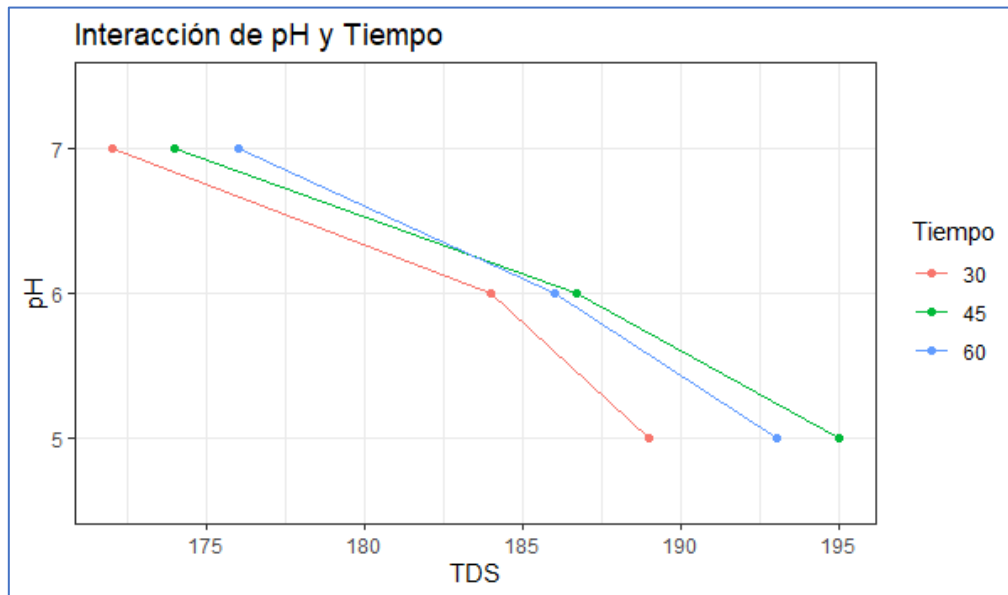
*Superficie respuesta de la interacción entre el PH y tiempo*



En la figura 31 muestra que, a medida que aumenta la concentración de sólidos disueltos totales (TDS), el pH del agua disminuye de forma casi lineal en los tres tiempos evaluados, lo que indica que el medio se vuelve progresivamente más ácido. Además, las diferencias entre las pendientes de las líneas de 30, 45 y 60 minutos son pequeñas, por lo que la interacción entre TDS y tiempo es débil: el efecto principal lo ejerce TDS y no el tiempo.

**Figura 31.**

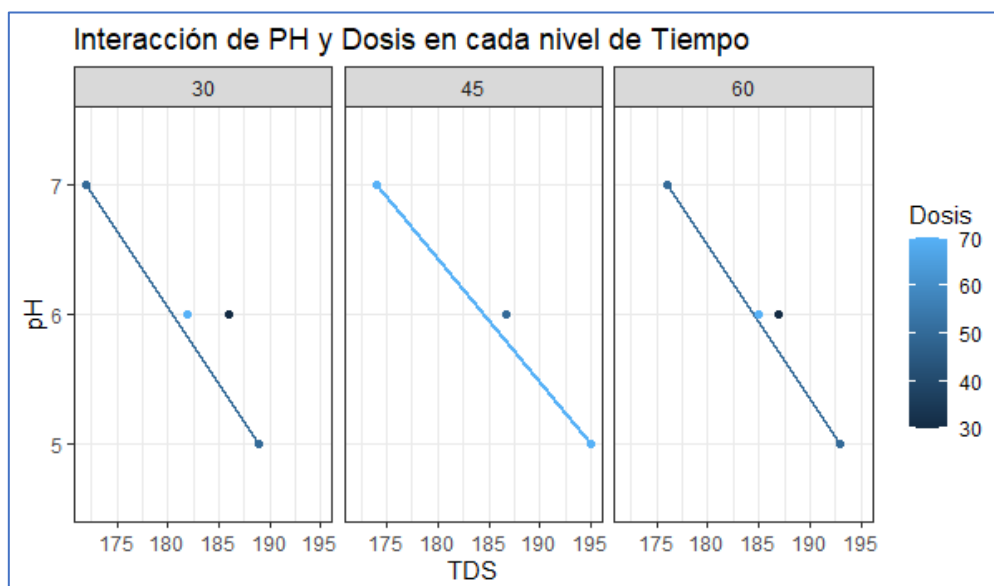
*Superficie respuesta de la interacción entre el pH y tiempo*



En la figura 32 muestra que, en los tres niveles de tiempo (30, 45 y 60 minutos), el aumento de TDS se asocia con una disminución del pH, y que este patrón se observa principalmente cuando se aplica la dosis alta (70mg/l), mientras que la dosis baja (30mg/l) mantiene valores de pH intermedios alrededor de 6. En términos de interacción, la pendiente negativa marcada en la dosis alta, frente al punto casi aislado de la dosis baja, indica que el efecto acidificante de TDS sobre el pH depende de la dosis aplicada en cada tiempo.

**Figura 32.**

*Superficie respuesta de la interacción entre el PH y Dosis en cada nivel de tiempo*

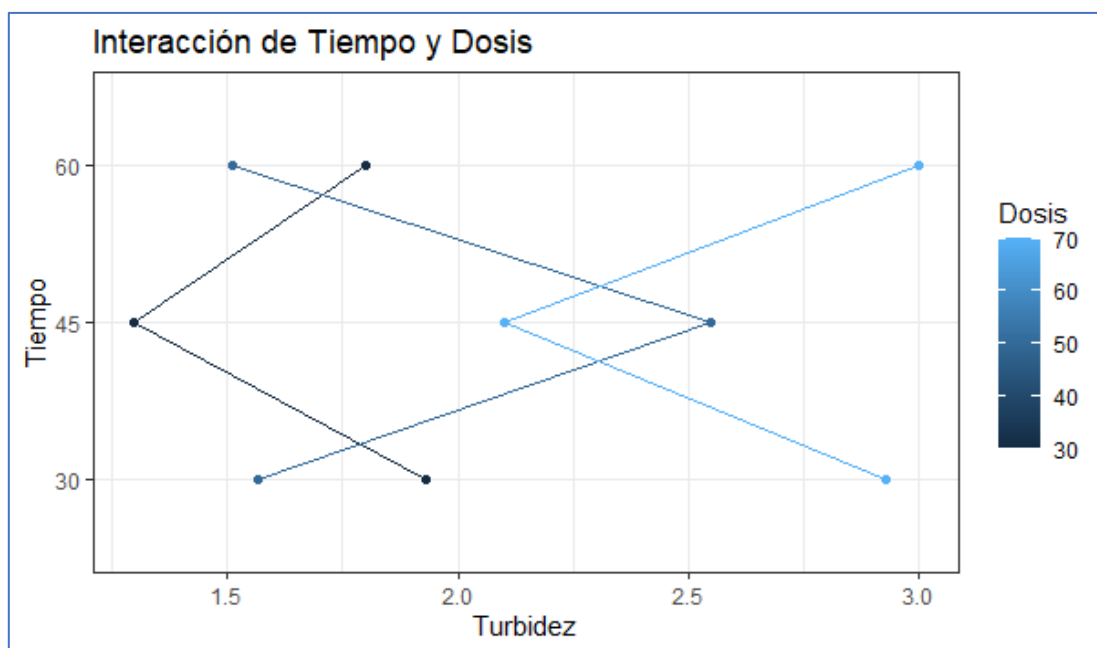


### b. Análisis de la turbidez en función tiempo, dosis y pH

En la figura 33, se observa una interacción marcada entre el tiempo de contacto y la dosis sobre la turbidez: las líneas correspondientes a las distintas dosis se cruzan, lo que indica que el efecto de la turbidez sobre el tiempo no es constante, sino que cambia según el nivel de dosis aplicado. Dicho de forma formal, el efecto de un factor (turbidez) sobre la respuesta (tiempo) depende del nivel del segundo factor (dosis), lo que es característico de una interacción fuerte en diseños factoriales.

**Figura 33.**

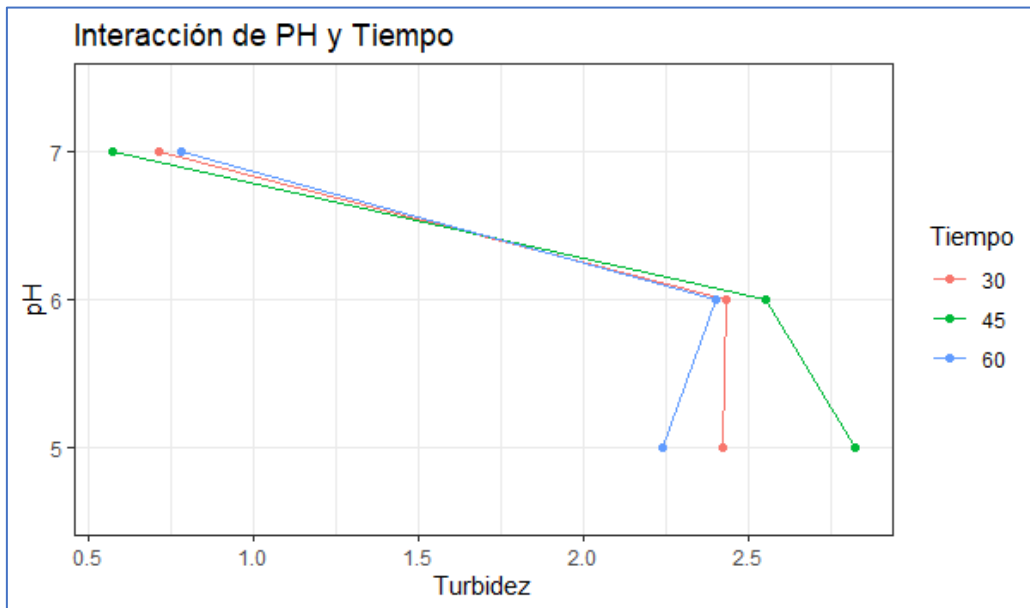
*Superficie respuesta de la interacción entre el tiempo y Dosis*



En la figura 34 indica que, dentro del rango estudiado, la turbidez se asocia con una disminución del pH y que este patrón es prácticamente el mismo para los tres tiempos (30, 45 y 60 minutos), es decir, el efecto principal lo ejerce la turbidez y no el tiempo. Las líneas de los tres niveles de tiempo son casi paralelas y se superponen en gran parte, por lo que no se aprecia una interacción relevante entre tiempo y turbidez sobre el pH.

**Figura 34.**

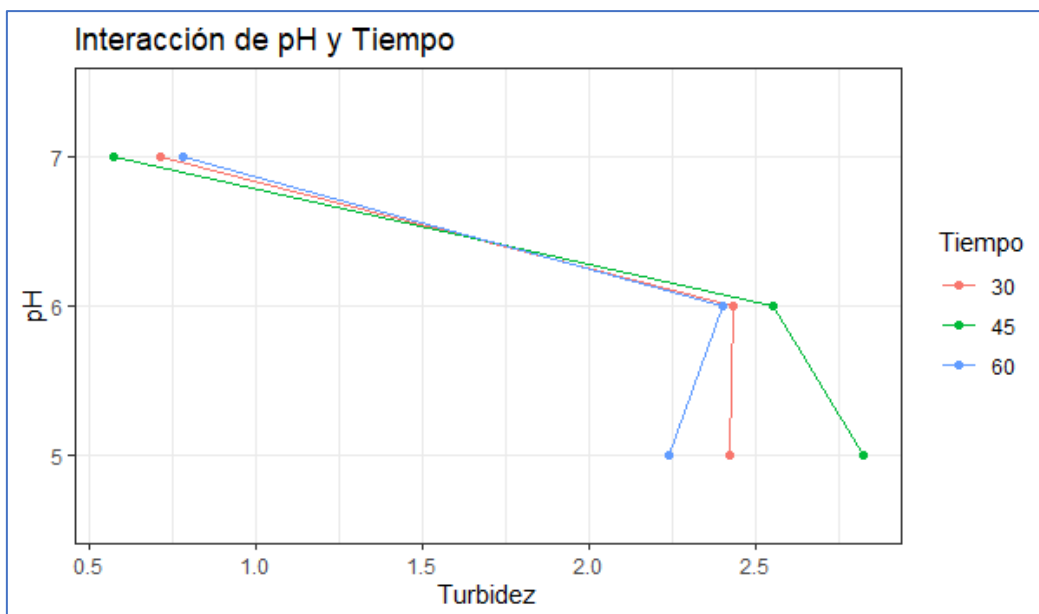
*Superficie respuesta de la interacción entre el PH y tiempo*



En la figura 35 se muestra que la turbidez se asocia con una disminución del pH y que este efecto es prácticamente el mismo para los tres tiempos (30, 45 y 60 minutos), de modo que la variable determinante sobre el pH es la turbidez y no el tiempo. Las curvas de los tres niveles de tiempo son casi paralelas y se superponen en gran parte del rango, por lo que la interacción tiempo×turbidez sobre el pH es débil o inexistente desde el punto de vista estadístico.

