

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE**  
**RECURSOS NATURALES**



**“APLICACIÓN DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA  
REMOCIÓN DE FOSFATOS Y NITRATOS DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA  
EUTROFIZADA, PATARCOCHA, CERRO DE PASCO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL  
Y DE RECURSOS NATURALES**

Three handwritten signatures in blue ink are positioned vertically on the left side of the page. The top signature is the most legible, followed by two more stylized ones.

**AUTORES:**

**RENZO RUBEN ARROYO BAZALAR**  
**MANUEL ALEJANDRO MAX RAMOS ORTEGA**

**ASESOR(A):**

**MARIA PAULINA ALIAGA MARTINEZ**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN: CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL AMBIENTE**

**Callao, 2023**

**PERÚ**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**  
(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)



VI CICLO TALLER DE TESIS

**ANEXO 3**

**ACTA N° 004-2023 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.**

**LIBRO 01 FOLIO No. 104 ACTA N°004-2023 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.**

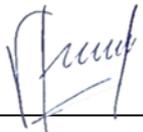
A los 30 días del mes de setiembre del año 2023, siendo las 16:05 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/fyg-foyt-xpc>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la **Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

<b>Dr.</b>	<b>Eduardo Valdemar Trujillo Flores</b>	<b>: Presidente</b>
<b>Mtro.</b>	<b>Carlos Odorico Tome Ramos</b>	<b>: Secretario</b>
<b>MsC.</b>	<b>María Antonieta Gutiérrez Díaz</b>	<b>: Vocal</b>
<b>Mg.</b>	<b>Luís Enrique Lozano Vieytes</b>	<b>: Suplente</b>
<b>MC.</b>	<b>María Paulina Aliaga Martínez</b>	<b>: Asesora</b>

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Renzo Ruben Arroyo Bazalar y Manuel Alejandro Max Ramos Ortega, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **“APLICACIÓN DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE FOSFATOS Y NITRATOS DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA EUTROFIZADA, PATARCOCHA, CERRO DE PASCO”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprobado con la escala de calificación cualitativa Bueno y calificación cuantitativa Quince (15) la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 16:40 horas del día sábado 30 de setiembre del año en curso.

  
\_\_\_\_\_  
**Presidente**

  
\_\_\_\_\_  
**Secretario**

  
\_\_\_\_\_  
**Vocal**

  
\_\_\_\_\_  
**Asesora**

## Document Information

<b>Analyzed document</b>	1A; ARROYO BAZALAR; Renzo Ruben_RAMOS ORTEGA; Manuel Alejandro Max_IF TESIS.pdf (D174132133)
<b>Submitted</b>	2023-09-19 01:15:00
<b>Submitted by</b>	
<b>Submitter email</b>	fiarn.investigacion@unac.edu.pe
<b>Similarity</b>	10%
<b>Analysis address</b>	unidad.de.investigacion.fiarn.unac@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>4792-Barboza Palomino, Gloria Inés.pdf</b> Document 4792-Barboza Palomino, Gloria Inés.pdf (D84812039)		<b>1</b>
<b>SA</b>	<b>Tecsi_S_TESIS.docx</b> Document Tecsi_S_TESIS.docx (D110433569)		<b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65337/TESIS-split-merge.pdf?sequence=3&amp;isAll...">http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65337/TESIS-split-merge.pdf?sequence=3&amp;isAll...</a> Fetched: 2023-09-19 01:16:00		<b>2</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 10. TESIS - TUPIA MONTES-VALERIO CLAUDIO.pdf</b> Document 10. TESIS - TUPIA MONTES-VALERIO CLAUDIO.pdf (D163882467) Submitted by: fiq.investigacion@unac.edu.pe Receiver: fiq.investigacion.unac@analysis.arkund.com		<b>17</b>
<b>SA</b>	<b>TESIS- RAFAEL QUIZANA BARREDA.docx</b> Document TESIS- RAFAEL QUIZANA BARREDA.docx (D155053020)		<b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1488?show=full">https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1488?show=full</a> Fetched: 2023-09-19 01:15:00		<b>6</b>
<b>SA</b>	<b>TESIS FINAL1.pdf</b> Document TESIS FINAL1.pdf (D40510541)		<b>2</b>
<b>SA</b>	<b>Tesis_v6( 08.04.22)x.docx</b> Document Tesis_v6( 08.04.22)x.docx (D134013228)		<b>23</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / Tesis Posgrado con formato CORREGIDO.pdf</b> Document Tesis Posgrado con formato CORREGIDO.pdf (D106968778) Submitted by: fiq.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fiq.posgrado.unac@analysis.arkund.com		<b>2</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / Araujo, Campos y Chavarría.pdf</b> Document Araujo, Campos y Chavarría.pdf (D64845962) Submitted by: fiq.investigacion@unac.edu.pe Receiver: fiq.investigacion.unac@analysis.arkund.com		<b>1</b>

## INFORMACIÓN BÁSICA

**FACULTAD:** INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:** FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

**TÍTULO:**

“APLICACIÓN DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE FOSFATOS Y NITRATOS DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA EUTROFIZADA PATARCOCHA, CERRO DE PASCO”

**AUTOR(ES) / CÓDIGO ORCID / DNI:**

RENZO RUBEN ARROYO BAZALAR / COD ORCID:0009-0005-9136-0638 / DNI: 48311790

MANUEL ALEJANDRO MAX RAMOS ORTEGA / COD ORCID:0009-0003-0791-2336 / DNI: 72484550

**ASESOR:**

MARIA PAULINA ALIAGA MARTINEZ / COD ORCID: 0000-0003-2767-4825 / DNI: 08663264

**LUGAR DE EJECUCIÓN:**

LAGUNA PATARCOCHA, DISTRITO CHAUPIMARCA, PROVINCIA CERRO DE PASCO, REGION PASCO

**UNIDADES DE ANÁLISIS:** AGUA DE LA LAGUNA EUTROFIZADA PATARCOCHA

**TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:**

APLICADA / CUANTITATIVO / EXPERIMENTAL.

**TEMA OCDE:**

1.05.08–CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación es dedicado con todo nuestro amor a nuestra familia principalmente a nuestros padres quienes han sido nuestra fuente de inspiración y nos han apoyado a lo largo de esta etapa. A nuestros hermanos quienes nos han dado aliento para continuar en este proyecto hasta culminarlo incentivando a no desistir en el camino y han sido el principal motor a seguir.

## **AGRADECIMIENTO**

Se agradece por el apoyo brindado en la elaboración del presente trabajo de investigación a la Mg. Maria Paulina Aliaga Martinez, quien a través de esta etapa nos ha guiado y compartido conocimiento hasta la finalización y sustentación del trabajo.

También mencionar a los docentes involucrados en este proyecto de investigación quien nos brindaron comentarios que aportaron en la sustentación de tesis y aquellos docentes que ayudaron en la validación de las fichas de instrumentación por el apoyo brindado.

## INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
INDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
INDICE DE ABREVIATURA.....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	xv
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	1
1.2. Formulación del problema .....	2
1.2.1. Problema general .....	2
1.2.2. Problema específico .....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Justificación .....	4
1.4.1. Justificación teórica .....	4
1.4.2. Justificación ambiental.....	4
1.4.3. Justificación tecnológica y económica .....	4
1.4.4. Justificación legal .....	4
1.5. Delimitantes de la investigación.....	5
1.5.1. Teórica.....	5
1.5.2. Temporal .....	6

1.5.3.	Espacial .....	6
II.	MARCO TEÓRICO .....	7
2.1.	Antecedentes del estudio.....	7
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	7
2.1.2.	Antecedentes Nacionales .....	10
2.2.	Bases Teórica .....	15
2.2.1.	Aplicación de la electrocoagulación.....	15
2.2.2.	Remoción de fosfatos y nitratos.....	22
2.3.	Marco Conceptual.....	24
2.3.1.	Proceso de electrocoagulación.....	24
2.3.2.	Aplicación del proceso de electrocoagulación .....	25
2.3.3.	Remoción de fosfatos y nitratos.....	25
2.3.4.	Aguas de laguna eutrofizada .....	26
2.4.	Definición de términos básicos .....	30
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	34
3.1.	Hipótesis .....	34
3.1.1.	Hipótesis General .....	34
3.1.2.	Hipótesis Específicas.....	34
3.2.	Definición conceptual de las variables .....	34
3.2.1.	Operacionalización de las variables .....	36
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	38
4.1.	Diseño Metodológico .....	38
4.2.	Método de investigación .....	41
4.2.1.	Identificación de la zona de estudio.....	43
4.2.2.	Toma de muestra y acondicionamiento de las muestras .....	43
4.2.3.	Caracterización inicial de muestras .....	44

4.2.4.	Diseño del equipo de electrocoagulación .....	45
4.2.5.	Arreglo de electrodos.....	48
4.2.6.	Determinación de niveles y factores .....	48
4.2.7.	Fase experimental - Determinación del tiempo de contacto y de la densidad de corriente.....	49
4.2.8.	Evaluación de la remoción.....	49
4.3.	Población y muestra .....	50
4.3.1.	Población.....	50
4.3.2.	Muestra.....	50
4.4.	Lugar de estudio .....	50
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información .....	51
4.5.1.	Técnicas .....	51
4.5.2.	Instrumentos para la recolección de la información.....	52
4.5.3.	Procedimiento.....	52
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	52
4.7.	Aspectos éticos en investigación .....	53
V.	RESULTADOS.....	54
5.1.	Resultados descriptivos .....	54
5.1.1.	Resultados de la caracterización físico química pre y post tratamiento.....	54
5.1.2.	Resultados del porcentaje de remoción de fosfatos, nitratos y turbidez más significativo .....	62
5.2.	Resultados inferenciales.....	67
5.2.1.	Condiciones de operación óptimas.....	67
5.2.2.	Parámetros que influyen en la electrocoagulación .....	73
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	77
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .....	77

6.1.1.	Resultados de la caracterización pre y post tratamiento .....	77
6.1.2.	Condiciones de operación óptima .....	77
6.1.3.	Parámetros que influyen en la remoción de fosfatos y nitratos....	78
6.1.4.	Remoción significativa .....	79
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	79
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes .....	81
VII.	CONCLUSIONES.....	82
VIII.	RECOMENDACIONES .....	83
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	84
ANEXOS	.....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación del nivel trófico</i> .....	28
Tabla 2 <i>Definición de variables</i> .....	35
Tabla 3 <i>Tabla de Operacionalización de variables</i> .....	36
Tabla 4 <i>Factores y niveles</i> .....	39
Tabla 5 <i>Matriz de diseño</i> .....	40
Tabla 6 <i>Conservación y preservación de muestra de agua según el parámetro evaluado</i> .....	43
Tabla 7 <i>Parámetros a evaluar</i> .....	44
Tabla 8 <i>Métodos analíticos para la determinación de los indicadores</i> .....	45
Tabla 9 <i>Dimensiones del equipo de electrocoagulación</i> .....	45
Tabla 10 <i>Dimensiones de los electrodos de hierro y aluminio</i> .....	47
Tabla 11 <i>Condiciones estándares del proceso de electrocoagulación</i> .....	49
Tabla 12 <i>Información del área de estudio</i> .....	51
Tabla 13 <i>Parámetros fisicoquímicos pre tratamiento</i> .....	54
Tabla 14 <i>Parámetros fisicoquímicos Laguna Patarcocha</i> .....	54
Tabla 15 <i>Parámetros fisicoquímicos post tratamiento</i> .....	56
Tabla 16 <i>Media de los parámetros fisicoquímicos post tratamiento</i> .....	57
Tabla 17 <i>Comparación de datos obtenidos con el ECA</i> .....	61
Tabla 18 <i>Porcentajes de remoción de fosfatos, nitratos y turbidez</i> .....	63
Tabla 19 <i>Datos estadísticos de la remoción de fosfatos, nitratos y turbidez</i> .....	65
Tabla 20 <i>Condiciones de operación óptimas para la remoción</i> .....	67
Tabla 21 <i>Prueba estadística ANOVA, Remoción de fosfatos y nitratos vs tiempo de contacto</i> .....	69
Tabla 22 <i>Prueba estadística ANOVA, Remoción de fosfatos y nitratos vs densidad de corriente</i> .....	70
Tabla 23 <i>Prueba Inter sujetos para remoción de fosfatos</i> .....	71
Tabla 24 <i>Prueba Inter sujetos para remoción de nitratos</i> .....	72
Tabla 25 <i>Remoción de fosfatos y nitratos versus parámetros que influyen</i> .....	74