**Figura 35.**

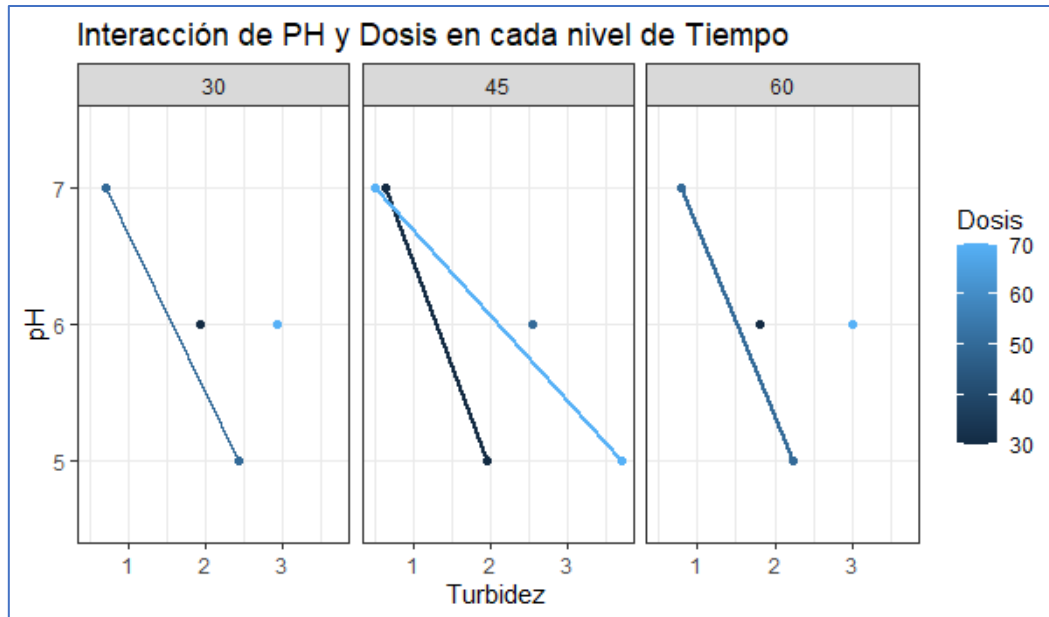
*Superficie respuesta de la interacción entre el pH y tiempo*



En la figura 36 indica que, para cada tiempo de contacto (30, 45 y 60 minutos), el aumento de turbidez se asocia con una disminución del pH cuando se aplica la dosis alta (70 mg/l), mientras que con la dosis baja (30 mg/l) el pH se mantiene alrededor de 6, relativamente estable frente a cambios de turbidez. Esto señala una interacción clara: el efecto de la turbidez sobre el pH depende del nivel de dosis aplicado en cada tiempo.

**Figura 36.**

*Superficie respuesta de la interacción entre el PH y dosis en cada nivel de tiempo*

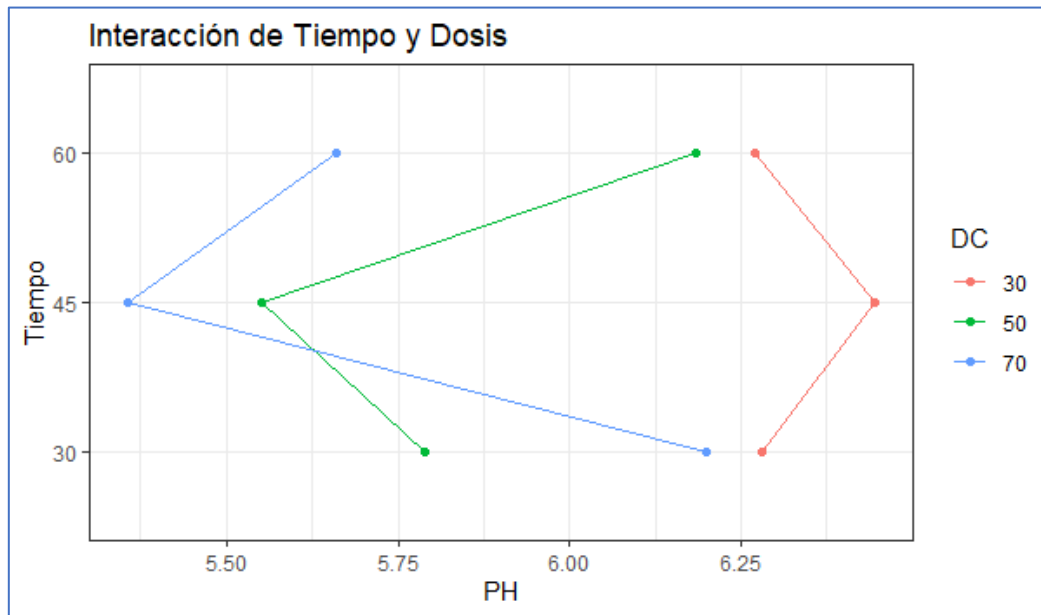


**c. Análisis de la PH en función tiempo, dosis y pH**

En el gráfico 37, se evidencia una interacción clara entre el tiempo de contacto y la dosis sobre el pH: las líneas correspondientes a las dosis se cruzan y no son paralelas, lo que indica que el efecto de la dosis sobre el pH depende del tiempo y, recíprocamente, que el efecto del tiempo depende del nivel de dosis. Por tanto, no se puede describir el comportamiento del pH mencionando solo “tiempo” o solo “dosis”; es necesario considerar la combinación específica de ambos factores.

**Figura 37.**

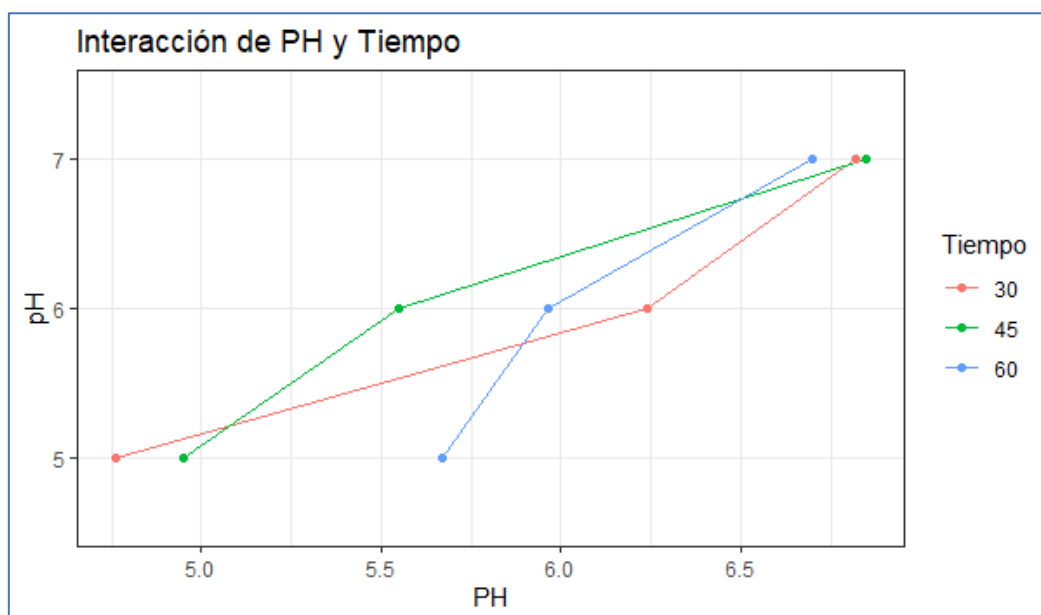
*Superficie respuesta de la interacción entre el tiempo y Dosis*



En la figura 38 se muestra que, en el rango estudiado, a medida que el pH de la solución aumenta también aumenta el pH final medido, y este patrón ascendente se observa en los tres tiempos (30, 45 y 60 minutos), aunque con pendientes ligeramente distintas. Las líneas no se cruzan ni divergen de forma marcada, por lo que la interacción tiempo×pH es débil: el efecto principal lo ejerce el pH inicial y el tiempo solo modula levemente la magnitud del cambio.

**Figura 38.**

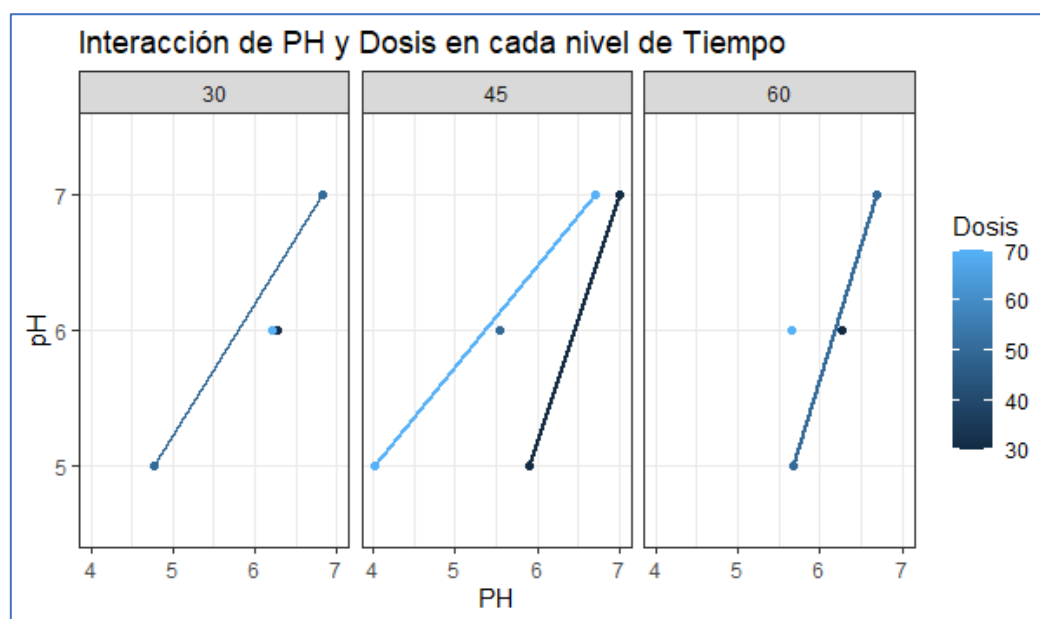
*Superficie respuesta de la interacción entre el PH y tiempo*



En la figura 39 indica que, en cada nivel de tiempo (30, 45 y 60 minutos), el aumento del pH en el eje X se asocia con un incremento del pH medido en el eje Y, tanto para la dosis baja (30 mg/l) como para la dosis alta (70mg/l), con pendientes positivas muy similares entre sí. Esto sugiere que el efecto principal sobre el pH de respuesta lo ejerce el pH inicial, mientras que la dosis únicamente desplaza ligeramente el nivel de pH sin cambiar la forma de la relación.

**Figura 39.**

*Superficie respuesta de la interacción entre el PH y dosis en cada nivel de tiempo*



#### 4.4.2. Superficie respuesta por método de tratamiento electrocoagulación

##### a. Análisis de los sólidos disueltos totales (TDS) en función del tiempo, DC y pH

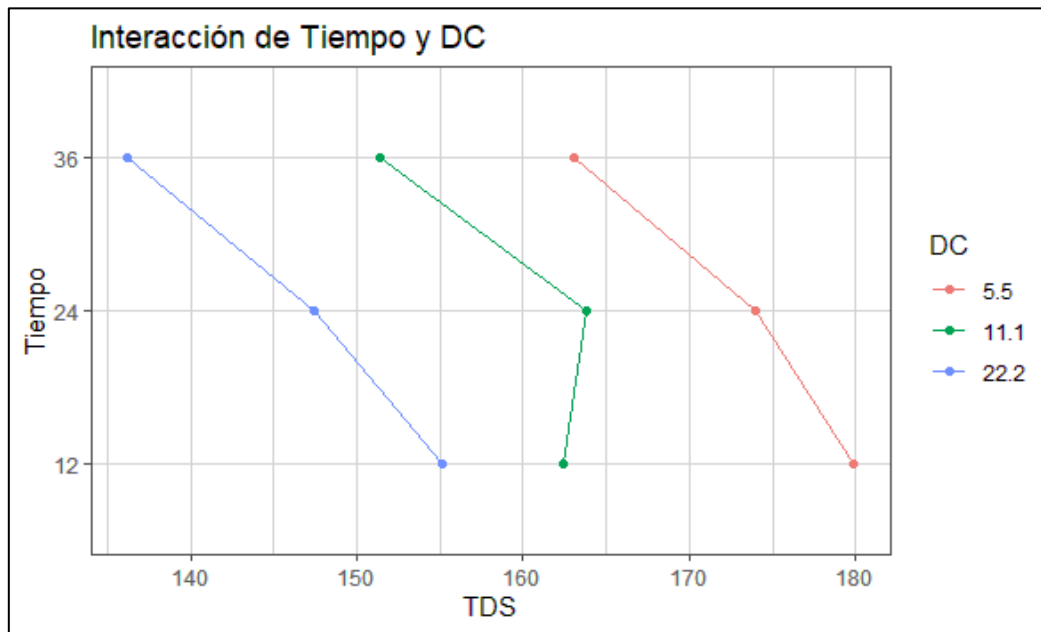
Los resultados evidencian cómo el tiempo, la densidad de corriente y el pH, influyen en los cambios de los STD que experimenta el agua durante el proceso de tratamiento mediante electrocoagulación.

En la figura 40, se muestra la relación entre el tiempo de tratamiento y la dosis de coagulante (DC) sobre la turbidez. Se observa que al incrementar la dosis de coagulante la turbidez disminuye, siendo más evidente esta tendencia en la dosis de 5.5 A/m<sup>2</sup>, donde el efecto del tiempo es más marcado. En cambio, a intensidades de corriente mayores (11.1 y 22.2 A/m<sup>2</sup>), la turbidez se mantiene baja y estable, evidenciando que el aumento de dosis permite alcanzar rápidamente un nivel óptimo de remoción. La interacción entre ambos factores indica que, a bajas dosis, el tiempo influye significativamente en la eficiencia, mientras que a dosis más altas su efecto se reduce. Esto sugiere la posibilidad

de optimizar el proceso ajustando uno de los parámetros sin afectar de forma notable la calidad del tratamiento.