<b>Tabla 26 Prueba estadística ANOVA, Remoción de fosfatos y nitratos vs pH .....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 27 Prueba estadística ANOVA, Remoción de fosfatos y nitratos vs temperatura .....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 28 Resultados pre y post tratamiento de las aguas.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 29 Condiciones óptimas para remoción de fosfatos y nitratos .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 30 Remoción de contaminante .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Representación esquemática de los mecanismos de (a) electrocoagulación.</i> .....	16
Figura 2 <i>Celda de electrocoagulación</i> .....	18
Figura 3 <i>Turbidez en diferentes muestras de agua</i> .....	20
Figura 4 <i>Escala del pH</i> .....	21
Figura 5 <i>Sistema de electrocoagulación para la remoción de fosfatos y nitratos</i> .....	24
Figura 6 <i>Transición natural de un lago por varios estados de productividad.</i> .....	27
Figura 7 <i>Ilustración simplificada de la eutrofización.</i> .....	29
Figura 8 <i>Actividades del método</i> .....	42
Figura 9 <i>Dimensiones del equipo</i> .....	46
Figura 10 <i>Fuente de poder de 2Amperios y 15Voltios</i> .....	46
Figura 11 <i>Electrodo de aluminio y de hierro</i> .....	47
Figura 12 <i>Diseño del electrocoagulador</i> .....	48
Figura 13 <i>Arreglo de electrodos</i> .....	48
Figura 14 <i>Mapa de ubicación del área de estudio</i> .....	51
Figura 15 <i>Diagrama de cajas – Concentración final de Fosfatos (mg/L)</i> ....	58
Figura 16 <i>Diagrama de cajas - Concentración final de nitratos</i> .....	59
Figura 17 <i>Diagrama de cajas – pH</i> .....	60
Figura 18 <i>Diagrama de cajas – Concentración final de Turbidez (NTU)</i> ....	61
Figura 19 <i>Diagrama de cajas - remoción de fosfatos</i> .....	65
Figura 20 <i>Diagrama de caja - remoción de nitratos</i> .....	66
Figura 21 <i>Diagrama de cajas - remoción de turbidez</i> .....	66
Figura 22 <i>Interacción entre la densidad de corriente y tiempo de contacto para la remoción de fosfatos</i> .....	71
Figura 23 <i>Interacción entre la densidad de corriente y el tiempo de contacto para Remoción de nitratos</i> .....	73

## INDICE DE ABREVIATURA

- A:** Amperaje
- ANA:** Autoridad Nacional del Agua
- A/cm<sup>2</sup>:** Ampere por centímetro cuadrado
- COT:** Carbono orgánico total
- CO:** Condiciones de operación
- CE:** Conductividad eléctrica
- DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno
- DQO:** Demanda Química de Oxígeno
- DO:** Demanda de Oxígeno
- EC:** Electrocoagulador
- ECA:** Estándar de calidad ambiental
- EPP:** Equipo de protección personal
- IET:** Índice de estado trófico.
- LMP:** Limite máximo permisible
- MINAM:** Ministerio del Ambiente
- Mg/L:** Miligramo por litro
- NMP:** Número más probable
- PH:** Potencial de Hidrógeno
- SST:** Sólidos suspendidos totales
- V:** Voltaje

## RESUMEN

El presente trabajo que tiene como título “**APLICACIÓN DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE FOSFATOS Y NITRATOS DE LAS AGUAS EUTROFIZADA DE LA LAGUNA PATARCOCHA, CERRO DE PASCO**”, tuvo como objetivo principal evaluar como la aplicación del proceso de electrocoagulación influye en la remoción de fosfatos y nitratos. El tipo de investigación para el presente trabajo fue aplicado, diseñando un electrocoagulador con electrodos de hierro como cátodo y aluminio como ánodo además de utilizar como unidad de análisis muestras de agua eutrofizada de la laguna Patarcocha.

La metodología empleada en la investigación fue de enfoque cuantitativa, experimental. La toma de muestra se realizó in situ en la laguna Patarcocha, siendo caracterizado pre tratamiento y obteniendo para los siguientes parámetros de fosfatos, nitratos, pH, turbidez los siguientes valores 5,88 mg/L, 1.80 mg/L, 7.56 mg/L y 28.10 NTU respectivamente.

Los resultados obtenidos post tratamiento de las aguas eutrofizadas para los parámetros de fosfatos, nitratos, pH y turbidez son 0.10 mg/L, 0.5174mg/L, 7.58 y 12.81 NTU, así mismo se obtuvo una remoción del 98.30% de fosfatos, 97.22% de nitratos y 71.96% de turbidez. Adicionalmente, las mejores condiciones de operación fueron de 50 minutos y 60A/m<sup>2</sup> para remover fosfatos mientras que para nitratos fueron de 50 minutos y 30A/m<sup>2</sup>.

Se concluye que, con la aplicación de electrocoagulación se ha logrado una remoción mayor al 96% en los parámetros de fosfatos y nitratos, cumpliendo con los valores establecidos por el ECA agua categoría 4; demostrando así que el proceso de electrocoagulación es efectivo en el tratamiento de aguas eutrofizadas.

**Palabras clave:** aguas eutrofizadas, electrocoagulación, remoción de fosfatos y nitratos.

## ABSTRACT

This research that its name is “**APPLICATION OF ELECTROCOAGULATION PROCESS TO REMOVE PHOSPHATES AND NITRATES FROM THE EUTROPHIZED WATERS OF PATARCOCHA’S LAKE, CERRO DE PASCO**”, it’s principal objective is evaluate how the aplication of the electrocoagulation process influences in removal of phophates and nitrates.

The kind of investigation used is applied, designing an electrocoagulator with electrodes wich were made by aluminum to anodes and iron to cathodes also the anlysis unit was eutrophized wáter collected in Patarcocha’s lake.

The methodology used in this investigation was cuantitative. The water sample was taken in situ in Patarcocha’s lake after this it was sampled before treatment in the following parameters; phophates, nitrates, pH and turbidity getting the next values 5,88 mg/L, 1.80 mg/L, 7.56 mg/L y 28.10 NTU.

The results obtained after treatment of eutrophized water to the parameters of phosphates, nitrates, pH and turbidity were 0.10 mg/L, 0.5174mg/L, 7.58 y 12.81 NTU, in addition to that the porcentaje remotion to phosphates was 98.30%, 97.22% to nitrates and 71.96% to turbidity. Finally, the best operation conditions were 50 minutes and 60A/m<sup>2</sup> to remove phosphates while 50 minutes and 30A/m<sup>2</sup> to remove nitrates. It's concluded that the application of electrocoagulation removed more than 96% to phosphates and nitrates parameters also these results comply with ECA water category 4 denoting that electrocoagulation process is effective to eutrophized water treatment.

**Key words:** eutrophized water, electrocoagulation, phosphates and nitrates removal.

## INTRODUCCIÓN

El tema de remoción de nitratos ha sido estudiado por varios investigadores desarrollando métodos como la osmosis inversa, intercambio iónico o tratamiento biológico los cuales presentan dificultades, sin embargo, recientemente se ha probado que la electrocoagulación es una técnica adecuada para remover nitratos.(CORREA et al. 2018)

La presente investigación se realizó debido a que el proceso de electrocoagulación es considerado como una tecnología emergente, es ambientalmente sostenible, presenta un óptimo, eficiente consumo energético y porque es efectiva en la remoción de sales contaminantes (amonio, sulfatos, fosfatos), eliminación de coloides y de diferentes contaminantes como lo argumenta (MOYA y CANALES 2018).

En ese sentido, el objetivo principal del presente estudio fue aplicar el proceso de electrocoagulación para remover fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizadas Patarcocha, Cerro de Pasco.

La remoción de estos contaminantes se realizó diseñando un equipo para el proceso de electrocoagulación donde las muestras de aguas provenientes de la laguna eutrofizada fueron sometidas a diferentes densidades de corriente y tiempo de contacto estableciendo 03 niveles para cada factor mencionado.

Entre limitaciones del presente trabajo de investigación tenemos la reposición de los electrodos a utilizar en el presente proceso los cuales son aluminio y hierro, a esto se adiciona el elevado consumo de energía eléctrica en ciertas áreas y por ello podría ser considerado un tratamiento costoso, se generan lodos con metales de acuerdo a los electrodos a utilizar los cuales deben de ser almacenados, tratados y dispuestos y finalmente el mantenimiento del equipo.(HAKIZIMANA et al. 2017)

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel global los lagos y lagunas son un importante recurso de agua dulce y que provee de importantes servicios ecosistémicos, por lo que se observa la importancia en los ciclos biogeoquímicos y como regulador del clima (CHEN et al. 2022) .Sin embargo los impactos humanos sobre los lagos están generando la degradación de tales ecosistemas, reducción del suministro de servicios ecosistémicos a consecuencia del aumento de la eutrofización y la contaminación(MONCHAMP et al. 2018)

Además, el fósforo total y nitrógeno son determinantes sobre la vegetación acuática de los lagos afectados(Lachavanne et al, 1992) los cuales a partir de diferentes procesos se convierten en compuestos inorgánicos como fosfatos y nitratos(ROLDAN y RAMIREZ 2008) ;sin embargo, son pocos los estudios de lagos en las zonas tropicales de América Latina relacionados a la eutrofización. (KIERSCH y GUNKEL 2004)

En el Perú la contaminación de cuerpos de agua se destaca como uno de los principales problemas ambientales, la fragilidad de los ecosistemas acuáticos impacta sobre la biodiversidad, cuya biota local concentra comunidades ecológicas únicas(CUSICHE y MIRANDA 2019) .Ya desde los estudios de (Krenkel y Novotny 1980) manifiesta la eutrofización de lagos y lagunas como un problema a nivel local en nuestro país por falta de información en la caracterización y el estado de concentración de nitrógeno y fósforo.

Así mismo en la ciudad de Cerro de Pasco en la región de Pasco a 4333 msnm el cual tiene alto déficit de desagüe y servicios de saneamiento lo que impacta a las lagunas locales con aguas residuales, causando eutrofización(AVELINO 2011). Como consecuencia los servicios ambientales de estos cuerpos de agua se dañan, perdiendo sus funciones (GARCIA 2020).

La laguna de Patarcocha ha sido contaminada gradualmente, debido al vertimiento de las aguas residuales domésticas provenientes de las casas aledañas a ésta, además que los residuos sólidos generados por los habitantes son arrojados a la orilla alterando totalmente el ecosistema que en algún momento los proveyó de agua potable(GARCIA 2020) debido a esto podemos

decir que el desarrollo urbano ha impactado significativamente la calidad del agua de la Laguna Patarcocha. En tal sentido (MURGA 2011) da a conocer la caracterización física, química y biológica de la laguna Patarcocha cuyos valores promedios para parámetros de nitratos es de 6 mg/L y fosfatos de 50.3 mg/L esto supera a lo establecido en el estándar de calidad ambiental para el agua cuyo valor máximo para la categoría 4: conservación del ambiente acuático lagunas y lagos para nitratos es de 13mg/L y para fosfato es de 0.1071 mg/L a partir de la conversión de fósforo total cuyo valor es de 0.035mg/L según la normativa peruana.

Es por eso que, durante los últimos años, el objetivo principal de las investigaciones es el tratamiento de aguas y aguas residuales mediante electrocoagulación (EC)(TUMSRI y CHAVALPARIT 2011). Y se han estudiado casos con éxito para tratar numerosos tipos de aguas residuales, incluidas las aguas residuales municipales, las aguas residuales de teñido, las aguas residuales de biodiesel y las aguas residuales contaminadas con especies orgánicas como el fenol(BUKHARI 2008).

También se ha demostrado que es eficaz para eliminar del agua la contaminación como el fluoruro, el arsénico, los metales pesados, la turbidez y las algas(TUMSRI y CHAVALPARIT 2011). Así también se propone a la electrocoagulación como una tecnología económicamente sustentable debido a que se pueden utilizar paneles solares en su operación(NEPO et al. 2017).

Por lo tanto, se evaluará la aplicación del proceso de la electrocoagulación para la remoción de fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha, de la región Cerro de Pasco, por ser importante como rol ecológico que desempeña además de ser de interés nacional y de necesidad pública para las poblaciones.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera la aplicación del proceso de electrocoagulación influye en la remoción de fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha, Cerro de Pasco?

### **1.2.2. Problema específico**

- ¿Cuál será la caracterización físico química pre y post tratamiento de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha por resultado de la aplicación del proceso de electrocoagulación cumple con el estándar de calidad de agua en su categoría IV?
- ¿Cuáles serán las condiciones de operación óptimas en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha?
- ¿Cuáles son los parámetros que influyen en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha?
- ¿Cuánto será el porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos producto de la aplicación del proceso de electrocoagulación en las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar como la aplicación del proceso de electrocoagulación influye en la remoción de fosfato y nitrato en aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha, Cerro de Pasco.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la caracterización físico química pre y post tratamiento de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha por resultado de la aplicación del proceso de electrocoagulación cumple con el estándar de calidad de agua en su categoría IV.
- Determinar las condiciones de operación óptimas en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.
- Determinar los parámetros que influyen en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.
- Determinar el porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos producto de la aplicación del proceso de electrocoagulación en las aguas de la laguna

eutrofizada Patarcocha.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Justificación teórica**

La electrocoagulación es un proceso electroquímico cuya aplicación está enfocada para la remoción de contaminantes tales como nitratos y fosfatos, ha tenido un alto rendimiento en el tratamiento de aguas residuales, a través de una formación de coagulante in situ producto de la reacción de electrodos sumergidos en agua, permitiendo la remoción de los contaminantes mediante la formación de flóculos. (CORREA et al. 2018) por lo cual se justifica el contribuir al conocimiento científico al aplicar el proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfatos y nitratos en las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.

### **1.4.2. Justificación ambiental**

La aplicación del proceso de electrocoagulación (EC) viene siendo una técnica muy utilizada para recuperar cuerpos de aguas contaminados a través del principio de la electroquímica aplicando corriente a electrodos sumergidos en el medio contaminado, esta tecnología es considerada un proceso benigno o amigo del medio ambiente, ya que no tiene impactos ambientales negativos en el cuerpo de agua que se va a tratar, es por ello la necesidad de aplicar estrategias efectivas para remover fosfatos y nitratos en las aguas eutrofizadas de la laguna Patarcocha. (PRIETO et al. 2012)

### **1.4.3. Justificación tecnológica y económica**

Por otro lado según (MELO y SACRISTAN 2018), entre las ventajas que presenta el proceso de electrocoagulación es que ofrece una reducción del capital debido a la combinación de diferentes procesos como: oxidación, coagulación y precipitación, además (NIDHEESH y SINGH 2017) indica que es una tecnología de costo relativamente bajo para regiones donde el costo de suministro eléctrico es bajo (RIVAS y ROJAS 2020), además el proceso ha generado una alta eficiencia en la eliminación de partículas en una instalación compacta para tratamiento de aguas residuales.

### **1.4.4. Justificación legal**

Según la **Constitución Política del Perú (31/10/1993)**: la cual es base del ordenamiento jurídico nacional en el **CAPITULO I SOBRE LOS DERECHOS**

**FUNDAMENTALES DE LA PERSONA** en el **artículo 2** se menciona que toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida.

En la **Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)** el artículo 3 nos menciona sobre el rol del estado en materia ambiental:

*“El estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña, aplica las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarios para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidos de la presente Ley”.*

Es por ello que en artículo 120 de la protección de la calidad de las aguas el estado como encargado promueve el tratamiento de las aguas residuales con el objetivo de reutilizarlo y considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria de reúso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizan.

Mediante el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM se **Aprueban los ECA para Agua** donde establece los niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos y químicos y biológicos, presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no represente algún riesgo significativo para el ambiente ni para la salud humana.

## **1.5. Delimitantes de la investigación**

### **1.5.1. Teórica**

La investigación está enfocada en la aplicación del proceso de electrocoagulación como método de tratamiento para reducir fosfatos y nitratos de la laguna Patarcocha, ubicada en Cerro de Pasco. Se delimita teóricamente el trabajo a utilizar los principios electroquímicos involucrados en la electrocoagulación y se buscó remover los fosfatos y nitratos contribuyendo a recuperar el cuerpo de agua y mejorar la calidad de agua de la laguna. (MOYA y CANALES 2018)

### **1.5.2. Temporal**

La extensión de tiempo que se cubrió para realizar este estudio, se realizó durante el periodo de cuatros meses, empezando desde mayo del 2023 y culminando en agosto del 2023. Durante este periodo de tiempo, se logró una caracterización inicial de las aguas muestreadas siendo comparadas con los resultados obtenidos en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfatos y nitratos en las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.

### **1.5.3. Espacial**

La presente investigación se centró en la laguna Patarcocha, ubicada en el distrito de Chaupimarca en la provincia de Cerro de Pasco conocida por su alta carga de nutrientes y proliferación de algas. Se investigó la eficacia de la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfatos y nitratos de sus aguas, teniendo así una mejor calidad de agua de la presente laguna.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

(HERNANDEZ, Daniela 2016) en su investigación titulada **“Tratamiento acoplado fisicoquímico – electrocoagulación para incrementar la remoción de la materia orgánica de un agua residual de rastro municipal”** tuvo como objetivo el de proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de un rastro municipal utilizando el método de tratamiento fisicoquímico – electrocoagulación. El método de investigación es de tipo aplicada, diseño experimental, donde se elaboró una celda electroquímica con un volumen de 200ml, utilizando electrodos (tanto para ánodo como el cátodo) de Cu con dimensiones de 5cm de largo y 2.5 cm de ancho, variando la intensidad de corriente utilizada en el proceso de 0.5 A, 1.0 A y 2.0 A, y unas densidades de corriente de  $j = 20 \text{ mA/cm}^2$ ,  $40 \text{ mA/cm}^2$  y  $80 \text{ mA/cm}^2$  respectivamente, utilizando tiempos de contacto (retención) de pruebas de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min, 3h, 6h, 9h y 24h. Los resultados indicaron que se tuvo una remoción de nitritos de 80% además con una remoción de fosfatos del 93% utilizando el proceso de la electrocoagulación. Se concluyó que las condiciones óptimas para tener una mayor remoción de contaminantes utilizando una intensidad de corriente de 5 A en un tiempo de contacto de 6 minutos. Sería importante realizar un análisis de la concentración de Cu existente en el efluente tratado y así poder descartar efectos adversos y/o posible contaminación de las aguas residuales por tratamiento con Cu.

(MELO y SACRISTAN 2018) en su investigación titulada **“Evaluación de la remoción de nitratos por electrocoagulación”** tuvo como objetivo el de evaluar la remoción de los nitratos utilizando el proceso fisicoquímico de la electrocoagulación, siendo una herramienta no convencional para el tratamiento de aguas residuales. El método de investigación es de tipo aplicada, donde se simuló aguas residuales con concentración de nitratos de  $100 \text{ mgNO}_3/\text{L}$ ,  $200 \text{ mgNO}_3/\text{L}$  y  $300 \text{ mgNO}_3/\text{L}$ , utilizando una intensidad de corriente de 1.0 A, 2.0 A y 2.5 A con un tiempo de contacto de 30, 60 y 90 minutos, para ello se diseñó

una celda de forma rectangular de un material de acrílico de dimensiones de 12 cm, 9.8 cm y 6.8 cm de ancho, largo y profundidad respectivamente, utilizando electrodos de hierro y aluminio de 11 cm, 9.8 cm y 0.3 cm de ancho, alto y espesor respectivamente y una distancia entre cada electrodo de 2 cm. Los resultados indican que se tuvo un 95% de remoción de nitratos en la solución de 100 mgNO<sub>3</sub>/L, utilizando una intensidad de corriente de 2.5 A y 90 minutos de tiempo de contacto. Se concluye que la técnica de electrocoagulación remueve efectivamente los iones de nitrato y con el tratamiento de estas aguas residuales por el método de electrocoagulación no exceden los estándares de calidad de agua para consumo de agua, según la legislación colombiana. Se recomienda aplicar este proyecto en niveles de mayores de volúmenes de agua tratada, aplicando el mismo proceso en un cuerpo de agua natural.

(MONTENEGRO et al. 2019) en su investigación titulada **“Evaluación de la eficiencia de un sistema de electrocoagulación en los vertimientos de curtiembres en el sector de Villapinzón (Cundimarca)”** tuvo como objetivo proponer un sistema para remover contaminantes provenientes de efluentes de la empresa de curtiembre utilizando el proceso de electrocoagulación para la remoción de contaminantes. El método de investigación es de tipo aplicada, diseño experimental para ello se diseñó un electrocoagulador con una capacidad de 5 litros de las siguientes dimensiones 15 cm, 26 cm y 22 cm de alto, largo y ancho respectivamente, teniendo 3 zonas específicas como son la zona de flotación, zona de reacción y zona de sedimentación ( donde se colocó un caño en la zona de reacción para la extracción de muestras, además se utilizaron electrodos de 115cm de largo y 10cm de ancho, mostrando 10 electrodos 5 de hierro(cátodo) y 5 de aluminio (ánodo) con una distancia de separación de 2cm cada uno, además se utilizó un sistema eléctrico con un voltaje de 12 V y 5A constantes. Los resultados indican que en los parámetros de nitritos, nitratos, fosfatos y sulfatos hay una remoción superior del 90%, y también en función de los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub> se tiene una remoción de 63.4%. Se concluye un sistema de electrocoagulación es un proceso para el tratamiento de aguas residuales altamente eficiente y siempre viable, donde se puede llevar a la

aplicación de diferentes dimensiones de electrocoaguladores y disposición de electrodos. Sería importante que en futuras investigaciones en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la empresa de curtiembre se considere el tiempo de residencia y además variar los electrodos que se están utilizando en el proceso.