**Figura 40.**

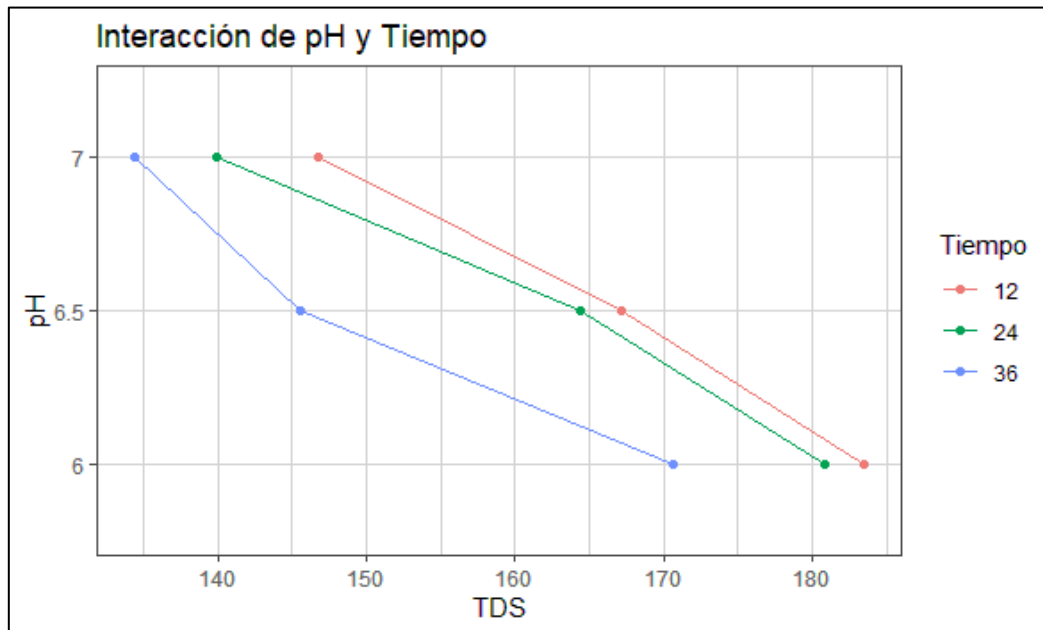
*Superficie respuesta de la interacción entre el tiempo y DC*



En la figura 41, se muestra la relación entre el pH y el tiempo de sedimentación (12, 24 y 36 minutos) en función de la concentración de sólidos disueltos totales (TDS). Se observa una tendencia general de disminución del pH conforme aumentan los TDS, con variaciones en la pendiente según el tiempo de sedimentación. A tiempos más cortos (12 y 24 minutos), el pH desciende de manera gradual, mientras que a 36 minutos presenta valores consistentemente menores, evidenciando una reducción más pronunciada. Este comportamiento indica una interacción significativa entre el pH y el TDS, donde el incremento del tiempo de sedimentación intensifica los efectos de los procesos fisicoquímicos de coagulación-sedimentación sobre el equilibrio del sistema.

**Figura 41.**

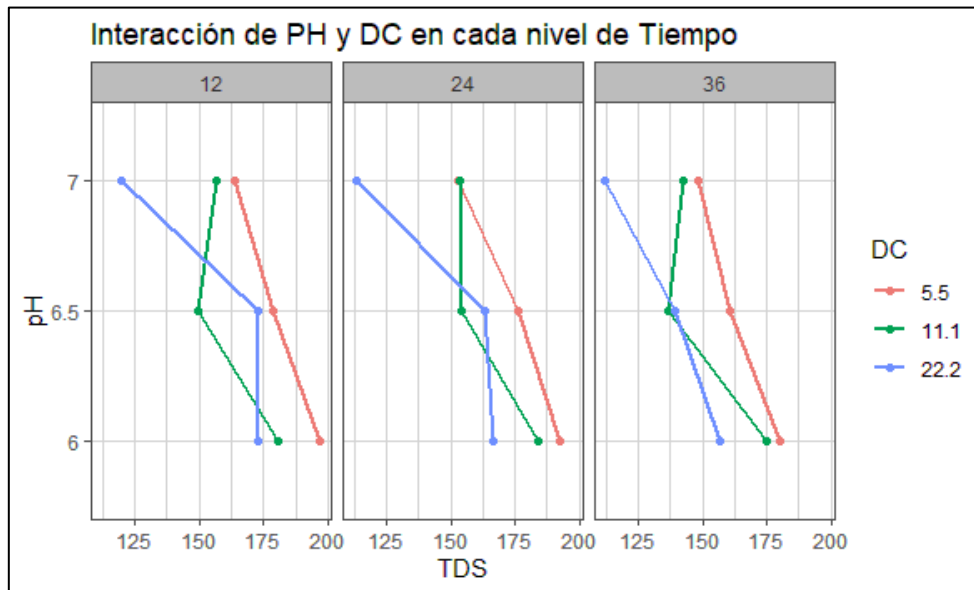
*Superficie respuesta entre la interacción del pH y tiempo*



La figura 42 muestra la variación del pH en función de la concentración de sólidos disueltos totales (TDS) para tres dosis de coagulante (5.5, 11.1 y 22.2 A/m<sup>2</sup>) bajo distintos tiempos de sedimentación (12, 24 y 36 minutos). En todas las condiciones, el pH disminuye conforme aumentan los TDS, aunque la magnitud del descenso depende de la dosis y del tiempo. A menores tiempos y dosis, la reducción del pH es moderada, mientras que, a mayores intensidades de corriente y tiempos prolongados, el descenso es más pronunciado. Esto evidencia una interacción entre la dosis de coagulante y el tiempo de sedimentación, donde ambos factores contribuyen a la disminución del pH, posiblemente por reacciones ácido-base asociadas al proceso de coagulación. Dicho comportamiento resulta relevante para el diseño del tratamiento, ya que niveles de pH más bajos pueden incidir en la eficiencia del sistema o requerir ajustes posteriores.

**Figura 42.**

*Interacción del pH y DC en cada nivel de tiempo*

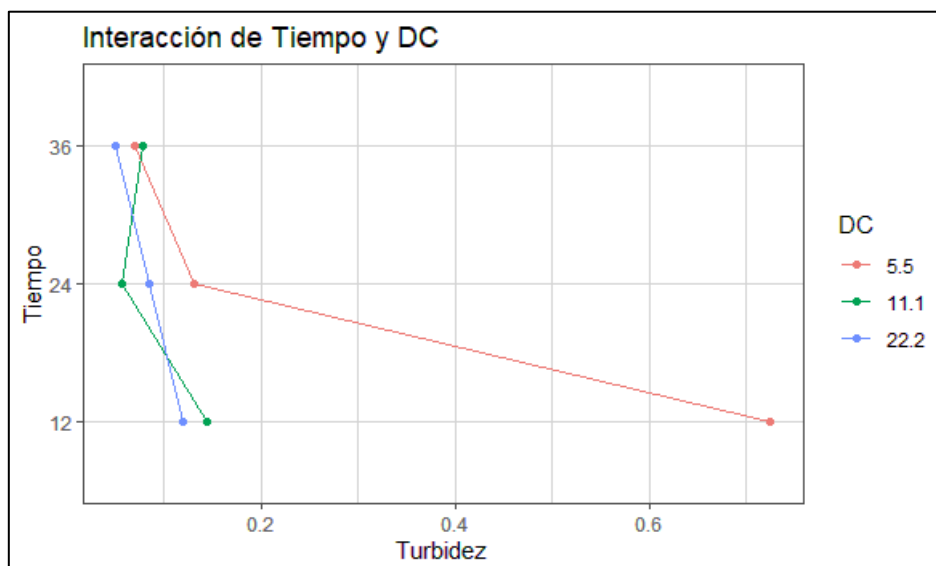


**b. Análisis de la turbidez en función del tiempo, DC y pH**

En la figura 43 muestra la interacción entre el tiempo de tratamiento y la dosis de coagulante (DC) sobre la turbidez. Se observa que la turbidez disminuye al incrementar la dosis de coagulante, siendo este efecto más notorio en la dosis de 5.5 A/m<sup>2</sup>, donde el tiempo influye de manera más significativa. En cambio, para intensidades de corriente mayores (11.1 y 22.2 A/m<sup>2</sup>), la turbidez permanece baja y estable, indicando que dosis altas permiten alcanzar rápidamente una remoción óptima.

**Figura 43.**

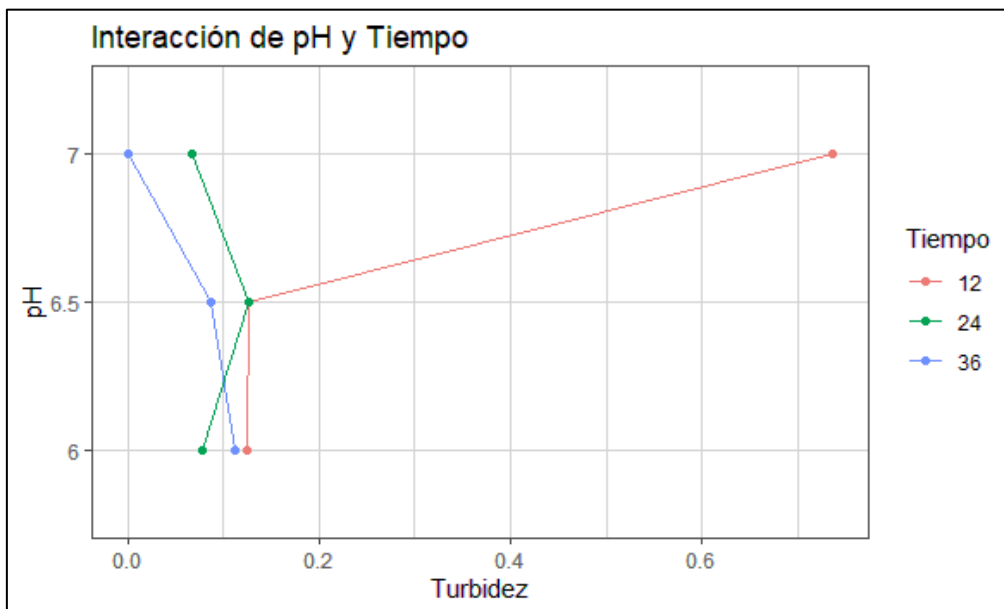
*Superficie respuesta entre la interacción del pH y DC*



En la figura 44 muestra la interacción entre el pH y el tiempo de tratamiento (12, 24 y 36 minutos) sobre la turbidez. En general, los valores de pH entre 6.0 y 7.0 se asocian con menores niveles de turbidez. A 12 minutos, el pH aumenta ligeramente con la turbidez, mientras que a 24 y 36 minutos se observa una tendencia inversa, con valores de pH más estables (6.0–6.5) y una mayor eficiencia de clarificación. Esto evidencia una interacción significativa entre el pH y el tiempo de tratamiento: a periodos más prolongados, el sistema alcanza un equilibrio químico más favorable para la remoción de turbidez, coherente con los principios fisicoquímicos del proceso de coagulación-floculación.

**Figura 44.**

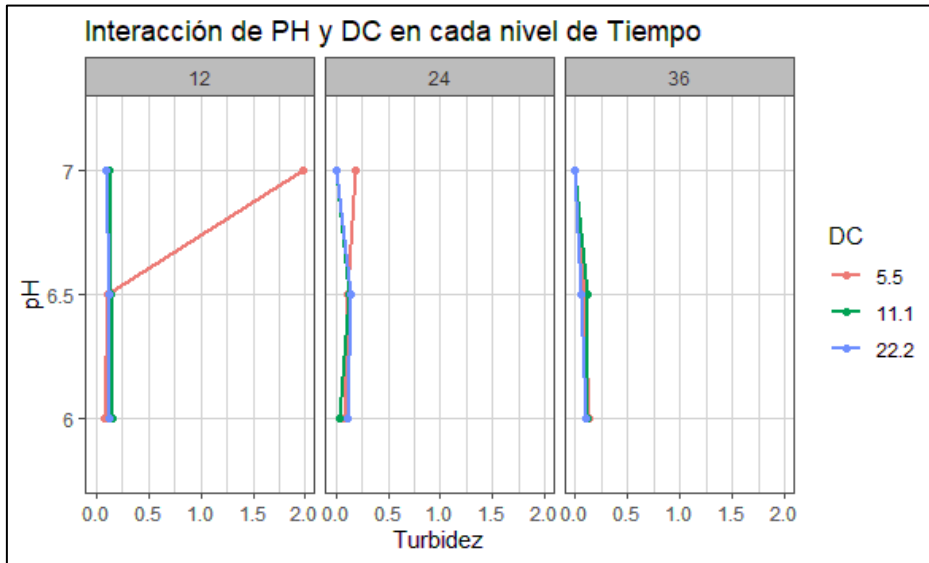
*Superficie respuesta entre la interacción del pH y tiempo*



El gráfico 45 muestra la interacción entre el pH y la dosis de coagulante (5.5, 11.1 y 22.2 A/m<sup>2</sup>) sobre la turbidez, considerando tres tiempos de tratamiento (12, 24 y 36 minutos). A los 12 minutos, las dosis más altas (11.1 y 22.2 A/m<sup>2</sup>) presentan una menor turbidez y un pH estable (6.0–6.5), mientras que la dosis más baja (5.5 A/m<sup>2</sup>) muestra mayor turbidez y pH elevado (7.0), indicando menor eficiencia. A los 24 minutos, la turbidez disminuye en todos los casos y las diferencias entre dosis se reducen, con pH dentro del rango de 6.0 - 7.0. Finalmente, a los 36 minutos, la turbidez alcanza valores cercanos a 0.0 NTU y el pH se mantiene estable, evidenciando un estado de equilibrio en el que tanto la dosis como el pH influyen mínimamente en la remoción, al haberse logrado una eficiencia óptima del tratamiento.