(YANG et al. 2022) en su investigación titulada **“Remoción de fosfato en efluentes secundarios de aguas residuales de plantas de tratamiento municipales por electrocoagulación de hierro y aluminio: Mecanismos y eficiencia”** tuvo como objetivo investigar la remoción de fosfato en efluentes secundarios de aguas residuales domésticas reales durante el proceso Fe-EC en concentraciones bajas y altas de oxígeno disuelto (OD). El método de investigación es de tipo aplicada, diseño experimental. Los resultados indican que el fosfato (1.3. mg/L) podía ser removido eficientemente con una eficiencia de  $98\% \pm 2\%$  tanto durante el proceso Fe-EC con baja y alta concentración de OD, así como durante el proceso Al-EC, con una ligera menor tasa de remoción durante Al-EC (en 5 min) en comparación con Fe-EC (en 2 min), a  $10 \text{ mA/cm}^2$ . La composición de los flóculos fue principalmente de óxido verde durante Fe-EC con bajo DO, óxido/hidróxido de hierro trivalente amorfo durante Fe-EC con alto DO e hidróxido de aluminio amorfo durante Al-EC. Del mecanismo de remoción también se dedujo que la remoción de fosfato por Fe-EC con alto DO y Al-EC fue principalmente por coagulación, mientras que por Fe-EC con baja concentración de DO fue principalmente por adsorción de intercambio iónico. Se concluye el aluminio podría lograr una eliminación de algas mucho mejor electrodos que la de los electrodos de hierro, como lo indica el menor tiempo de electrólisis requerido para la eliminación completa de aguas y el agua tratada más clara.

Podríamos destacar a (INAN y ALAYDIN 2014) en su investigación titulada **“Eliminación de fosfato y nitrógeno por hierro producido en reactor de electrocoagulación”** tuvo como objetivo remover nutrientes de la orina humana (agua amarilla). El agua amarilla se preparó sintéticamente con los componentes

principales: nitrógeno y fósforo. Como resultado del ajuste del pH, el nitrógeno y el fósforo, que están presentes en la orina, reaccionan con la solución de hierro generada electroquímicamente y luego se acumulan en el lodo por precipitación. La metodología de los experimentos se realizó bajo diferentes valores de pH para la evaluación de este nuevo proceso de eliminación de nutrientes EC. El efecto del tratamiento EC sobre la eliminación de nutrientes fue seguido por mediciones de nitrógeno total y fosfato y espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR). También se examinaron los efectos de los parámetros de tratamiento (pH, hierro/fosfato, hierro/nitrógeno, hierro/nutrientes) sobre el rendimiento del tratamiento EC para evaluar la aplicabilidad de este novedoso método EC para el tratamiento de aguas amarillas. Los resultados muestran que el aumento del pH mejoró las eficiencias de eliminación de fosfato en proporciones molares de nutrientes definidas. La eficiencia de eliminación de fosfato fue de aproximadamente 98% a pH 8 para una relación molar de hierro/nutriente de 1:1 y, por otro lado, la eliminación de nitrógeno fue de solo 21% a pH 8 para una relación molar de hierro/urea de 4:1. La eficiencia de eliminación de carbono orgánico total (TOC) se alcanzó en un 26 % del proceso. Se discutieron los espectros de adsorción FTIR para los lodos obtenidos.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

(PACHECO 2019) su investigación titulada **“Remoción de colorantes en soluciones acuosas sintéticas por electrocoagulación aplicando energía generada por un panel solar”** tuvo como objetivo determinar la eficiencia de remoción de colorante mediante un sistema electrocoagulación asistida por un panel solar. El método de investigación tipo aplicada, diseño experimental. Se prepararon soluciones acuosas con los colorantes a concentración de 2g/L a pH de 3 y 10, se usaron electrodos de hierro y aluminio con una distancia de 1.5 cm, Voltaje de 2, 4 y 6 con un tiempo de residencia de 30 min. Los resultados mostraron que existe una alta remoción del colorante y que la energía suministrada por el panel solar al sistema de electrocoagulación fue suficiente llegando a un % de remoción de (93.5% a 97.5%) en pH alcalino (PH 10) y (18% a 86.5%) en pH ácido (PH 3). Se concluyó que el uso de energía renovables

como la solar es una contribución a la reducción de la huella ecológica ocasionada por los colorantes que contienen las aguas residuales de la industria. Sería importante que se tome en cuenta los resultados de esta investigación para llevar a la práctica la remoción de contaminantes a diferentes tipos de aguas residuales y además compararlos con otras energías renovables y su efectividad en el proceso de electrocoagulación.

(CUBA y CHAMBI 2018), en su investigación titulada **“Remoción de iones cromo, níquel y zinc de efluentes de la industria galvánica usando técnica de electrocoagulación”**, tuvo como objetivo tratar aguas residuales industriales mediante el proceso de electrocoagulación, en este trabajo se propone la utilización de un sistema de electrocoagulación y para obtener resultados previos se realizó ensayos experimentales con una muestra sintética bajo un sistema por lotes y otro sistema continuo cuyo contenido para ambos está conformado por los iones Cromo (+6), Níquel (+2) y Zinc (+2) con el fin de establecer parámetros de operación como pH, temperatura, tiempo y Densidad de Corriente. Los valores óptimos de operación que se obtuvieron con la muestra sintética bajo un sistema por lotes fueron con una intensidad de corriente  $i=166.7 \text{ A/m}^2$ , con un pH máximo de 7.90 y un tiempo de tratamiento de 20 minutos, cuyos porcentajes de remoción fueron 100% para los 3 iones en estudio. Al tratar la muestra sintética a  $166.7 \text{ A/m}^2$  mediante el sistema continuo con un flujo de 50 mL/min, con un pH máximo de 7.80 y un tiempo de tratamiento de 30 minutos, se obtuvieron los porcentajes de remoción de 97.8% de Cr +6, 99,7% de Ni 2+y 99.5% de Zn<sup>2+</sup>, cumpliendo con la normativa vigente del país. Se concluye que la aplicación de este sistema resulta ser eficiente en la remoción de iones. Se recomienda que se tome en consideración otros metales pesados para su remoción como el mercurio (Hg).

(Poma Javier y Quispe Sanca 2016), Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016, en su investigación titulada **“Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación”** tuvo como objetivo remover los contaminantes provenientes de las aguas urbanas provenientes de

la Universidad Nacional del Centro del Perú, variando la densidad de corriente y el tiempo de residencia a través del método de electrocoagulación a nivel laboratorio. La investigación es de tipo aplicada, diseño experimental. Los resultados indican que la densidad de corriente de 37.72 A/m<sup>2</sup> y un tiempo de tratamiento de 20 minutos se tuvo una reducción de DQO de 93.8%, DBO<sub>5</sub> de 85.9% , aceites y grasas de 93.8%, conductividad eléctrica de 89.5%, sólidos totales de 95.3%, sólidos suspendidos de 91% y coliformes totales de 100%. Se concluye que la aplicación del sistema puede ser eficiente, por otro lado, se comparó los resultados obtenidos con el Decreto Supremo 003-2015-MINAM, en el cual se confirma que el proceso de electrocoagulación es una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Sería importante que utilizando los resultados obtenidos y comparar la remoción utilizando otros electrodos como puede ser el cobre (Cu) o aluminio (Al).

(INGA 2016) en su investigación titulada **“Modelo dinámico de sistemas para determinar la calidad de agua en la Laguna Patarcocha por vertimiento de aguas residuales de los Asentamiento Humanos aledaños, Pasco, 2016”**. El objetivo principal de la investigación es determinar la calidad de agua de Laguna Patarcocha y su deterioro gradual a partir de los vertimientos de las aguas residuales de las viviendas aledañas. El método de investigación es de tipo aplicada, diseño experimental. Los resultados indican que debido a un caudal proveniente de cada ducto que es aproximadamente 9.8L/s se tiene coliformes totales en el 2010 con 11000 unidades por litro y se tendrá una disminución a 6600 coliformes por litro en el 2026, además que por acción de la limpieza la concentración de fosfatos va desde 78 mg/l en el 2010 disminuyendo hasta 10 mg/l en el 2026. Se concluye que los vertimientos de aguas residuales aumentarán debido al crecimiento poblacional en los asentamientos humanos aledaños a la Laguna Patarcocha, donde se tendrá un caudal inicial (2010), de 8.97 L/s y llegando hasta 9.8 L/s (2026) y durante este proceso se deteriorará paulatinamente la calidad de agua de la laguna. Sería importante que se tome en consideración posibles soluciones para un tratamiento previo de las aguas residuales provenientes de las descargas de la red de alcantarillado directo a la

laguna, y así poder establecer mecanismos de tratamiento para esta agua residual antes de ser descargadas al cuerpo de agua.

(CAMARGO 2015) en su investigación titulada **“Recuperación del fósforo del lactosuero ácido residual mediante el proceso de electrocoagulación a nivel laboratorio Distrito de Yanacancha – Junín”** tuvo como objetivo de la investigación fue principalmente determinar la recuperación de fósforo mediante el proceso de electrocoagulación del lactosuero ácido residual. El método de investigación es de tipo aplicada, diseño experimental. En este experimento se usó el proceso de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio y hierro en una celda tipo batch de 1.5 litros de capacidad. Se caracterizó el lactosuero ácido residual del distrito de Yanacancha obteniendo los siguientes resultados: cantidad de fósforo inicial que posee el lactosuero ácido residual es de 242,26 mg/L, pH 4,5, sólidos totales 645,26 mg/L, calcio 147,1 mg/L, cloruros 92,4 mg/L y DQO 824,5 mg/L. En el proceso de electrocoagulación se monitoreo la intensidad de corriente para cada prueba experimental. Las pruebas realizadas en laboratorio nos permiten concluir que las mejores condiciones para obtener una alta eficiencia de recuperación de fósforo, en función del tiempo y en las diferentes soluciones de pH se realiza en las tres primeras horas luego se mantiene constante, obteniendo así un 83,3% de recuperación de fosfato en 3 horas y un 84,24 % en 4 Horas. El resultado de la EC permitió la remoción del fósforo en un 84%, pasando de la fase acuosa a la fase floculada y de esta manera puede ser recuperado por precipitación en forma de estruvita y ser utilizado como fertilizante, mientras que de la fase acuosa el 16% puede permanecer en el agua y dichas aguas, ya reducidas en DQO, puedan ser empleadas directamente para riego agrícola (agua enriquecida en este nutriente P). Se concluye que el tiempo de retención determina que a mayor valor, mayor es la cantidad de sólidos formados, debido a que favorece tanto los procesos de electrodos como floculación y precipitación de los sólidos. Se recomienda que se podría realizar otras pruebas para la remoción de contaminantes con electrodos de cobre, acero inoxidable, etc y así poder comparar los resultados obtenidos con estos ensayos con los obtenidos.

(CORONEL y VILA 2013) en su investigación titulada **“Remoción de contaminantes de las aguas residuales urbanas del colector parra del riego por el método de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos, a nivel de laboratorio.”** tuvo como objetivo remover los contaminantes de las aguas residuales urbanas del colector Parra del Riego utilizando el proceso de electrocoagulación variando la densidad de corriente y el tiempo de contacto en el tratamiento del agua. El método de investigación tipo aplicada, diseño experimental, se utilizó como muestra un volumen de 1.8 L de agua residual, utilizando aluminio y fierro como electrodos con una separación de 1 cm y un área superficial de contacto y muestra de 0,08253 m<sup>2</sup>, con una densidad de corriente de 32,72 A/m<sup>2</sup> y con un tiempo de tratamiento de 20 minutos. Los resultados indican que se obtuvo mayor porcentaje de remoción con las condiciones antes mencionadas, teniendo una remoción de: 86,33% de DBO<sub>5</sub>, 78,89% de DQO, 92,94% de turbiedad, 96,32% de aceites y grasas, 50,44% de conductividad eléctrica, 52,91% de sólidos totales, 88,62% de sólidos suspendidos, 86,65% de dureza total, 83,04% de dureza cálcica, 99,92% de coliformes totales y 99,98% de Escherichia coli. Se concluyó que la densidad de corriente óptima del proceso es de 32.72 A/m<sup>2</sup>, con un área total de contacto de 0,08253 m<sup>2</sup> y 2,7A, además también el tiempo de contacto óptimo es de 20 minutos y con una distancia de electrodos de 1 cm. Sería importante que para futuros trabajos se utilicen otras fuentes de poder (no convencional) como energías renovables para poder reducir el impacto ambiental por el uso de energías renovables y además también evaluar el desgaste de los electrodos para ver la viabilidad del proyecto y ahorro de costos.

(MURGA 2011) en su investigación titulada **“Evaluación física, química y biológica de la Laguna Patarcocha. Cerro de Pasco y propuesta de recuperación ecológica”** tuvo como objetivo mejorar la gestión del agua residual doméstica en la recuperación de la laguna el método de investigación es básica de tipo descriptiva, se analizó las características físicas, químicas y biológicas a partir de la evaluación primaria de la laguna en 07 puntos. Los resultados obtenidos fueron evaluados durante la época de lluvia (febrero a abril)

donde los resultados físico químicos indican que existe un nivel de contaminación constante a comparación de los años 2008 y 2004, mientras que el análisis biológico indico que la contaminación es constante solo para el año 2008. Se concluye que dentro de los parámetros físico químicos el plomo, el zinc y el cadmio supera los valores de los LMP en 0.001ppm, 0.004ppm y 0.003ppm; en los parámetros biológicos existe alta concentración de coliformes totales de  $11 \times 10^3$  NMP/100mL y  $4 \times 10^3$  NMP/100mL sin embargo mediante el proceso de fitorremediación se ha podido disminuir la concentración de coliformes fecales en un tiempo de 75 días. Sería importante evaluar otras tecnologías para el tratamiento de las aguas de la laguna cuyos resultados sean en menor tiempo.

## **2.2. Bases Teórica**

### **2.2.1. Aplicación de la electrocoagulación**

La electrocoagulación se define como el proceso de desestabilización de contaminantes a partir del suministro de corriente aplicada, voltaje y además el tiempo de contacto determinará la cantidad de sólidos formados y que se depositan en la superficie como lo menciona (CAMARGO 2015)

Mientras que (SILLANPÄÄ y SHESTAKOVA 2017) lo detalla cómo el proceso fisicoquímico de coagulación de sistemas coloidales bajo la acción de una corriente eléctrica continua. Mientras se lleva a cabo la electrólisis de aguas residuales con ánodos de acero o aluminio, tiene lugar la disolución electroquímica del metal anódico. Los cationes disueltos de aluminio y hierro se hidrolizan y actúan como coagulantes, que inician la adhesión y fusión de las partículas. En general, la coagulación significa la pérdida de estabilidad de los agregados en sistemas dispersos que conduce a la separación de fases. Se puede eliminar una amplia gama de contaminantes del agua mediante el proceso de electrocoagulación

La electrocoagulación (EC) se usa como una alternativa a la coagulación porque utiliza corriente eléctrica para producir especies coagulantes a partir de la disolución de ánodos de sacrificio (típicamente Fe o Al y menos frecuentemente otros metales, como el magnesio), siendo una de sus principales ventajas porque evita la adición química y por lo tanto menor costo de proceso. Después de complejos procesos de especiación, que dependen del pH y la composición de

los desechos, se forman muchas especies coagulantes en los medios de reacción, incluidos no solo los hidróxidos de metales amorfos sino también muchas especies cargadas (Cañizares et al. 2006).

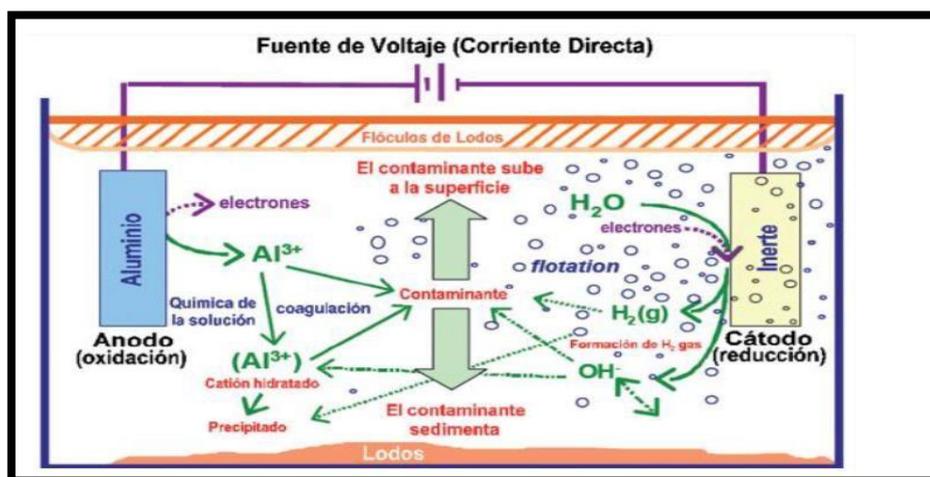
Estas especies pueden neutralizar las cargas de los contaminantes micelares (o las de las microgotas en el caso de las emulsiones), favoreciendo la formación de flóculos a partir de los coloides contenidos en los residuos con turbiedad o la fase coalescente en las emulsiones, permitiendo así separar los contaminantes de las aguas residuales (NIDEHEESH, ZHOU y OTURAN 2018)

La coalescencia de las partículas coaguladas se ve favorecida por el suave mezclado generado por las burbujas de hidrógeno producidas en el cátodo. Este proceso se conoce como electro-floculación, siendo una de las principales ventajas de todo el proceso de electrocoagulación, ya que ayuda a ahorrar energía de mezcla respecto a la coagulación convencional. Entonces, estas minúsculas burbujas también se adhieren a la superficie de los flóculos, reduciendo su densidad relativa permitiendo su transporte a la superficie de los residuos tratados, donde pueden ser fácilmente removidas.

Este proceso se conoce como electro-flotación y es la tecnología de separación principal, pero no la única, involucrada en la electrocoagulación, porque las partículas coaguladas más pesadas se separan por sedimentación. (BRILLAS y MARTINEZ 2015), dicho proceso está representado en la Figura 1.

**Figura 1**

*Representación esquemática de los mecanismos de (a) electrocoagulación.*



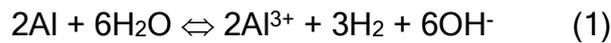
Nota: adaptado de (HOLT 2002)

### a. Principios de electrocoagulación

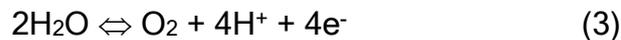
Una reacción general de disolución de metal anódico que conduce a la formación de iones hidratados simples e iones metálicos complejos, respectivamente, puede escribirse como sigue (SILLANPÄÄ y SHESTAKOVA 2017).

En el ánodo se dará la oxidación del metal a utilizar, mientras que en el cátodo se produce el proceso de reducción del agua a iones hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ) e hidrógeno gaseoso ( $\text{H}_2$ ), este proceso electroquímico provoca un cambio en el pH tanto sobre las superficies de los electrodos como del medio, pudiendo llegar a alcanzar un valor de  $>9.5$ . (PRIETO et al. 2014)

De acuerdo a la literatura el proceso de disolución química del aluminio es representada por la siguiente ecuación:



Los procesos que tienen lugar tanto el ánodo como en el cátodo están representados por la ecuación 2 y 4 respectivamente:



La ecuación 1 representa las reacciones de disolución del Al mientras que la ecuación 3 es la evolución de la formación del oxígeno, así mismo la reacción 4 que representa la formación de  $\text{H}_2$  compiten con la formación y disolución establecidas en la ecuación 1 y 3.

Los iones de aluminio generados ( $\text{Al}^{3+}$ ) son coagulantes muy eficientes para la floculación de partículas. Los iones de aluminio hidrolizados pueden formar grandes redes de  $\text{Al} - \text{O} - \text{Al} - \text{OH}$  que pueden adsorber químicamente contaminantes. La calidad final del agua tratada durante la electrocoagulación está influenciada por los materiales del ánodo, la distancia entre los ánodos, el caudal de agua en el espacio entre electrodos, la temperatura, el pH, la composición aniónica y catiónica del medio, la frecuencia de cambio de polaridad, la densidad de corriente, etc. La influencia de estos parámetros en la electrocoagulación se indica a continuación.

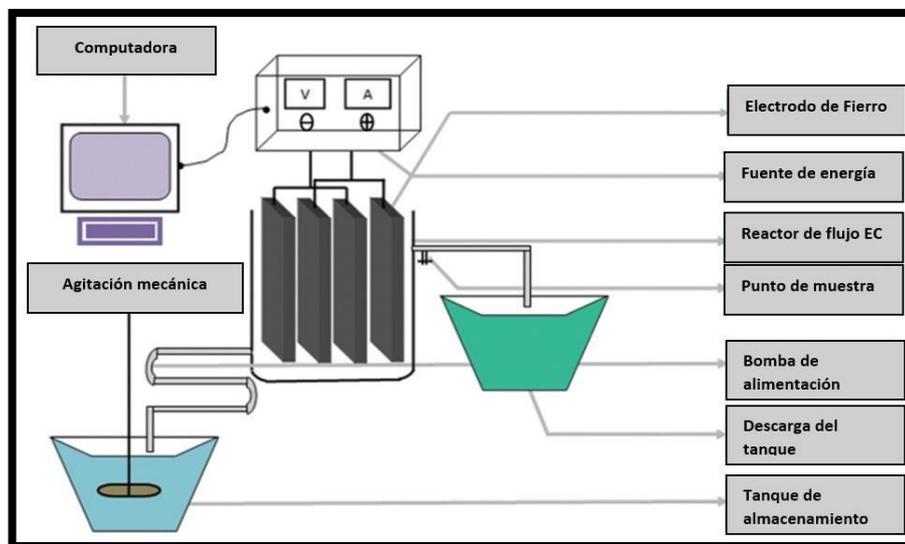
## b. Parámetros que afectan la electrocoagulación

### • Densidad de corriente

Un parámetro crítico que influye en la eficiencia de EC es la densidad de corriente, que es la corriente aplicada por área de superficie efectiva del electrodo. La densidad de corriente determina la tasa de liberación de electrones como consecuencia de la disociación de los iones metálicos del electrodo (NEPO et al. 2017). De hecho, la disociación del electrodo corresponde directamente a la densidad de corriente aplicada. (MOUSSA et al. 2017) Sin embargo, el rango de densidad de corriente aplicada varía ampliamente para los diferentes tipos de aguas residuales. Las diferencias surgen principalmente debido a la variación en la interacción iónica resultante de la naturaleza de los contaminantes presentes en las aguas residuales (TAHREEN, SAEDI y ALI 2020) Figura 2.