**Figura 45.**

*Interacción del pH y DC en cada nivel de tiempo*

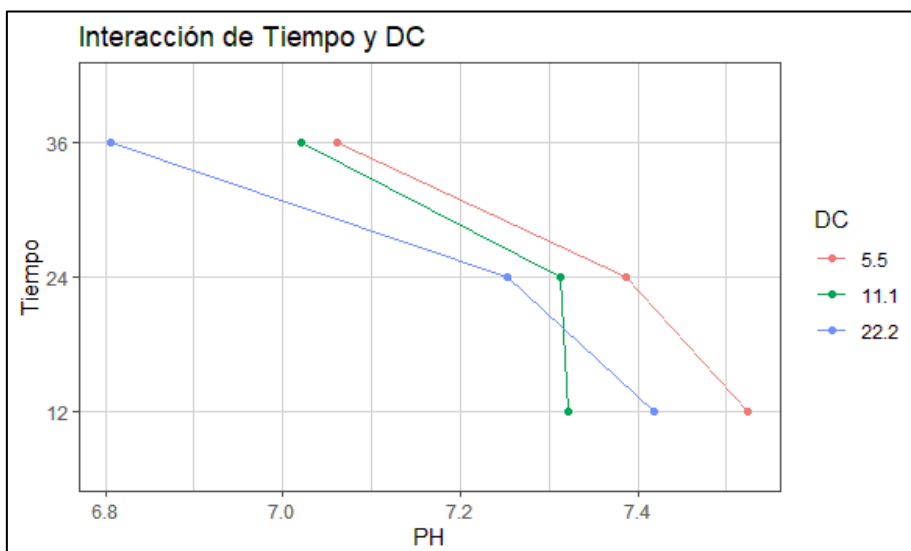


**c. Análisis del PH en función del tiempo, DC y pH**

En la figura 46 muestra la interacción entre el tiempo de tratamiento y la densidad de corriente (5.5, 11.1 y 22.2 A/m<sup>2</sup>) sobre el pH. En general, se observa una disminución del pH con el aumento del tiempo, lo que indica una tendencia hacia la estabilización del sistema. La dosis de 5.5 A/m<sup>2</sup> presenta los valores más altos de pH y una reducción gradual, mientras que la de 11.1 A/m<sup>2</sup> muestra un descenso moderado. En cambio, la dosis de 22.2 A/m<sup>2</sup> produce la mayor disminución, alcanzando valores cercanos a 6.8. Este comportamiento evidencia una interacción significativa entre el tiempo y la dosis.

**Figura 46.**

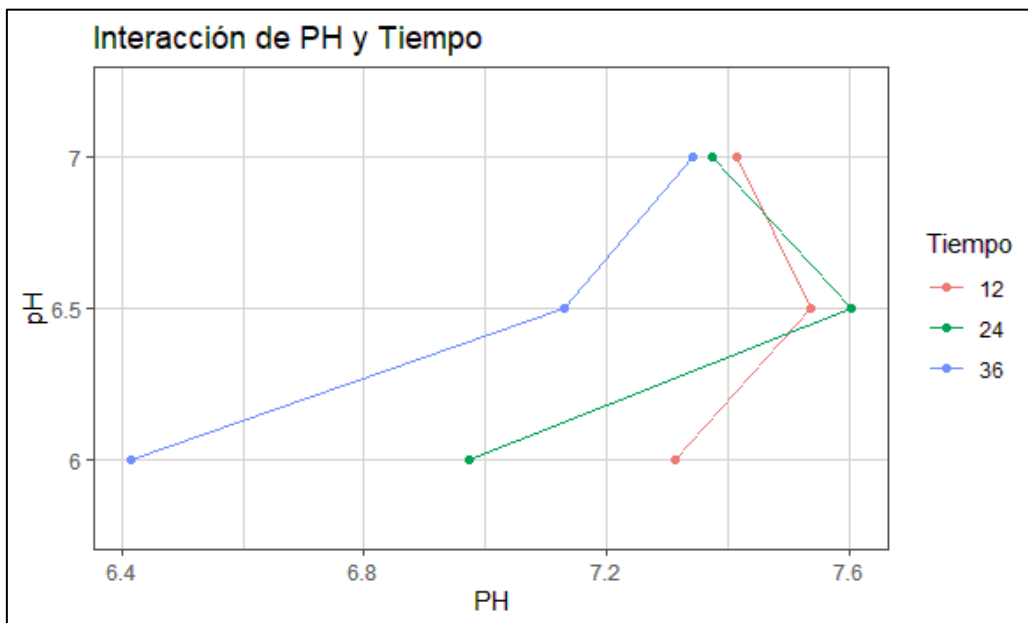
*Superficie respuesta entre la interacción del tiempo y DC*



En la figura 47 se muestra la interacción entre el pH y el tiempo de tratamiento (12, 24 y 36 minutos). A los 12 minutos, el pH presenta variaciones amplias (6.0 - 7.6), reflejando inestabilidad química inicial. A los 24 minutos, se observa una disminución seguida de un leve aumento del pH, lo que sugiere procesos de acidificación y posterior reajuste del equilibrio. Finalmente, a los 36 minutos, el pH evoluciona de forma estable hacia valores cercanos a la neutralidad (7.0), indicando un sistema más equilibrado y eficiente. En conjunto, los resultados evidencian que tiempos de tratamiento prolongados favorecen la estabilización del pH y la eficiencia global del proceso.

**Figura 47.**

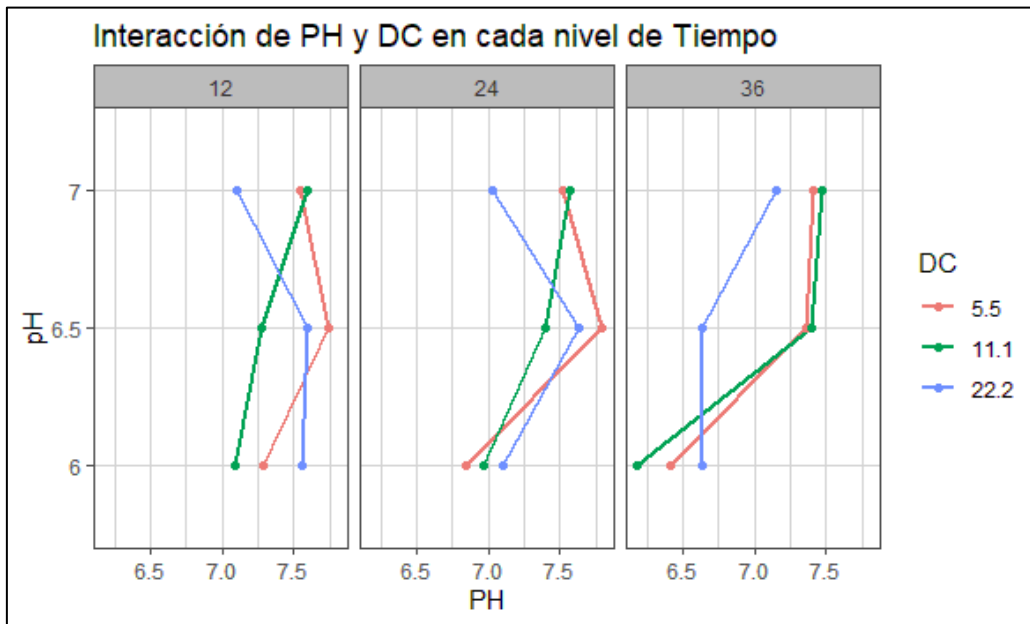
*Superficie respuesta entre la interacción del pH y tiempo*



En la figura 48 se muestra la interacción entre el pH y la densidad de corriente (5.5, 11.1 y 22.2 A/m<sup>2</sup>) en distintos tiempos de tratamiento (12, 24 y 36 minutos). A los 12 minutos, el pH presenta alta variabilidad: las densidades de corriente extremas (5.5 y 22.2 A/m<sup>2</sup>) registran valores más bajos (6.0), mientras que a densidad de corriente intermedia (11.1 A/m<sup>2</sup>) alcanza un pH cercano a la neutralidad (7.0). A los 24 minutos, el pH aumenta progresivamente con la densidad de corriente, manteniendo la mejor estabilidad con 11.1 A/m<sup>2</sup>. Finalmente, a los 36 minutos, el sistema muestra un comportamiento estable y un incremento general del pH en todas las dosis, destacando la acción neutralizante de la densidad de corriente más alta.

**Figura 48.**

*Interacción del pH y DC en cada nivel de tiempo*



#### 4.5. Contraste de hipótesis

##### 4.5.1. Hipótesis

Debido a que la electrocoagulación remueve contaminantes mediante la formación de coagulantes in situ, es probable que la electrocoagulación sea mucho más eficiente que la coagulación química en el tratamiento de agua para consumo humano en el distrito de Azángaro y que los lodos propicien un mayor desarrollo en la especie de Ceticio (*Cytisus racemosa*).

##### 4.5.2. Planteamiento de hipótesis

- **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** La electrocoagulación no tiene una mayor eficiencia respecto a la coagulación química en el tratamiento de agua para consumo humano en el distrito de Azángaro.
- **Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>):** La electrocoagulación tiene una mayor eficiencia respecto a la coagulación química en el tratamiento de agua para consumo humano en el distrito de Azángaro.
- **Nivel de significancia:** 0.05

**Tabla 24.***Prueba de T Student*

<b>Prueba Estadística</b>	<b>Variable Respuesta</b>	<b>Valor de T</b>	<b>Valor p</b>
T Student	Turbidez	7.53	0.000
	Solidos Totales Disueltos	5.37	0.000

Nota. Lectura del valor p: Con una probabilidad de error del 0 % la electrocoagulación tiene una mayor eficiencia respecto a la coagulación química en el tratamiento de agua para consumo humano en el distrito de Azángaro.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

La caracterización fisicoquímica del agua proveniente del río Azángaro, presentó las siguientes concentraciones: pH (8.02), temperatura (21.2 °C), conductividad eléctrica (624  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), oxígeno disuelto (1.31 mg/L), turbidez (48.16 NTU) y sólidos totales disueltos (314 mg/L). Al comparar estos resultados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el (D.S. N.º 031-2010-SA), se constató que la turbidez excede ampliamente los valores normativos permitidos, mientras que la concentración de oxígeno disuelto se encuentra en un rango crítico, evidenciando un estado severo de hipoxia ( $<5$  mg/L), condiciones que afectan la calidad del río Azángaro.

La aplicación del tratamiento por electrocoagulación en las muestras del río Azángaro evidenció una alta eficiencia en la remoción de contaminantes, logrando reducir la turbidez a 0.81 NTU y los sólidos disueltos totales (TDS) a 132 mg/L, evidenciando una alta eficiencia en la remoción de partículas suspendidas y solutos disueltos. Por su parte, el tratamiento mediante coagulación química también demostró ser eficaz, alcanzando valores finales de turbidez de 0.81 NTU y TDS de 174 mg/L, aunque con una eficiencia inferior respecto al proceso de electrocoagulación. En términos comparativos, la electrocoagulación demostró ser el método más eficiente para la mejora de la calidad del agua destinada a consumo humano en el distrito de Azángaro, debido a su mayor capacidad de remoción de sólidos disueltos y turbidez.

Los resultados experimentales evidenciaron que, la mayor eficiencia en el crecimiento de plántulas de *Cetico* se alcanzó con el sustrato compuesto por una mezcla de lodos provenientes del proceso de electrocoagulación al 50% y tierra negra, alcanzando una altura promedio de (3.68 cm). Este tratamiento mostró un mejor desempeño tanto en el crecimiento como en el desarrollo morfológico inicial de las plántulas. Este sustrato superó al suelo sin enmiendas y a la mezcla con lodos de coagulación química al 50%. Los tratamientos con lodos al 100%, tanto de electrocoagulación y coagulación química, mostraron un crecimiento reducido, evidenciando que concentraciones elevadas de lodos limitan el desarrollo vegetal.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar una caracterización integral de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados en distintas épocas hidrológicas, específicamente en periodos de estiaje y avenida. De esta manera será posible detectar si la concentración de contaminantes varía según la época del año, lo que facilitará una comprensión más profunda y confiable de cómo cambia la calidad del agua del río Azángaro a lo largo de los meses.

Se recomienda efectuar una caracterización integral del lodo producido durante el proceso de electrocoagulación y coagulación química, con el objetivo de determinar su clasificación como residuo peligroso o no peligroso, y proponer alternativas de disposición final o valorización.

Se recomienda realizar un análisis cuantitativo de metales pesados en los tejidos vegetales de la planta Ceticio, a fin de evaluar la presencia y magnitud de procesos de bioacumulación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, G., & Pujaico, J. F. (2019). *Condiciones óptimas de operación en una celda de electrocoagulación para la reducción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales domésticas* [Universidad Nacional del Callao]. <https://repositorio.unac.edu.pe/item/2caf4f28-ba70-4eed-a588-87ab7c233ebb>
- Aguilar, E. (2015). Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 18(35), 69–73. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11843/10570>
- Aguilar Villanueva, J., & Bazan Moya, J. (2018). Efecto de la intensidad eléctrica y el tiempo en la disminución de la materia orgánica y turbidez en la electrocoagulación de las aguas residuales de la ciudad universitaria UNT. In *Tes.* <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/079bf912-e0e5-4a55-8846-cdb58ce5849c/content>
- Alvarez, Y. Y., & Vilca, K. E. (2024). *Evaluación espacio-temporal de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo 2016-2023* [Universidad Nacional del Altiplano]. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza\\_Mamani\\_Joel\\_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Amador-Díaz, A., Veliz-Lorenzo, E., & Bataller-Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 46(1), 1–10. <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>
- ANA. (2020). *Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS)*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4479>
- Andia, T. A., Crispin, A. F., & Baez, G. D. (2021). *Evaluación del efecto del proceso de coagulación-floculación en la reducción de la DQO de aguas residuales de fluidos de corte de la industria metal-mecánica*. [https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6794/TI\\_2022\\_FIARN\\_CRISPIN\\_MENDOZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6794/TI_2022_FIARN_CRISPIN_MENDOZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Apaza, A. F., & Quirita, J. C. (2020). *Efectos del biosólido de la PTAR la Escalerilla como abono en el cultivo de plantones de Mioporo (Myoporum laetum) - Arequipa 2019*. <https://repositorio.utp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/031c58c8-fa3e-4d00-9a12-236d8fb902d7/content>
- Apaza, Y. J. (2024). *Evaluación de las celdas de electrocoagulación reutilizando latas de aluminio para el tratamiento de agua del río Torococha, Puno* [Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a08e9aab-c9dd-4b9f-abe3-6f1119671f60/content>
- Araque, M. (2022). *El agua en la naturaleza*. <https://doi.org/10.7476/9789978108208.0002>
- Araujo, L., Campos, L., & Chavarría, M. (2021). *Tratamiento de agua residual del camal conchucos mediante coagulación química seguido de electrocoagulación* [Universidad Nacional del Callao]. [https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6068/TESIS\\_PREGRADO\\_ARAUJO\\_CAMPOS\\_CHAVARRIA\\_FIQ\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6068/TESIS_PREGRADO_ARAUJO_CAMPOS_CHAVARRIA_FIQ_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arenas, E. M. (2019). *Efecto de la remoción del aceite de las semillas de Moringa oleifera en el tratamiento de aguas por coagulación-floculación* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3916/arenas-diaz-elizabeth-margarita.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arroyo, R. R., & Ramos, M. A. M. (2023). *Aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada, patarcocha, Cerro de Pasco*. <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/8160/TESIS - ARROYO - RAMOS.pdf?sequence=1>
- Autoridad Nacional del Agua (Perú). (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2026-ANA)*. Ministerio de Agricultura y Riego. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209>

- Aviles, R. L., & Portilla, A. J. (2021). *Remoción de carga orgánica del agua residual de conservación de la aceituna mediante electrocoagulación complementado con radiación ultravioleta* [Universidad Nacional del Callao]. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/6384>
- Ayuque-Rojas, J., Esteban-Carhuapoma, J., Huere, J., Ayuque-Laurento, C., Dueñas, C., & Yaulilahua, R. (2022). Tratamiento de aguas residuales con cámaras de electrocoagulación a escala de laboratorio. In *Tratamiento de aguas residuales con cámaras de electrocoagulación a escala de laboratorio*. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.060>
- Aziz, S., Mazhar, A. R., Ubaid, A., Shah, S. M. H., Riaz, Y., Talha, T., & Jung, D.-W. (2024). A comprehensive review of membrane-based water filtration techniques. *Applied Water Science*, *14*(8), 169. <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02226-y>
- Barja, R. A., Paucar, S., & Vilca, J. Y. (2025). *Eficiencia de la electrocoagulación con electrodos móviles en el tratamiento de agua residual doméstica a nivel laboratorio - 2025*. <https://repositorio.continental.edu.pe/item/ba191dd1-9d40-404e-97af-8efadd9b20d7>
- Barros, A., Vecino, X., Reig, M., & Cortina, J. L. (2022). Coagulation and Flocculation Optimization Process Applied to the Sidestream of an Urban Wastewater Treatment Plant. *Water*, *14*(24), 4024. <https://doi.org/10.3390/w14244024>
- Bharti, M., Das, P. P., & Purkait, M. K. (2023). Una revisión sobre el tratamiento de agua y aguas residuales mediante el proceso de electrocoagulación: Avances y aplicaciones emergentes. *Revista de Ingeniería Química Ambiental*, *11*(6), 111558. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111558>
- Blas, F., & Conislla, R. F. (2021). *Remoción de sólidos totales disueltos y turbidez mediante electrocoagulación y ozonificación en las aguas residuales de destilería*. <https://repositorio.unac.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/b985424b-22e2-4b6c-9691-2f1afde052be/content>
- Borda, O. L., Guerrero, A. F., Moreno, A. C., & Ayala, L. E. (2021). Evaluación de la calidad del proceso de desinfección de agua potable basado en el uso de compuestos de cloro. *Encuentro Internacional de Educación En Ingeniería ACOFI 2021*, 1–11. <https://doi.org/10.26507/ponencia.1650>

- Brousett-Minaya, M., Chambi, A., Mollocondo, M., Aguilar, L., & Lujano, E. (2018). Evaluación físico-química y microbiológica de agua para consumo humano Puno-Perú. *Revista Fides Et Ratio*, 15, 47–68. [http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v15n15/v15n15\\_a05.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v15n15/v15n15_a05.pdf)
- Cahuana, Y. N., & Meza, C. L. (2022). *Análisis de la influencia de los coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico en la remoción de turbidez de las aguas del río Shullcas, Huancayo, 2022*. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14500/12/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Cahuana\\_Meza\\_2024.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14500/12/IV_FIN_107_TE_Cahuana_Meza_2024.pdf)
- Cahuantico, S. E. (2019). *Eficiencia del proceso de electrocoagulación en la remoción de altas turbiedades en aguas superficiales* [Universidad Nacional de Ingeniería]. [https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/19960/1/cahuantico\\_os.pdf](https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/19960/1/cahuantico_os.pdf)
- Cancapa, E. A. (2019). *Eficiencia de la electrocoagulación en la reducción de materia orgánica presente em las aguas residuales domesticas bajo condiciones alto andinas (Juliaca - Puno)* [Universidad Peruana Union]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/69147df5-adb4-48a7-b6af-4f2294de46ff/content>
- Castañeda, L. F., Rodríguez, J. F., & Nava, J. L. (2021). Electrocoagulation as an affordable technology for decontamination of drinking water containing fluoride: A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 413, 2–84. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127529>
- Castillo, J., Banchón, C., & Moreira, Y. (2025). Electrocoagulación de aguas residuales domésticas: Revisión sistemática de efectos operacionales. *Research, Society and Development*, 14(5), e2814548700. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.33448/rsd-v14i5.48700>
- Castro, K., & Abejón, R. (2024). Removal of heavy metals from wastewaters and other aqueous streams by pressure-driven membrane technologies: An outlook on reverse osmosis, nanofiltration, ultrafiltration and microfiltration potential from a bibliometric analysis. *Membranes*, 14(8), 180. <https://doi.org/10.3390/membranes14080180>
- Cerna-Cueva, A. F., Aguirre-Escalante, C., Wong-Figueroa, B. L., Tello-Cornejo, J. L.,

- & Pinchi-Ramírez, W. (2022). Water quality for irrigation in the Huallaga basin, Peru. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 239–248. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.022>
- Chacon, F. M., & Huampotupa, C. K. (2021). *Electrocoagulación de aguas residuales en la industria láctea Ramirez - Anta - Compone* [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/5962/253T20210212\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/5962/253T20210212_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Chavarría, E. Y., Cusiche, M. L., Huamaní, L. L., Toribio, F. M., & Barreto, Everson Oscar Gomez, J. D. (2024). Determinación de la calidad del agua de consumo humano mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la ciudad de Pampas-Tayacaja, 2023. *Revista de Investigaciones Científica Tayacaja*, 7(1), 45–52. <https://revistas.unat.edu.pe/index.php/RevTaya/article/view/223/213>
- Cheswick, R., Moore, G., Nocker, A., Hassard, F., Jefferson, B., & Jarvis, P. (2020). Chlorine disinfection of drinking water assessed by flow cytometry: New insights. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 101032. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101032>
- Chuquimbalqui-Marina, D., Bardalez-Tuesta, C. M., Azabache-Aliaga, Y. D., & Ordóñez-Ruiz, K. M. (2025). Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación: Análisis bibliométrico de publicaciones científicas y revisión de resultados. *Rev. Amaz. Cienc. Ambient. Ecol*, 4(1), e802. <https://doi.org/https://doi.org/10.51252/reacae.v4i1.e802>
- Cornejo, D. A., & Pacheco, M. E. (2014). Contaminación de las aguas y sedimentos por As, Pb y Hg de la cuenca del río Ramis, Puno - Perú. *Revista de Investigaciones*, 5(4), 33–46. <https://doi.org/10.26788/riepg.v5i4.13>
- Cristancho, D. L., Pinto, L. M., & Tique, J. S. (2019). Evaluación de la eficiencia de un sistema de electrocoagulación en los vertimientos de curtiembres en el sector de Villapinzón (Cundinamarca). *Revista Mutis*, 9(2), 34–48. <https://doi.org/10.21789/22561498.1590>
- Cusihumán Ortiz, A. R., Díaz Cuba, N., & Tovar Castillo, M. M. (2023). Gestión de la calidad del agua de consumo humano del distrito de Chiguata y su impacto en la

- salud de la población durante el año 2023. *FitoVida*, 2(2), 69–74.  
<https://doi.org/10.56275/fitovida.v2i2.31>
- Das, D., & Nandi, B. K. (2021). Treatment of iron ore beneficiation plant process water by electrocoagulation. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(1).  
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.11.008>
- De Gante, A. L. (2016). *Descontaminación por electrocoagulación del líquido residual de nixtamalización*. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/9e2bad91-953d-4f4f-81c7-9fc669b65280>
- Dirección General de Salud Ambiental. (2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano* (p. 46). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-reglamento-calidad-agua-consumo-humano>
- Dueñas, C., & Hinojosa, L. (2021). Calidad del agua potable y su influencia en la salud humana. *GnosisWisdom*, 1(3), 11–20.  
<https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v1i3.19>
- Ebba, M., Asaithambi, P., & Alemayehu, E. (2022). Development of electrocoagulation process for wastewater treatment: optimization by response surface methodology. *Heliyon*, 8, e09383. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09383>
- Echeverría, I., & Vargas, V. (2025). Coagulación-floculación como estrategia de pulimiento para efluentes secundarios en plantas de tratamiento municipales. *Investigación & Desarrollo*, 25(1), 43–54.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.23881/idupbo.025.1-4i>
- Enrique, R. (2019). *Agua potable y saneamiento en el Perú: diagnóstico y propuestas* (pp. 1–40). <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/peru/20508.pdf>
- Escalante, S. G. (2021). *Propuesta para el aprovechamiento de lodos residuales provenientes de la industria alimentaria en Trujillo, 2020* [Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29526>
- Espigares, E., & Espínola, J. M. (2020). Calidad de las aguas para consumo humano y principales riesgos sanitarios. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 20(3), 1887–1895.  
[https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/Hig.\\_Sanid\\_.Ambient.20.\(3\).1887-1895.\(2020\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/Hig._Sanid_.Ambient.20.(3).1887-1895.(2020).pdf)

- Fernandez, W. V. (2025). *Aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción del DBO en aguas residuales a nivel de laboratorio*. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/10486>
- Fernández, Y. (2022). *Estudio del potencial aprovechamiento de los lodos de la PTAP Progresar E.S.P.* [Universidad de la Salle]. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=3042&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=3042&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Francisco, J., Ramos, P., & Aguirre, G. (2011). Aprovechamiento agrícola del lodo generado en la PTAR de Puente Piedra - Lima. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 77(1), 75–85. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2011000100008](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000100008)
- Franco, E. F., Ramos, R., Ovando-Javier, A., Montero-Espaillet, E., Bonilla, S., & Veda, A. (2023). Sensores de calidad de agua para el control de la contaminación físicoquímica en los acuíferos de latinoamérica: una revisión. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 6(1), 45–70. <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i1.pp45-70>
- Galindo, G. (2018). *Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo B en la planta de tratamiento de agua potable Yurajhuanca – EMAPA Pasco*. [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/347/1/TESIS\\_GIANCARLO\\_GALINDO\\_YANTAS1.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/347/1/TESIS_GIANCARLO_GALINDO_YANTAS1.pdf)
- Gamero-Quijano, A., García, P., & La Rosa-Toro-Gómez, A. (2020). Remoción de bacterias patógenas del agua mediante electrocoagulación con ánodos de aluminio. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 11(4), 136–178. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-04-05>
- García-Ávila, F., Zambrano-Jaramillo, A., Velecela-Garay, C., Coronel-Sánchez, K., & Valdiviezo-Gonzales, L. (2025). Effectiveness of membrane technologies in removing emerging contaminants from wastewater: Reverse osmosis and nanofiltration. *Water Cycle*, 6, 357–373. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2024.12.004>
- García-Ubaque, C. A., García-Ubaque, J. C., Rodríguez-Miranda, J. P., Pacheco-García,