**Figura 2**

*Celda de electrocoagulación*



*Nota:* adaptado de (HOSSAIN et al. 2013)

### • Tiempo de contacto

Es el periodo en el cual el electrodo formará y desprenderá películas de óxidos, además es considerado una variable importante que condicionará el tamaño y la morfología del floculo, la generación de subproductos, la eficiencia de la eliminación del proceso y el consumo eléctrico requerido. (MOYA y CANALES 2018)

- **Tipo y arreglo de electrodos**

El material del electrodo influye enormemente en el rendimiento, la eficiencia y el costo de EC. El tipo de reacción química que se producirá depende del tipo de material de los electrodos a usar. La eficiencia del proceso es evaluada a través de la tasa de disociación del electrodo y del porcentaje de remoción de contaminantes. Estos parámetros están directamente relacionados a la liberación de iones metálicos de los coagulantes en la solución electrolítica. Los coagulantes con una mayor valencia de carga se ven favorecidos debido a su capacidad para mejorar la coagulación de los contaminantes con la ayuda de su mayor nivel de compresión eléctrica de doble capa (GARCIA et al. 2017). Considerando la capacidad de lograr una coagulación efectiva junto con la rentabilidad, disponibilidad, confiabilidad y propiedades no peligrosas, los electrodos de aluminio (Al) y hierro (Fe) han sido utilizados en diferentes investigaciones de EC obteniendo exitosos resultados para la eliminación de contaminantes específicos. (PEARSE 2003).

- **Tipo de fuente de alimentación**

Las células de electrocoagulación son usadas de manera típica en la fuente de alimentación de corriente continua (cc); sin embargo, debido al uso de corriente continua se conduce hacia la oxidación / consumo del ánodo, además la formación de una capa de óxido en el cátodo conocida como pasivación catódica. Entre los efectos que genera este proceso es el aumento en el potencial pasivo sobre el potencial, lo que conduce a un mayor consumo de energía; la capa pasiva genera la disminución del flujo de corriente entre los dos electrodos, así como también disminuye la eficiencia de la electrocoagulación. Según (ALCIVAR y RODRIGUEZ 2020) el problema de pasivación podría curarse agregando una cantidad suficiente de iones de cloruro que descomponen la capa pasiva o aplicando una corriente pulsada alterna (APC) que impide la formación de capa pasiva cuando se usan electrodos de Al o Fe.

- **Turbidez**

La turbidez nos indica la cantidad de partículas finas que están suspendidas en el agua. Es causada por partículas en suspensión como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos

microscópicos. Una alta concentración de partículas en suspensión podría dañar el hábitat de los peces y otros organismos acuáticos Figura 3. (BRASINGTON y RICHARDS 2000)

### Figura 3

*Turbidez en diferentes muestras de agua.*



*Nota: adaptado de Minnesota Pollution Control Agency (2019)*

- **Temperatura**

La temperatura (°C) del agua puede afectar muchos aspectos críticos del ecosistema acuático como la distribución espacial de los peces, el crecimiento microbiano, la salinidad y el oxígeno disuelto (OD) lo cual generaría efectos nocivos a la vida acuática. La temperatura también influye en la tasa de fotosíntesis de algas y plantas acuáticas. Las actividades humanas que afectan la temperatura del agua incluyen la descarga de efluentes domésticos e industriales, la agricultura y las actividades relacionadas al proceso de tala de árboles (TERZI y VEREP 2012).

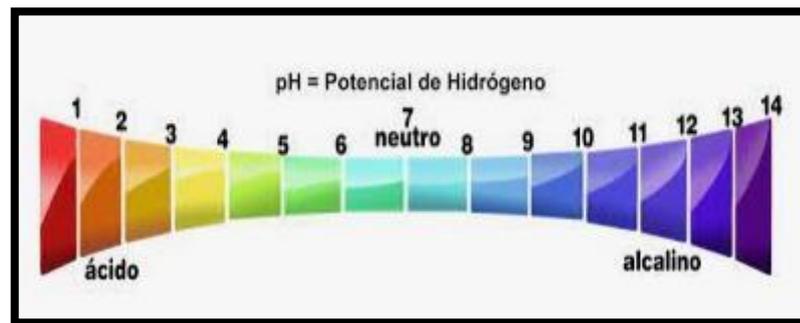
- **pH**

El pH es uno de los parámetros más importantes y se utiliza con frecuencia para monitorear la calidad del agua, ya que el proceso del tratamiento de aguas residuales depende del pH. La medición del pH muestra si una solución es ácida o alcalina. Si la solución tiene la misma concentración de iones hidrógeno e iones hidroxilo, el pH se considera neutro. La escala de pH es logarítmica y va de 0.0 a 14.0, con 7.0 siendo neutro. Las lecturas de pH < a 7.0 indican soluciones ácidas, mientras que las lecturas superiores a 7.0 indican soluciones alcalinas o básicas (LI y LIU 2019) Figura 4.

Los efectos del pH son reflejados en la eficiencia de la corriente y en la solubilidad de los hidróxidos metálicos. Se han encontrado mejores eficiencias de remoción a pH cercanos a 7. (PIÑA et al. 2011)

#### Figura 4

*Escala del pH.*



*Nota: adaptado de (Farbe Naturals, 2016)*

- **Sólidos suspendidos totales**

Los sólidos suspendidos totales (SST) generalmente se definen como partículas en agua mayores de 0.005 mm. Estas partículas son arrastradas en dirección del flujo de agua y precipitan cuando el flujo es insuficiente para mantenerlas en suspensión. El agua con alto contenido de sólidos en suspensión puede ser estéticamente insatisfactoria para el uso diario, incluido el baño. Una alta presencia de SST también evita que la luz solar penetre en el agua lo cual afecta a las plantas en el medio acuático ya que no pueden realizar la fotosíntesis (BOMAN, WILSON y ONTERMAA 2002)

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica (CE) es la medida de la capacidad que tiene una solución acuosa para conducir la corriente eléctrica. Esta capacidad está directamente relacionada con la concentración de iones en el agua. Frecuentemente se usa como una medida indirecta de la salinidad y de los sólidos disueltos totales (SDT). Los compuestos inorgánicos son buenos conductores eléctricos a comparación de los compuestos orgánicos (CRESCENTINI, BENNATI y TARTAGNI 2011). Medir la conductividad eléctrica proporcionará una buena información sobre el estado de las aguas naturales con respecto a la idoneidad del agua tanto para la vida acuática como

para la bebida. La conductividad se mide normalmente en micro siemens por centímetro ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ ) (LI y LIU 2019).

### **c. Etapas de la electrocoagulación**

Durante el proceso de electrocoagulación podemos distinguir 03 etapas diferenciadas:

- **Oxidación del ánodo**

Proceso de oxidación del ánodo para formar el coagulo in situ, una serie de reacciones ocurren dentro de los electrodos de la celda cuando se determina la diferencia de potencial. La corriente fluye a través del metal hasta oxidarlo, el ánodo se libera como catión desde la superficie del electrodo mientras que el cátodo el agua se reduce a hidrogeno ( $\text{H}_2$ ) e iones hidroxilo ( $\text{OH}$ ). En esta etapa los iones hidroxilo y cationes reaccionan para formar compuestos hidróxidos insolubles, favoreciendo la coagulación y donde se permite la adsorción del contaminante.

- **Desestabilización del contaminante**

Durante el estado inicial del electrolito a tratar no existe ningún estado de agregación de las partículas contaminantes porque la superficie de las partículas contaminantes tiene carga negativa. Este atrae iones de signo contrario, concentrándose a su alrededor y formando una forma difusa. Los cambios en la capa iónica crean fuerzas repulsivas entre las partículas, lo que reduce las fuerzas atractivas y da como resultado un sistema estable que no tiende a cambiar para facilitar la eliminación. Así, la formación de hidróxidos permite eliminar partículas contaminantes en el electrolito por complejación o atracción electrostática. (MARTIN-DOMINGUEZ et al. 2008)

- **Formación de flóculos**

Una vez que se logra la reducción o neutralización de la carga, las partículas más grandes se pueden aglomerar creando una capa de lodo que atrapa las partículas coloidales.(ARBOLEDA y HERRERA 2015)

### **2.2.2. Remoción de fosfatos y nitratos**

Se define a la remoción de fosfatos y nitratos como un tratamiento convencional de un cuerpo de agua al cual se va a disminuir el exceso de nutrientes que están dado por fosfatos o nitratos con el fin de recuperar hábitat natural, es por ello que

se tendrán que analizar características químicas, físicas y biológicas del agua en cada muestra tratada. (ÁVILA, LAOS y VERANO 2018)

Según (CHUQUIMBOQUES, ROJAS y MENDOZA 2019) la actual contaminación de los sistemas acuáticos como de los cuerpos de agua se debe al aumento de los compuestos inorgánicos del fósforo y nitrógeno. Además, la eliminación se da por tratamientos inadecuados los cuales no garantizan ni aseguran la salud humana.

Debido a esto se presentan métodos para la remoción de estos compuestos de los cuerpos de aguas:

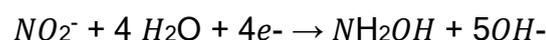
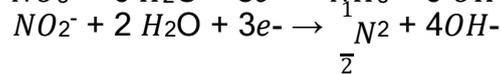
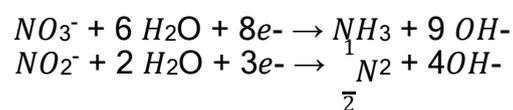
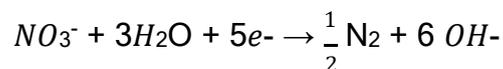
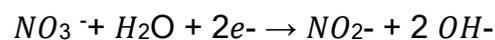
- **Tratamiento biológico**

Proceso que consiste en el uso de microorganismos como bacterias, algas, etc los compuestos inorgánicos como fosfatos y nitratos son usados como alimentos o sustratos por los microorganismos. (MELO y SACRISTAN 2018)

- **Tratamiento fisicoquímico**

Los tratamientos fisicoquímicos son procesos donde se hace el uso de tecnologías convencionales para la disminución de contaminantes (Irene Alvarado de la Peña et al. 2010), entre ellos tenemos: ósmosis inversa, ultrafiltración, microfiltración, adsorción (uso de biochar, alúmina activada), intercambio iónico (remoción independiente del pH), precipitación coagulación (usando sales de hierro o aluminio).