- R., & García-Vaca, M. C. (2018). Limitaciones del IRCA como estimador de calidad del agua para consumo humano. *Revista de Salud Pública*, 20(2), 204–207. <https://doi.org/10.15446/rsap.v20n2.65952>
- García, A. Z., & Zevallos, K. M. (2021). *Optimización del proceso coagulación-floculación usando cloruro férrico y fosfato para la reducción de contaminantes del agua residual del camal Conchucos S.A., Lima* [Universidad Nacional del Callao]. [https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6201/TESIS\\_PREGRADO\\_GARCIA\\_ZEVALLOS\\_FIARN\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6201/TESIS_PREGRADO_GARCIA_ZEVALLOS_FIARN_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gonzales, E. (2017a). *Control de calidad de agua potable en la empresa prestadora de servicio de agua potable E.P.S Nor Puno S.A.* [Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/items/3d9ce593-5668-410f-a6e9-610948852f7e>
- Gonzales, E. (2017b). *Control de calidad de agua potable en la empresa prestadora de servicio de agua potable E.P.S Nor Puno S.A.* Universidad Nacional del Altiplano.
- Gonzales, W., Acharte, L. M., Poma, J. C., Sánchez, V. G., Quispe, F. A., & Meseguer, R. (2023). Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 25(1), 23–31. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.486>
- González-Flores, E., Ramos-Barragán, J. E., Tornero-Campante, M. A., & Murillo-Murillo, M. (2017). Evaluación de dosis de biosólidos urbanos en maíz bajo condiciones de invernadero \* Evaluation of doses of urban biosolids in maize under greenhouse conditions Resumen Introducción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 119–132. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.76>
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253–262. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881>
- Huacani, Y., De la Cruz, N. R., Gutiérrez, D. J., & Quispe, G. V. (2025). Efectos de la estrategia de cloración de agua en la calidad de vida. *Revista Vive*, 8(22), 150–161. <https://doi.org/10.33996/revistavive.v8i22.369>
- Huaman, A. G., & Muñoz, M. (2019). *Influencia del tiempo y densidad de corriente para*

la remoción de DBO y turbidez de efluentes de industria papelera por electrocoagulación [Universidad Nacional de Trujillo]. [https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/14063/HuamanRodriguez\\_A - MunozOlivera\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/14063/HuamanRodriguez_A - MunozOlivera_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ingelsson, M., Yasri, N., & Roberts, E. P. L. (2020). Electrode passivation, faradaic efficiency, and performance enhancement strategies in electrocoagulation—a review. *Water Research*, 187, 116433. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116433>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2023). *Perú: formas de acceso al agua y saneamiento básico*. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua\\_junio2020.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf)

Jiménez-Jumbo, L. D., Coyago-Durán, A. D., Torres-González, M. D., & Morales-Ibadango, C. M. (2024). Aplicación de diferentes coagulantes inorgánicos y evaluación de costos en la clarificación del agua de ríos de la amazonia ecuatoriana. *MQR Investigar*, 8(1), 686–705. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.1.2024.686-705>

Kumari, S., & Kumar, R. N. (2022). River water treatment by continuous electrocoagulation: insights into removal of acetaminophen, and natural organic matter. *Water Supply*, 22(4), 4055–4066. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.034>

Lara, F., Manríquez, N., & Quintero, J. O. (2023). Comportamiento de la demanda del consumo de agua potable por zonas en Mazatlán, Sinaloa. *INTER DISCIPLINA*, 11(31), 317–337. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2023.31.86085>

Limaymanta, M. M. (2023). *Depuración de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación del colector San Juan – Cerro de Pasco* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3781/1/T026\\_19996339\\_M.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3781/1/T026_19996339_M.pdf)

Loayza, C. A., & Ochoa, H. (2022). Evaluación de la remoción de materia orgánica del lixiviado mediante el proceso de electrocoagulación del botadero La Mejorada El Tambo. *Prospectiva Universitaria*, 17(1), 109–114. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2020.17.1393>

Lozada, R. A., Argota, G., Ramos, E., & Choqueneira, R. M. (2021). Reactor de flujo

- continuo para la remoción del plomo por electrocoagulación en las aguas del río Coata, Puno-Perú. *Campus*, 26(31), 75–81. <https://doi.org/10.24265/campus.2021.v26n31.06>
- Márquez-Pacheco, H., Leyva-Morales, J. B., Davizón-Castillo, Y. A., Ontiveros-García, L. A., & Amillano-Cisneros, J. M. (2023). Análisis de tendencia de parámetros indicadores de la calidad del agua en un embalse tropical. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2), 1–10. <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3562>
- Mensah-Akutteh, H., Buamah, R., Wiafe, S., & Nyarko, K. B. (2022). Optimizing coagulation–flocculation processes with aluminium coagulation using response surface methods. *Applied Water Science*, 12(8), 188. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01708-1>
- Molina, N. F., Benjumea, R. G., & Ariza, C. P. (2016). Estudio de la aplicación de coagulantes para la clarificación de las aguas como sustituto del sulfato de aluminio. *Ciencia e Ingeniería*, 3(2), 34–44. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8742445>
- Morales, A. M., Ramírez-Caballero, G., & Barajas-Meneses, M. (2020). Prediciendo la dosis de sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 11(6), 339–367. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-06-08>
- Muñoz, M. (2016). *Propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo.* <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/613/1/6101390-2016-2-IQ.pdf>
- Namla, D., Oves, M., Alshaeri, M. A., Al-Maaqar, S. M., Issa, H. N. Y., & Mangse, G. (2025). Nanofiltration as an advanced wastewater treatment technique: a comprehensive review. *Discover Applied Sciences*, 7(4), 355. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06576-3>
- Neira, E. J. (2024). *Evaluación de un prototipo de celda de electrocoagulación para tratar agua residual de una industria láctea* [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/6304/neira->

rojas-enrique-joel.pdf?sequence=1

- Ninan, K. G., & Zambrano, M. C. (2019). *Tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario de Jaquira por electrocoagulación* [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4372/253T201904\\_23\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4372/253T201904_23_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Nolasco, G. (2020). *Goma de tara (Caesalpinia spinosa) y su efecto en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas – Apurímac, 2018* [Universidad tecnológica de los andes]. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UTEA\\_b38d38b85182a04a32ad84d773495e78/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UTEA_b38d38b85182a04a32ad84d773495e78/Details)
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (Vol. 4). <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1> (accessed 12 September 2024)
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Carga de morbilidad atribuida al agua insalubre, el saneamiento deficiente y la falta de higiene*. <https://iris.who.int/handle/10665/377057>
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). Agua y saneamiento. In *Panorama de la Salud: Latinoamérica y el Caribe 2020* (p. 309). <https://doi.org/10.1787/4a7e30c6-es>
- Ortega, A. T., & Sánchez, N. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121–134. <https://doi.org/10.18359/rcin.5343>
- Othman, N. H., Alias, N. H., Fuzil, N. S., Marpani, F., Shahrudin, M. Z., Chew, C. M., David Ng, K. M., & Lau, W. J. (2022). A review on the use of membrane technology systems in developing countries. *Membranes Review*, 12(30), 37. <https://doi.org/10.3390/membranes12010030>
- Oviedo, L. N., Medina, V. A., & Beltran, M. S. (2023). *Tratamiento de aguas residuales en la industria de alimentos en Colombia mediante la electrocoagulación* [Universidad EAN].

<https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/12828/OviedoLeidy2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Paca, J. M., Santos, F. M., Pires, J. C. M., Leitão, A. A., & Boaventura, R. A. R. (2019). Quality assessment of water intended for human consumption from Kwanza, Dande and Bengo rivers (Angola). *Environmental Pollution*, 254, 113037. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113037>
- Padilla-Ramirez, H., Velarde-Condori, M., & Mendoza-Nieto, E. (2024). Efecto de floculantes alternativos en la mejora de la calidad del agua de potencial consumo humano en Santa María, Huaura. *PAR Peruvian Agricultural Research*, 6(1), 51–59. <http://190.116.38.202/index.php/PeruvianAgriculturalResearch/article/view/875>
- Palacios, L. A., & Vásquez, I. R. (2024). *Optimización de parámetros operacionales del proceso de electrocoagulación para tratar los efluentes de encalado de curtiduría Lizberth SAC* [Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d772a898-f66c-4db4-9e9c-4bd0ab9d55d6/content>
- Pastrana-Pacho, A., Solís-Silvan, R., Ávila-Lázaro, I., Laines-Canepa, J. R., & Sánchez-Díaz, B. (2023). Coagulación de aguas residuales mediante una mezcla de polvo de Crotalaria longirostrata y sulfato de aluminio. *Revista Tecnología En Marcha*, 36(2), 135–142. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.6000>
- Pérez-Sicairos, S., Morales-Cuevas, J. . B., Félix-Navarro, R. M., & Hernández-Calderón, O. M. (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(1), 79–91. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v10n1/v10n1a9.pdf>
- Pérez, I. F. (2015). *Optimización de la dosificación de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable del distrito de Vilcacoto*. <https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/6e8c7ac6-6642-4175-9b63-d1e264ccdebd/content>
- Perozo, J. R., & Abreu, R. L. (2017). Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable. *Química Viva*, 16(1), 56–69. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86351157005.pdf>
- Pivokonsky, M., Novotna, K., Petricek, R., Cermakova, L., Prokopova, M., &

- Naceradska, J. (2024a). Aspectos químicos fundamentales de la coagulación en el tratamiento del agua potable: vuelta a lo básico. *Revista de Ingeniería de Procesos Del Agua*, 57, 104660. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104660>
- Pivokonsky, M., Novotna, K., Petricek, R., Cermakova, L., Prokopova, M., & Naceradska, J. (2024b). Fundamental chemical aspects of coagulation in drinking water treatment: Back to basics. *Journal of Water Process Engineering*, 57, 104660. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104660>
- Puente, D. G., Valenzuela, L. I., & Alarcón, M. T. (2023). Determinación histórica de índices de calidad del agua en observatorios participativos en el norte de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 39, 127–137. <https://doi.org/10.20937/RICA.54697>
- Quispe, J. L. (2013). *Propuesta metodológica para la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante lagunas de estabilización - Azángaro* [Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c1e9536c-69da-4380-8fbf-71f3c0876304/content>
- Ramón, Y. M. (2020). *Aplicación de la electrocoagulación como alternativa de remoción de sólidos suspendidos totales presentes en las aguas residuales generadas en el distrito de San Pedro de Saño, 2020* [Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/item/d24e25d7-6124-47e7-90cb-b8833b95cffc>
- Ramos, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1–7. <https://cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/356>
- Reilly, M., Cooley, A. P., Tito, D., Tassou, S. A., & Theodorou, M. K. (2019). Electrocoagulation treatment of dairy processing and slaughterhouse wastewaters. *Energy Procedia*, 161, 343–351. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.106>
- Rivas, S., Menés, G., & Rómulo, A. (2017). Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la empresa del Níquel comandante Ernesto Che Guevara. *Tecnología Química*, 37(2), 173–183. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n2/rtq02217.pdf>
- Rivera-Contreras, A. L. (2018). Evaluación de los modelos de gestión de proyectos rurales de agua potable y saneamiento básico implementados en los llanos de

- Colombia. *DYNA*, 85(204), 289–295. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.67539>
- Rivera, M. de L., Pérez-Castrejón, S., Hernández, C., Gelover, S. L., Martín, A., Piña, M., Gómez, A., & Cortés, J. E. (2012). Comparación técnico-económica entre coagulación química y electrocoagulación para remover arsénico del agua. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 3, 5–22. <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531980001.pdf>
- Rodríguez Díaz, Y. J., Fuentes Guevara, M. D., Beleño Díaz, Ó. D., & Montoya Armenta, L. H. (2021). Electrocoagulación como proceso de tratabilidad de aguas residuales de una planta de lácteos y cárnicos. *Tecnura*, 25(67), 26–39. <https://doi.org/10.14483/22487638.15769>
- Ruiz, J. L. (2022). *Optimización del proceso de coagulación-floculación en la planta de tratamiento de agua potable zonal Sullana-EPS Grau S.A* [Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a79b1491-18a5-417d-b3a3-1b229b543d72/content>
- Srivastav, A. L., Patel, N., & Chaudhary, V. K. (2020). Disinfection by-products in drinking water: Occurrence, toxicity and abatement. *Environmental Pollution*, 267, 115474. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115474>
- SUNASS. (2024). *Estudio tarifario de EPS NOR Puno S.A.* (p. 218). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6447223/5639068-etf-eps-nor-puno-sa.pdf>
- Taheri, M. (2022). Techno-economical aspects of electrocoagulation optimization in three acid azo dyes' removal comparison. *Cleaner Chemical Engineering*, 2, 100007. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100007>
- Téllez-Pérez, V., López-Olguín, J. F., Aragón, A., & Zayas-Pérez, M. T. (2018). Lodos residuales de nejayote como sustratos para la germinación de semillas de maíz azul criollo. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(3), 395–404. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.03>
- Ticona, K. M. (2023). *Índice de riesgo de la calidad de agua (IRCA) del afluyente río Azángaro en el sistema de potabilización en la EPS Nor-Puno S.A.* Azángaro [Universidad Nacional del Altiplano]. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza\\_Mamani\\_](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_)

Joel\_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Torres, P., Arango, L. A., & Torres, W. A. (2023). Evaluación del aprovechamiento de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la preparación de adobe como material de construcción sostenible. *Revista EIA*, 20(39), 1–18. [https://www.researchgate.net/profile/Wilmar-Torres/publication/368759443\\_Evaluacion\\_del\\_aprovechamiento\\_de\\_lodos\\_de\\_plantas\\_de\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_potable\\_en\\_la\\_preparacion\\_de\\_adobe\\_como\\_material\\_de\\_construccion\\_sostenible/links/63f8aba10d98a97717b51a93/E](https://www.researchgate.net/profile/Wilmar-Torres/publication/368759443_Evaluacion_del_aprovechamiento_de_lodos_de_plantas_de_tratamiento_de_agua_potable_en_la_preparacion_de_adobe_como_material_de_construccion_sostenible/links/63f8aba10d98a97717b51a93/E)
- UNESCO. (2024). *Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2024: agua para la prosperidad y la paz* (p. 12). [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388952\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388952_spa)
- Velasquez, Y., & Zúñiga, H. A. (2023). Evaluación de la electrocoagulación en la remoción de manganeso de las aguas del río Chacapalca, Ocuvi - Puno. *Revista de Investigaciones*, 12(2), 142–158. <https://doi.org/10.26788/ri.v12i2.4759>
- Villabona-Ortíz, A., Tejada-Tovar, C., & De-La-Rosa-Jiménez, L. (2021). Evaluation of parameters in the removal of linear alkylbenzene sulfonate anionic surfactant using electrocoagulation. *Revista Facultad de Ingeniería*, 30(55), 15. <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n55.2021.11570>
- Villanueva, S. P. (2024). *Evaluación del consumo de agua potable y huella hídrica del sector residencial en viviendas de la ciudad de Azángaro - Puno - 2021* [Universidad Nacional del Altiplano]. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/21806/Villanueva\\_Alvarado\\_Sara\\_Pilar.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/21806/Villanueva_Alvarado_Sara_Pilar.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Villena, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Villon, A., & Reátegui, W. (2019). Electrocoagulación y electroflotación para reducir contenido orgánico y turbidez en aguas residuales urbanas simuladas. *TECNIA*, 29(1), 19–26. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v29i1.346>
- Visigalli, S., Barberis, M. G., Turolla, A., Canziani, R., Berden Zrimec, M., Reinhardt, R., & Ficara, E. (2021). Electrocoagulation–flotation (ECF) for microalgae

- harvesting – A review. *Separation and Purification Technology*, 271, 118684.  
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118684>
- Vizcaíno, P. I., Cedeño, R. J., & Maldonado, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Internacional*, 7(4), 9723–9762.  
<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/7658>
- World Health Organization. (2022). *State of the world's drinking water*.  
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/363704/9789240060807-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- World Health Organization. (2024). *Guidelines for drinking-water quality*.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15806952>
- Yana, W. (2017a). *Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua, en el sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Azángaro, Puno - 2017* [Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6124>
- Yana, W. (2017b). *Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua, en el sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Azángaro, Puno - 2017*. Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

# **ANEXOS**

**Anexo 1.** Río Azángaro



**Anexo 2.** Toma de muestras del río Azángaro



**Anexo 3.** Profesionales involucrados en la mejora de la calidad del agua



**Anexo 4.** Traslado de muestra al laboratorio



**Anexo 5.** Preservación de las muestras para su análisis respectivo



**Anexo 6.** Proceso de análisis de las muestras en estudio



**Anexo 7.** Proceso de tratamiento de aguas mediante coagulación química



**Anexo 8.** Proceso de tratamiento de aguas mediante electrocoagulación




**Anexo 9.** Crecimiento de plántulas de Ceticio (*Cytisus racemosa*)



**Anexo 10.** Envío de muestras a laboratorio BHIOS



## Anexo 11. Ensayos de agua para consumo humano tratado por electrocoagulación

	<p>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055</p>	 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado</p> <p>Registro N° LE-055</p>
<b>INFORME DE ENSAYOS N° 1562- 2024</b> <b>PÁGINA 1 DE 3</b>		
<b>SOLICITANTE</b>	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA	
<b>DIRECCIÓN</b>	: AV. NUEVA ZELANDIA NRO. 631 PUNO - SAN ROMAN - JULIACA	
<b>PRODUCTO DECLARADO</b>	: AGUA POTABLE	
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>	: Líquido transparente	
<b>CODIFICACIÓN / MARCA</b>	: Agua para consumo tratado por electrocoagulación. M-03 Electrocoagulación.	
<b>DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE</b>	: 22/03/2024 18:30 Procedencia: Laboratorio UNAJ. Puno - San Román - Juliaca.	
<b>TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA</b>	: 01 muestra de 3000 mL aprox. Compuesta por 01 envase vidrio de 1000 mL, 01 envase vidrio de 500 mL. para análisis MB, 03 envases PE de 500 mL. para análisis FQ.	
<b>PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN</b>	: En envases de vidrio y polietileno, cerrados y etiquetados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3.2 °C.	
<b>CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	: Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)	
<b>CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA</b>	: Ninguna (por ser muestra única)	
<b>FECHA PRODUCCIÓN</b>	: No especificada	
<b>FECHA DE VENCIMIENTO</b>	: No especificada	
<b>CONTRATO N°</b>	: 0562-2024	
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 23/03/2024	
<b>CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.</li><li>• No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.</li><li>• En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.</li><li>• En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.</li><li>• Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.</li><li>• El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.</li><li>• BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.</li><li>• El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.</li><li>• Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.</li><li>• Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.</li></ul>	
<p>PRP-08-F-05-E Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG <span style="float: right;">Página 1 de 2</span></p>		
<p>Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110 e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com</p>		

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

## Anexo 12. Análisis de agua tratadas mediante electrocoagulación



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO Nº LE-055



Registro Nº LE-055

### INFORME DE ENSAYOS Nº 1562- 2024 PÁGINA 2 DE 3

#### RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA POTABLE	
		Agua para consumo tratado por electrocoagulación. M-03	UNIDADES
MB	Numeración de Escherichia coli (NMP)	<1.1	NMP/100mL
MB	Recuento de Heterótrofos en Placa	420	ufc/mL
MB	OVL-Protozoarios (Cuantificación)*	<1	Org./L
MB	OVL-Algas (Cuantificación)*	<1	Org./L
MB	Numeración de Coliformes totales	<1.1	NMP/100mL
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	<1.1	NMP/100mL
MB	Huevos de Helmintos (Cuantificación 1L)*	<1	Huevo/L
FQ	Sólidos Totales Disueltos	132	mg/L
FQ	pH*	7.7	U de pH
FQ	Turbidez*	0.81	NTU
FQ	Dureza Total (como CaCO <sub>3</sub> )	202.83	mg/L
FQ	Conductividad	253	µS/cm
FQ	Color*	5	U de color

#### ABREVIATURAS:

µS/cm	: Microsiemens por centímetro
Huevos/L	: Huevos por litro
Org./L	: Organismos por litro
U de color	: Unidades de color
mg/L	: Miligramos por litro
ufc/mL	: Unidades formadoras de colonia por mililitro
NTU	: Unidades nefelométricas de turbidez
U de pH	: Unidades de pH
NMP/100mL	: Número más probable por 100 mililitros

#### MÉTODOS UTILIZADOS :

Numeración de Escherichia coli (NMP)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9221-F, Pag. 10-11, 24th Ed. 2023. Multiple tube fermentation technique for members of the coliform group: Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate.
Recuento de Heterótrofos en Placa	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9215-B, Pag. 1-5, 23rd Ed. 2017. Heterotrophic Plate Count: Pour Plate Method.
OVL-Protozoarios (Cuantificación)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9711 Pathogenic Protozoa Pag.1 a 5. / Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms, 23rd Ed. 2017.
OVL-Algas (Cuantificación)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms, 23rd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9221-B, Pag. 1-8, 24th Ed. 2023. Multiple tube fermentation technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique.
Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, Pag. 10-11, 24th Ed. 2023. Multiple Tube fermentation technique for members of the coliform group: Fecal Coliform Procedures (EC Medium).
Huevos de Helmintos (Cuantificación 1L)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000. 10900 Identification of Aquatic Organisms, 23rd Ed. 2017.
Sólidos Totales Disueltos	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 2540-C, 24th Ed. 2023. SOLIDS, Total dissolved Solids Dried at 180° C.
pH	: AOAC Official Method 973.41 Chapter 11 Subchapter 1:11.1.03 pH of Water, 21st Ed, Rev. Online 2019
Turbidez	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 2000. Method 2130-B, Turbidity, Nephelometric Method, 23rd Ed. 2017.
Dureza Total (como CaCO <sub>3</sub> )	: Norma Técnica Peruana 214.018 (Revisada el 2019) 1999 Agua para consumo Humano, Determinación de la dureza, Método volumétrico con EDTA.
Conductividad	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 2510-B, Pag 1-4, 24th Ed. 2023. Conductivity, Laboratory Method.
Color	: Water Analysis Handbook HACH, Color True and Apparent, Method 8025: Platinum-Cobalt Standard Method, Pag.381. 4th Ed. Rev.2.

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

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

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

**INFORME DE ENSAYOS N° 1562 - 2024**  
**PÁGINA 3 DE 3**

**OBSERVACIONES :**

\* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA  
Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

**FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS :** FQ 23/03/2024 al 30/03/2024

MB 23/03/2024 al 30/03/2024

**FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS :** 04/04/2024

  
Bj. Miguel Valdivia Martínez  
Gerente Técnico

Fin del Informe

## Anexo 13. Ensayos de agua para consumo humano por electrocoagulación

	
<b>INFORME DE ENSAYOS N° 2264 - 2024</b> <b>PÁGINA 1 DE 2</b>	
<b>SOLICITANTE</b>	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
<b>DIRECCIÓN</b>	: AV. NUEVA ZELANDIA NRO. 631 PUNO - SAN ROMAN - JULIACA
<b>PRODUCTO DECLARADO</b>	: AGUA POTABLE(3)
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>	: Líquido transparente
<b>CODIFICACIÓN / MARCA</b>	: Agua para consumo tratado por electrocoagulación. M-03 Electrocoagulación.
<b>DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE</b>	: 22/03/2024 18:30 Procedencia: Laboratorio UNAJ. Puno - San Román - Juliaca.
<b>TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA</b>	: 01 muestra de 1000 mL aprox. Compuesta por 01 envase PE de 1000 mL para análisis FQ.
<b>PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN</b>	: En envase de polietileno, cerrada y etiquetada. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3.2°C.
<b>CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	: Recibida en el Laboratorio
<b>CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA</b>	: Ninguna (por ser muestra única)
<b>FECHA PRODUCCIÓN</b>	: No especificada
<b>FECHA DE VENCIMIENTO</b>	: No especificada
<b>CONTRATO N°</b>	: 0748-2024
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 15/04/2024
<b>CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:</b>	
	-El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
	-No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
	-En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
	-En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
	-Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
	-El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
	-BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
	-El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
	-Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
	-Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.
<p>PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG Página 1 de 2</p>	
<p>Av. Quifones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983788883 / 954068110 e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com</p>	

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

**Anexo 14. Análisis de aluminio en muestras tratadas mediante electrocoagulación**




**INFORME DE ENSAYOS N° 2264- 2024**  
**PÁGINA 2 DE 2**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA POTABLE(3) Agua para consumo tratado por electrocoagulación. M-03 Electrocoagulación.	UNIDADES
FQ	Elemento Al	<0.2	mg/L

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

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento Al : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000, Method 3111-D, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, 23rd Ed. 2017.

**OBSERVACIONES :**  
Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

**FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS :** FQ 15/04/2024 al 22/04/2024  
**FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS :** 22/04/2024

  
  
**Migo. Miguel Valdivia Martínez**  
 Gerente Técnico

Fin del Informe



---

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

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


BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

## Anexo 15. Agua para consumo humano tratado por coagulación química


	<p>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055</p>	 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE-055</p>
<b>INFORME DE ENSAYOS N° 1561 - 2024</b> <b>PÁGINA 1 DE 3</b>		
<b>SOLICITANTE</b>	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA	
<b>DIRECCIÓN</b>	: AV. NUEVA ZELANDIA NRO. 631 PUNO - SAN ROMAN - JULIACA	
<b>PRODUCTO DECLARADO</b>	: AGUA POTABLE	
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>	: Líquido transparente.	
<b>CODIFICACIÓN / MARCA</b>	: Agua para consumo (tratado por coagulación) / M-02 Coagulación.	
<b>DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE</b>	: 22/03/2024 18:10 Procedencia: Laboratorio UNAJ. Puno - San Román - Juliaca.	
<b>TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA</b>	: 01 muestra de 3000 mL aprox. Compuesta por 01 envase vidrio de 1000 mL, 01 envase vidrio de 500 mL. para análisis MB, 03 envases PE de 500 mL. para análisis FQ.	
<b>PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN</b>	: En envases de vidrio y polietileno, cerrados y etiquetados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3.2 °C.	
<b>CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	: Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)	
<b>CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA</b>	: Ninguna (por ser muestra única)	
<b>FECHA PRODUCCIÓN</b>	: No especificada	
<b>FECHA DE VENCIMIENTO</b>	: No especificada	
<b>CONTRATO N°</b>	: 0562-2024	
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 23/03/2024	
<b>CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.</li><li>•No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.</li><li>•En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.</li><li>•En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.</li><li>•Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.</li><li>•El Periodo de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.</li><li>•BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.</li><li>•El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.</li><li>•Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.</li><li>•Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.</li></ul>	
<small>PRP-06-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG Página 1 de 2</small>		
<b>Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú</b> <b>Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110</b> <b>e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com</b>		

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo 16. Resultados de las muestras de agua tratadas por coagulación química



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



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado  
Registro N° LE-055

**INFORME DE ENSAYOS N° 1561 - 2024**  
**PÁGINA 2 DE 3**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA POTABLE Agua para consumo (tratado por coagulación) / M-02 Coagulación.	UNIDADES
MB	Numeración de Escherichia coli (NMP)	<1,1	NMP/100mL
MB	Recuento de Heterótrofos en Placa	6300	ufc/mL
MB	OVL-Protozoarios (Cuantificación)*	<1	Org./L
MB	OVL-Algas (Cuantificación)*	485	Org./L
MB	Numeración de Coliformes totales	16	NMP/100mL
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	<1,1	NMP/100mL
MB	Huevos de Helminfos (Cuantificación 1L)*	<1	Huevos/L
FQ	Sólidos Totales Disueltos	174	mg/L
FQ	pH*	7,5	U de pH
FQ	Turbidez*	0,61	NTU
FQ	Dureza Total (como CaCO <sub>3</sub> )	164,67	mg/L
FQ	Conductividad	336	µS/cm
FQ	Color*	<5	U de color