Además, el proceso de electrocoagulación es considerado a su vez como un proceso electroquímico a partir de la electricidad se generan reacciones de oxidación y reducción y se dan los procesos de precipitación coagulación. (MELO y SACRISTAN 2018)



(MELO y SACRISTAN 2018)

## 2.3. Marco Conceptual

### 2.3.1. Proceso de electrocoagulación

El proceso de la electrocoagulación es utilizado en el tratamiento de contaminantes en el agua, los cuales lo podemos encontrar en estados suspendidos, disueltos o emulsionados. Es una tecnología que se fundamenta en la inducción de corriente eléctrica utilizando electrodos en una solución electrolítica lo cual va a generar la neutralización de cargas mediante la generación de agentes desestabilizantes y así poder eliminar los contaminantes. (MOYA y CANALES 2018)

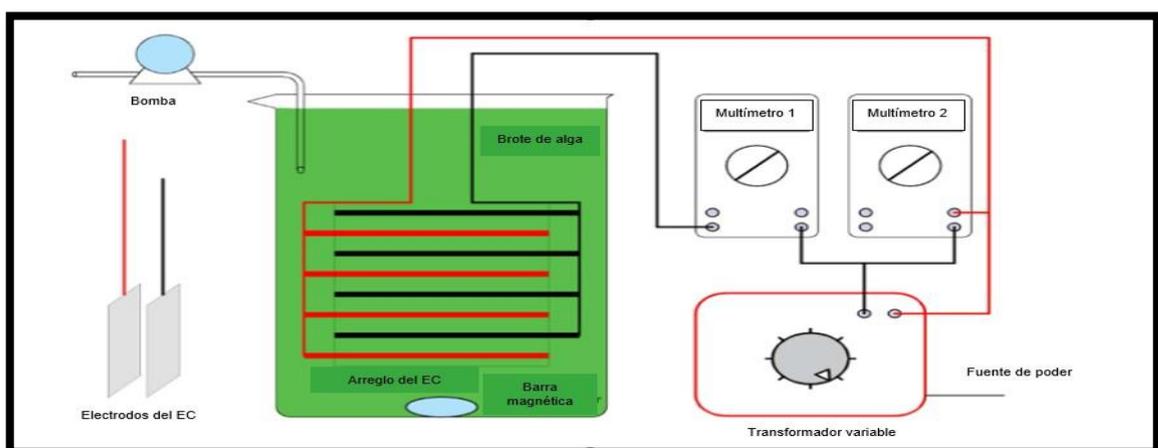
Además (CORREA et al. 2018) considera a este proceso como un sistema en función a una celda galvánica, requiere de una fuente de energía externa conectada a dos electrodos (ánodo y cátodo) y que se encuentran sumergida en una solución acuosa.

La electrocoagulación es una tecnología que ha ido generando mucha información a lo largo de los años, en lo que respecta a las algas, la demanda de biomasa de algas ha ido en aumento en los últimos años debido a su amplio rango de aplicación (KHATIB et al. 2021)

En ese sentido la electrocoagulación resulta ser una tecnología interesante para poder remover este tipo de material con un fin energético y aprovechamiento sostenible (ALFARARA et al. 2002) Figura 5.

### Figura 5

*Sistema de electrocoagulación para la remoción de fosfatos y nitratos*



*Nota: adaptado de (KHATIB et al. 2021)*

Agregando a lo anterior esta tecnología involucra a técnicas como la coagulación, flotación y electroquímica para la generación de coagulantes, dependiendo de los electrodos metálicos de ánodo y cátodo se desprenderán iones; en este proceso se desprenderá hidrógeno gaseoso que ayuda a la flotación de las partículas fuera de la celda electroquímica.(ALCIVAR y RODRIGUEZ 2020)

Finalmente, la definición que más se orienta al presente estudio es la de (CORONEL y VILA 2013) la cual indica que un proceso empleado para el tratamiento de aguas residuales, donde los contaminantes serán desestabilizados en forma suspendida, emulsionada o disuelta en un medio acuoso donde se inducirá corriente eléctrica a través de una fuente de corriente externa a placas metálicas o también llamados electrodos.

### **2.3.2. Aplicación del proceso de electrocoagulación**

De acuerdo a la información existente existe una diversidad de partículas disueltas y suspendidas que pueden ser removidas en soluciones acuosas por electrolisis dando resultados efectivos.(PHUTDHAWONG, CHOWWANAPOONPOHN y BUDDHASUKH 2000)

La EC logra remover diferentes contaminantes orgánicos e inorgánicos por lo que su uso es aplicado para el tratamiento de aguas residuales según (PIÑA et al. 2011)

Por lo tanto, la EC resulta ser más eficiente que la coagulación química para la potabilización del agua sin embargo para los parámetros nitrogenados como nitratos, nitritos y amoníaco no se ha establecido las condiciones óptimas para la remoción debido a que la información no es suficiente.

### **2.3.3. Remoción de fosfatos y nitratos**

#### **a) Fosfatos**

El ion fosfato es un compuesto químico que existe de manera natural a partir del fósforo inorgánico lo cual lo encontramos en las rocas sedimentarias, de manera artificial el ser humano aporta fósforo mediante el uso de detergente, además se convierte en compuesto ortofosfato a partir de diferentes reacciones que se dan en el ciclo biogeoquímico del fósforo.(LEDESMA et al. 2013)

## **b) Nitratos**

Son compuestos químicos solubles conformado por partículas de nitrógeno y de oxígeno, este componente es un compuesto principal para el crecimiento de plantas como algas. Además, este compuesto se da de manera natural por el ciclo biogeoquímico del nitrógeno sin embargo las actividades humanas mediante el uso de fertilizantes, aguas residuales entre otros casos.(LEDESMA et al. 2013)

## **c) Remoción de fosfatos y nitratos**

(AVILA, 2015) menciona que la remoción de estos nutrientes es deficiente en el Perú debido a que no existen tecnologías que los puedan tratar de manera directa. Una forma de remoción de estos nutrientes es mediante la inmovilización de componentes.

Otros autores como (SAMUDIO et al. 2018) sugieren que es necesario realizar estudios que permitan desarrollar procesos para poder reducir los niveles de concentración de estas 02 especies (fosfatos y nitratos) así mismo se desarrollan técnicas convencionales para el tratamiento de las aguas residuales entre ellos: oxidación, reducción precipitación y tratamiento electroquímico.

### **2.3.4. Aguas de laguna eutrofizada**

#### **a) Agua**

El agua es la combinación de 02 compuestos el hidrógeno y el oxígeno, además el agua involucra a los recursos hídricos.

Los recursos hídricos son una parte muy crítica tanto para los ecosistemas naturales como para el desarrollo humano. La calidad del agua va a depender del estado de flora y fauna siendo importante el estado de estos parámetros. La buena calidad de los recursos hídricos depende de los parámetros físicos, químicos y de características biológicas. La gran mayoría de estos parámetros en el Perú están estipulados en los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA). La buena calidad del agua es importante para que un ecosistema sea saludable. Los parámetros físicos, químicos y biológicos de calidad del agua se describen a continuación.(LI y LIU 2019)

## b) Clorofila A

La clorofila es un pigmento fotosintético presente en las algas, además la concentración de este parámetro es un indicador de alta concentración de biomasa fitoplanctónica lo cual indica el grado de contaminación de ecosistemas acuáticos.(RIVERA Carlos et al. 2005)

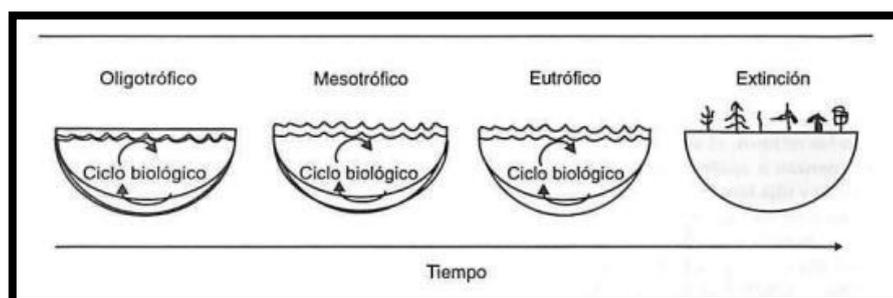
## c) Eutrofización

Al proceso de eutrofización se le define como el deterioro de la calidad del recurso agua y se origina por enriquecimiento de nutrientes principalmente fosforo y nitrógeno condicionando la utilización de los mismos y ejerciendo grandes impactos ecológicos, sanitarios y económicos a escala regional(LEDESMA et al. 2013).

También se le conoce como el proceso natural de envejecimiento de los lagos que puede afectar a todas las masas de agua superficiales. El proceso evoluciona progresivamente desde el origen geológico de un lago hasta su extinción, las etapas de eutrofización están representadas en la Figura 6.

### Figura 6

*Transición natural de un lago por varios estados de productividad.*



*Nota: adaptado de(ROLDAN y RAMIREZ 2008)*

El proceso se puede realizar de manera natural o artificial según:

- **Proceso natural**

El nitrógeno y el fósforo son importantes para la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos, ambos elementos lo encontramos como producto de la mineralización de la materia orgánica sin embargo el fósforo también lo encontramos en la disolución de rocas fosfatadas mientras que el nitrógeno se encuentra en la atmosfera(ROLDAN y RAMIREZ 2008)

- **Proceso artificial o antropogénico**

De acuerdo a (KRENKEL 1980) se puede acelerar significativamente el proceso de eutrofización y acortar la vida útil de los ecosistemas acuáticos mediante las actividades culturales como son: la agricultura, construcción y eliminación de aguas residuales

Los impulsores del ecosistema a menudo interactúan entre sí de manera sinérgica para causar una mayor ocurrencia de eutrofización. Los impulsores directos de la eutrofización incluyen un mayor consumo de energía, un mayor consumo de fertilizantes, cambios en el uso de la tierra, etc. El crecimiento de la población, el crecimiento económico, el cambio estructural y la globalización son los impulsores indirectos más comúnmente identificados que afectan el consumo de los consumidores y el crecimiento de los usos intensivos.