**ABREVIATURAS:**

U de pH	: Unidades de pH
µS/cm	: Microsiemens por centímetro
U de color	: Unidades de color
NMP/100mL	: Número más probable por 100 mililitros
ufc/mL	: Unidades formadoras de colonia por mililitro
NTU	: Unidades nefelométricas de turbidez
mg/L	: Miligramos por litro
Huevos/L	: Huevos por litro
Org./L	: Organismos por litro

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Numeración de Escherichia coli (NMP)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9221-F, Pag. 10-11, 24th Ed. 2023. Multiple tube fermentation technique for members of the coliform group: Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate.
Recuento de Heterótrofos en Placa	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9215-B, Pag. 1-5, 23rd Ed. 2017. Heterotrophic Plate Count: Pour Plate Method.
OVL-Protozoarios (Cuantificación)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000, 9711 Pathogenic Protozoa Pag. 1 a 5. / Part 10000, 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
OVL-Algas (Cuantificación)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000, 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9221-B, Pag. 1-8, 24th Ed. 2023. Multiple tube fermentation technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique.
Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, Pag. 10-11, 24th Ed. 2023. Multiple Tube fermentation technique for members of the coliform group: Fecal Coliform Procedures (EC Medium).
Huevos de Helminfos (Cuantificación 1L)	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 10000, 10900 Identification of Aquatic Organisms. 23rd Ed. 2017.
Sólidos Totales Disueltos	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 2540-C. 24th Ed. 2023. SOLIDS. Total dissolved Solids Dried at 180° C.
pH	: AOAC Official Method 973.41 Chapter 11 Subchapter 1:11.1.03 pH of Water. 21st Ed. Rev. Online 2019
Turbidez	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 2000. Method 2130-B. Turbidity, Nephelometric Method. 23rd Ed. 2017.
Dureza Total (como CaCO <sub>3</sub> )	: Norma Técnica Peruana 214.018 (Revisada el 2018) 1999 Agua para consumo Humano. Determinación de la dureza. Método volumétrico con EDTA.
Conductividad	: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 2510-B, Pag 1-4, 24th Ed. 2023. Conductivity. Laboratory Method.
Color	: Water Analysis Handbook HACH. Color True and Apparent. Method 8025: Platinum-Cobalt Standard Method. Pag.381. 4th Ed. Rev.2.

PRP-06-F-06-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG Página 2 de 2

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

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

**INFORME DE ENSAYOS N° 1561 - 2024**  
**PÁGINA 3 DE 3**

**OBSERVACIONES :**

\* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA  
Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

**FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS :** FQ 23/03/2024 al 30/03/2024

MB 23/03/2024 al 30/03/2024



**FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS :** 04/04/2024



**Bigo Miguel Valdivia Martínez**  
Gerente Técnico

Fin del Informe

Anexo 17. Agua para consumo humano tratado por coagulación química

	
<b>INFORME DE ENSAYOS N° 2263- 2024</b> <b>PÁGINA 1 DE 2</b>	
<b>SOLICITANTE</b>	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
<b>DIRECCIÓN</b>	: AV. NUEVA ZELANDIA NRO. 631 PUNO - SAN ROMAN - JULIACA
<b>PRODUCTO DECLARADO</b>	: AGUA POTABLE(2)
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>	: Líquido transparente
<b>CODIFICACIÓN / MARCA</b>	: Agua para consumo (tratado por coagulación) / M-02 Coagulación.
<b>DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE</b>	: 22/03/2024 18:10 Procedencia: Laboratorio UNAJ. Puno - San Román - Juliaca.
<b>TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA</b>	: 01 muestra de 1000 mL aprox. Compuesta por 01 envase PE de 1000 mL para análisis FQ.
<b>PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN</b>	: En envase de polietileno, cerrada y etiquetada. En contenedor isotérmico a una temperatura de 3.2°C.
<b>CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	: Recibida en el Laboratorio
<b>CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA</b>	: Ninguna (por ser muestra única)
<b>FECHA PRODUCCIÓN</b>	: No especificada
<b>FECHA DE VENCIMIENTO</b>	: No especificada
<b>CONTRATO N°</b>	: 0748-2024
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 15/04/2024
<b>CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:</b>	
-El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.	
-No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.	
-En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.	
-En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.	
-Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.	
-El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.	
-BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.	
-El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.	
-Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.	
-Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.	
PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG <span style="float: right;">Página 1 de 2</span>	
<b>Av. Quífonos B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú</b> <b>Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110</b> <b>e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com</b>	

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

**Anexo 18. Resultados del análisis de aluminio tratadas por coagulación química**




**INFORME DE ENSAYOS N° 2263- 2024**  
**PÁGINA 2 DE 2**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA POTABLE(2) Agua para consumo (tratado por coagulación) / M-02 Coagulación.	UNIDADES
FO	Elemento Al	<0.2	mg/L

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

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento Al : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, Part 3000. Method 3111-D, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, 23rd Ed. 2017.

**OBSERVACIONES :**  
Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

**FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS :** FQ 15/04/2024 al 22/04/2024  
**FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS :** 22/04/2024



**Biga. Miguel Valdivia Martínez**  
Gerente Técnico

Fin del Informe

---

PRP-00-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página 2 de 2


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

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo 19. Cadena de custodia de muestras de coagulación química y electrocoagulación



**REGISTRO DE ENVIO DE MUESTRAS DEL CLIENTE**

Estimado cliente: Agradecemos complete los datos solicitados.

Cliente / Razón Social DIRECCIÓN Nombre del muestreador Codización de referencia		RUC: 20749820127	
UNI VERSIDAD NACIONAL DE SULLCA AV. NUEVA COLONIA Nº 631 DENIS CASILLA TICONA A-1344-2024			

Numeración	NOMBRE DE LA MUESTRA (Identifique la muestra de acuerdo a como desee que aparezca en el informe de Ensayos)	CODIFICACIÓN (opcional)	MATRIZ (Identifique la Matriz según el caso "M" Noiz. Sob para agua)	PROCEDENCIA (Coordenadas, Departamento, Provincia, Distrito, etc) (Opcional)	FECHA DEL MUESTREO	HORA DEL MUESTREO	Determinaciones solicitadas	Total de envases por muestra (Und)	Cantidad Total (ml./o g por Muestra)
01	AGUA PARA CONSUMO HUMANO (RESERVORIO)	M-01	ACB	PUNO AZUAYANO	28/03/24	16.05			
02	AGUA PARA CONSUMO HUMANO (COAGULACION)	M-02	ACB	LABORATORIO UNAS PUNO-SAN ROMAN-SULLCA	22/03/24	18.10			
03	AGUA PARA CONSUMO HUMANO POR ELECTROCOAGULACION	M-03	ACB	LABORATORIO UNAS PUNO-SAN ROMAN-SULLCA	22/03/24	18.30			
04									
05									

**NOTAS IMPORTANTES:**


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

<b>Matrices de agua</b> (Indique las inciales correspondientes en el cuadro de detalle de muestras)	<b>Natural</b> ASM: Submuestra de Ambiental AST: Submuestra Terminal ASR: Superficial de Río ASI: Superficial Lago/Laguna ASD: Depósito Atmosférica	<b>Para Uso y Consumo Humano</b> ACB: Bebida - Poblada ACB: Bebida - Mesa ACB: Bebida - Emvasada ACP: Pícnica ACL: Laguna Artificial	<b>Residual</b> ARD: Doméstica ARI: Industrial ARM: Municipal	<b>De Proceso</b> AFR: Inyección y reinyección APC: Circulación o enfriamiento APA: Alimentación al caldera APCL: Calderas	<b>Salina</b> AMAR: Mar ASSB: Salobre ASSI: Salmuera ASIR: Inyección y Reinyección
--	--	---	--	--	--


**Observaciones:**

Fecha y Hora de Envío de Muestras: 22.03.24  
 Via Utilizada: TONESTRE  
 Posibles Sustancias Interferentes:

Fecha: 15/04/2024	Hora: 16:20	Temperatura Recepción (°C): 3.2°C
-------------------	-------------	-----------------------------------

**RECIBIDO POR:** 

**OBSERVACIONES:**



## REGISTRO DE ENVIO DE MUESTRAS DEL CLIENTE

607-1019

Estimado cliente: Agradecemos complete los datos solicitados.

Cliente / Razón Social: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA	Dirección: AV. NUEVA ZELANDIA N° 634	RUC: 204248201272	
Nombre del muestreador: DENIS CASILLA TICONA			
Cotización de referencia: A-1019-2024			

Número	NOMBRE DE LA MUESTRA <small>(Identifique la muestra de acuerdo a como debe que aparece en el Informe de Emisión)</small>	COMIFICACION <small>(opcional)</small>	MATRIZ <small>(Identifique la Matriz según el código. Nota: Solo para agua)</small>	PROCEDENCIA <small>(Coordinación, Departamento, Provincia, Distrito, etc) (Opcional)</small>	FECHA DEL MUESTREO	HORA DEL MUESTREO	Cotización N°	Determinaciones solicitadas	Total de envíos por muestra (Lts)	Cantidad Total (ml / o g por muestra)
01	AGUA PARA CONSUMO HUMANO (RESERVORIO)	M-01 RESERVORIO	ACB	N: 8352304 E: 371800 PUNO - AZANGARO	22/03/24	16:05			6	
02	AGUA PARA CONSUMO TRATADO PqE (COAGULACION)	M-02 COAGULACION	ACB	LABORATORIO UNAS PUNO - SAN ROMAN - JULIACA	22/03/24	18:10			5	
03	AGUA PARA CONSUMO TRATADO PqE ELECTROCOAGULACION	M-03 ELECTROCOAGULACION	ACB	LABORATORIO UNAS PUNO - SAN ROMAN - JULIACA	22/03/24	18:30			5	
04										
05										

**NOTAS IMPORTANTES:**

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

Natural	Para Uso y Consumo Humano	Residual	De Proceso	Salina
ASM: Submuestras de Menstrual AST: Submuestras Termal ASR: Superficial de Río ASL: Superficial Lago/Laguna ASD: Deposition Atmosférica	ACB: Bebida - Poable ACE: Bebida - Mesa ACP: Bebida - Emvasada ACL: Uguina Artificial	ARD: Domestico ARI: Industrial ARM: Municipal	APF: Inyección y refinación APC: Circulación o enfriamiento APA: Alimentación p/ calderas APCL: Calderas	AMAR: Mar ASSB: Salobre ASSL: Salmuera ASIR: Inyección y Refinación

Observaciones:

Fecha y Hora de Envío de Muestras: 22/03/2024  
 Via Utilizada: Terrestre

RECIBIDO POR: Elexy Oviceto  
 Fecha: 23/03/2024  
 Hora: 09:10  
 Temperatura Recepción (°C): 32.0

REP-01-F-08-REM-C Versión: 01 Fecha de Emisión: 02/07/2020 Elaborado por: JM / Revisado por CAC / Aprobado por GG Página 01 de 01

**Anexo 21.** Solicitud para acceso a zona de muestreo

**Solicito:** Permiso para el acceso al punto de captación y reservorios de la E.P.S. Nor Puno S.A. Azángaro, para recoger muestras de agua para su posterior análisis.

**Señor Gerente General de la Entidad Prestadora de Servicio y Saneamiento Nor Puno S.A. Azángaro.**

**ING. WILLER AZAEL CARI CHECA**



Yo, **DENIS CASILLA TICONA**, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca, identificado con DNI 71035901 y con código de matrícula 7271035901, domiciliado en el distrito de Chupa, provincia de Azángaro, departamento de Puno, con el debido respeto me dirijo ante usted y expongo lo siguiente:

Que, al haber sido aprobado mi proyecto de investigación de tesis denominado **EVALUACIÓN DE LA COAGULACIÓN QUÍMICA Y ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTOS PARA AGUA DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE AZÁNGARO**, y con el fin de dar cumplimiento de los objetivos contemplados en el proyecto de investigación, recorro a su digna autoridad para solicitarle Permiso para el acceso al punto de captación y reservorios de la E.P.S. Nor Puno S.A. Azángaro, para recoger muestras de agua para su posterior análisis.. Para tal efecto, adjunto los siguientes documentos:

- Copia de DNI
- Acta de aprobación de proyecto de tesis

**Por lo expuesto**

Ruego acceder a mi solicitud por ser de justo y de legal.

DENIS CASILLA TICONA  
DNI: 71035901  
CEL: 969510808  
CORREO: dcasillaticona@gmail.com

**Anexo 22. Constancia por uso de laboratorio**

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA Creada por Ley N° 29074 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL</p>	
<p><i>"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las Heroicas Batallas de Junín y Ayacucho"</i></p>		
<p><b><u>CONSTANCIA</u></b></p>		
<p>EL RESPONSABLE DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA.</p>		
<p><b><u>HACE CONSTAR:</u></b></p>		
<p>Que, el tesista <b>DENIS CASILLA TICONA</b>, identificado con DNI N° 71035901, desarrolló el proyecto de investigación titulado <b><u>"EVALUACIÓN DE LA COAGULACIÓN QUÍMICA Y ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTO PARA AGUA DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE AZANGARO"</u></b>, en el Laboratorio de <b><u>ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE AGUAS</u></b>, de la E.P. de Ingeniería Ambiental y Forestal.</p>		
<p>Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines pertinentes.</p>		
<p>Juliaca, 16 de setiembre del 2024.</p>		
<p>Atentamente,</p>		
		
<p><b>CONSTANCIA N° 008-2024-EPIAF.</b></p>		
<p>C.c. Archivo</p>		



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

*“Universidad Pública de Calidad”*



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
*"Universidad Pública de Calidad"*