- **Clasificación de la eutrofización**

A continuación, se describen la clasificación trófica de los cuerpos de agua según la Tabla 1 (ESCOBAR y ESPINOZA 2021):

**Tabla 1**

*Clasificación del nivel trófico*

Estado trófico	Transparencia (m)	Nitratos (µg/L)	Fosforo total (µg/L)	Clorofila "a" (µg/L)	Descripción
Oligotrófico	4	1-50	< 12	<0.95	El agua es transparente y existe buena oxigenación en el hipolimnion.
Mesotrófico	4 – 2	60-200	12-24	0.95-7.3	Baja transparencia, en donde las algas empiezan a incrementarse e inicia a disminuir la oxigenación en hipolimnion.
Eutrófico	2- 0.5	>200	24-96	7.3-56	En el rango de 50-60: las algas azules son dominantes y hay abundantes macrófitos En el rango de 60-70: hay alta cantidad de algas y existe problemas con la oxigenación en el hipolimnion.
Hipertrófico	< 0.5		> 96	>56	Hay alta presencia de macrófitos, anoxia en hipolimnion y en consecuencia a ello hay baja productividad

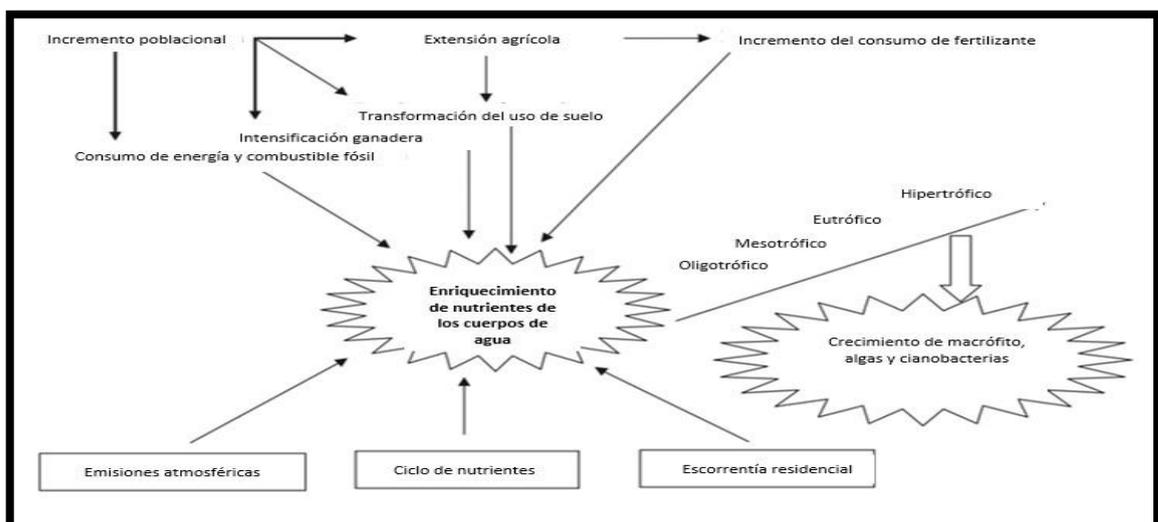
- **Causas de la eutrofización**

Existe una serie de causas que hacen posible la eutrofización de los ecosistemas acuáticos. Todas las actividades en toda el área de drenaje de un lago o embalse se reflejan directa o indirectamente en la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, un lago o embalse puede sufrir una eutrofia natural cuando se encuentra en una zona fértil con suelos naturalmente enriquecidos con nutrientes (ANSARI y SINGH 2014).

En muchos lagos y embalses, las aguas residuales son la fuente principal, ya que las aguas residuales no tratadas o las aguas residuales tratadas solo con métodos mecánicos-biológicos convencionales aún contienen nitrógeno. (25-40 mg/l) y fósforo (6-10 mg/l). De hecho, la agricultura (incluida la ganadería) es la mayor fuente de contaminación del agua no puntual. El agua de drenaje de las tierras agrícolas contiene fósforo y nitrógeno. Por lo general tiene mucho más nitrógeno porque el fósforo suele estar ligado a los componentes del suelo. El uso extensivo de fertilizantes resulta en concentraciones significativas de nutrientes, particularmente nitrógeno, en la escorrentía agrícola, todos estos contaminantes provenientes de las actividades humanas provocan la eutrofización de cuerpos de agua siendo representado a través de la Figura 7. (ANSARI y SINGH 2014)

**Figura 7**

*Ilustración simplificada de la eutrofización.*



*Nota: adaptado de (ANSARI y SINGH 2014)*

- **Aporte de fosforo y nitrógeno hacia los lagos**

Como sabemos para que los lagos puedan estar eutrofizados es necesario contar con los nutrientes fosforo y nitrógeno, a continuación, se explica como el fósforo contribuye en el ciclo del alga.

El fósforo es liberado en las capas superficiales de los lagos antes de sedimentarse, una vez disuelto y descompuesto por microorganismos, fitoplancton y plantas acuáticas se convierte en fosfato. Estos últimos se transforman en alimentos de peces los cuales lo retornan al medio acuático a través de heces. El fósforo en estado soluble es absorbido por las algas, dentro de los cloroplastos de estas se realiza la reacción de fosforilación donde el fosforo absorbido se transforma en ATP por reacciones activadas por la luz. (ROLDAN y RAMIREZ 2008)

Mientras que el nitrógeno lo podemos encontrar como elemento gaseoso ( $N_2$ ) en la atmosfera, se produce la oxidación del nitrógeno durante tormentas eléctricas esto contribuye a la formación de  $N_2O_3$ , el compuesto formado al reaccionar con el agua produce  $HNO_3$  y que al disociarse forma el  $NO_3^-$ . Finalmente, el nitrato es incorporado en el citoplasma del alga para la síntesis de proteínas. (ROLDAN y RAMIREZ 2008)

#### **2.4. Definición de términos básicos**

**Algas:** Grupo de plantas talofitas unicelulares o pluricelulares, además son organismos acuáticos con metabolismos autótrofos, además de compartir la similitud con las plantas superiores de presentar un pigmento fotosintético primario a la clorofila a. (DRECKMANN, SENTÍES y NUÑEZ 2012)

Existe crecimiento en lagos eutróficos o enriquecidos con nutrientes como carbono, nitrógeno y fosforo los cuales traen como consecuencia efectos tóxicos sobre el ecosistema acuático, sabores y olores desagradables. (ROMERO 2010)

**Aguas residuales:** provienen de aguas usadas y los sólidos que por uno y otro medio se introducen a una fuente de descargas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado. (ROMERO 2010)

**Celda de electrocoagulación:** Es el dispositivo utilizado para la electrocoagulación, ya sea para un proceso del tipo continuo o batch. En su

forma más común estando compuesto por una cubeta que contiene electrodos dispuestos en placas paralelas o serie. (MOLLAH et al. 2001)

**Coagulación:** Es un proceso mediante el cual se desestabiliza las partículas en suspensión denominados coloides cuya carga es negativa, todo esto a partir de la adición de un coagulante al agua y aplicación de energía para la mezcla (COGOLLO 2011)

**Coagulantes:** Los coagulantes utilizados en el tratamiento del agua están compuestas por moléculas cargadas positivamente que al interactuar con el agua a tratar y mezclarse cumplen la función de neutralizar la carga de los coloides, eliminándolos y mejorando la calidad del agua.(HUERTA 2022)

**Coloides:** Los coloides son partículas de alto peso molecular pequeño diámetro (entre 10 y 100 nanómetros) que contribuyen a la turbidez o al color de un cuerpo de agua. Dado a que estas partículas tienen un tiempo de sedimentación lento la forma más efectiva para removerlos es a través de la coagulación – floculación (RODRIGUEZ 2000)

**Densidad de corriente:** se define como una magnitud vectorial que tiene unidades de corriente eléctrica por unidad de superficie, es decir intensidad por unidad de área (HERNANDEZ y MEJIA 2019)

**Electrodo:** es un conductor eléctrico que usa para contactar una parte no metálica del circuito como un semiconductor , un electrolito , un vacío o aire; se usan debido a que forman iones(ánodo) e hidrógeno(cátodo) con los contaminantes que son capturados en el agua originando la formación de flóculos y sedimentos. (HERNANDEZ y MEJIA 2019)

**Electrocoagulación:** Es un proceso electroquímico en donde se dotará de corriente eléctrica a los electrodos fabricados con diferentes materiales esta tecnología permite la remoción de metales, sólidos coloidales y contaminantes inorgánicos a través de la adición de especies hidróxidos metálicos, además se da la generación de coagulantes a partir de la disolución de iones, lo que permite compactación de partículas coloidales y, por flotación, estas se depositan en la superficie. (MOLLAH et al. 2001)

**Flóculos:** es un conjunto de partículas neutralizadas y que juntas da lugar a un sólido de mayor tamaño a partir de la captación mecánica. Estos son formados

a partir de la adición de un agente floculante a un sistema coloidal disperso. (CABRERA, FLEITES y CONTRERAS 2009)

**Floculación:** este proceso se realiza después de la coagulación, mediante el cual consistirá en una etapa de mezclado suave de la masa coagulada, esto permite el crecimiento y aglomeración de los flóculos con la finalidad provocar la unión y agregación de las partículas y así poder aumentar el tamaño y peso necesario para sedimentarlos con facilidad. (WANG, HUNG y SHAMMAS 2005)

**Floraciones Algales:** Proliferación rápida y excesiva de una o pocas especies de algas, bajo determinadas condiciones ambientales. Pueden ser plantónicas o bentónicas, dando al agua o a los substratos tonalidades verdosas, verdes azuladas, parduzcas, rojizas, etc (ANA 2016).

**Fosfatos:** son compuestos químicos inorgánicos proveniente del fósforo, estos se encuentran de manera natural en las rocas ígneas, además estos compuestos son muy reactivos y son asimilados por la flora acuática y por las algas.(ROLDAN y RAMIREZ 2008).

**Intensidad de corriente:** proceso mediante el cual se realiza el paso de carga eléctrica por una sección del conductor a cierta unidad de tiempo(REDONDO y REDONDO 2023)

**Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos:** “proceso mediante el cual se realiza la medición de la calidad de los cuerpos naturales del agua, la finalidad es monitorear y controlar la exposición de los contaminantes y su alteración a diversos usos de agua y a los ecosistemas acuáticos”. (ANA 2016)

**Nitratos:** Los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) son compuestos inorgánicos provenientes del Nitrógeno, por lo general se pueden hallar en formaciones rocosas y aguas subterráneas; sin embargo, la contaminación de las masas naturales de agua se da por altas concentraciones de nitratos y esto resulta de las actividades humanas como descarga de aguas residuales sin tratamiento previo.(GARCIA et al. 2017)

**Sistema batch:** son sistemas de control donde se gestionan y ejecuta un producto, se le considera el número de unidades y el tiempo asignado. También se le denominan pruebas en lotes y existe mejor control y simplicidad de operación (GARZÓN y COTRINO 2014)

**Tiempo de contacto:** Se refiere al periodo de tiempo durante el cual los electrodos están expuestos al agua o a la solución a tratar. En este periodo, una fuente de poder aplicará un flujo eléctrico el cual estará conectado hacia los electrodos, esto permitirá la generación de la floculación y precipitación de los sólidos.(PRIETO et al. 2012).

**Voltaje:** es la magnitud que resulta de la diferencia de 2 puntos en un circuito o sistema eléctrico. (HERNANDEZ, Francisco 2016)

**Zona de flotación:** es el área superior donde se depositan los lodos flotantes, espumas y/o lodos de baja densidad. (ARANGO y GARCÉS 2007)

**Zona de reacción:** el área dentro de la celda de electrocoagulación que está ocupada por el volumen de agua y electrodos se conoce como área de reacción, y es la superficie donde se realizan los procesos de desestabilización de las partículas, coagulación y deposición de partículas.(ARANGO y GARCÉS 2007)

**Zona de sedimentación:** es la zona donde se colocan todos los sólidos precipitados o los lodos que presenten mayor densidad.(ARANGO y GARCÉS 2007)

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis General**

La aplicación del proceso de electrocoagulación influye en la remoción de fosfatos y nitratos en las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha, Cerro de Pasco.

##### **3.1.2. Hipótesis Específicas**

- La caracterización físico química pre y post tratamiento de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha por resultado de la aplicación del proceso de electrocoagulación cumple con el estándar de calidad de agua en su categoría IV.
- Las condiciones de operación óptimas influyen en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada, Patarcocha.
- Los parámetros que influyen en el proceso de electrocoagulación remueven los fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.
- El porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos en las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha, Cerro de Pasco por la aplicación del proceso de electrocoagulación es significativo.

#### **3.2. Definición conceptual de las variables**

La definición conceptual de las variables del presente trabajo de investigación se describe en la tabla 2.

**Tabla 2***Definición de variables*

	<b>Variables</b>	<b>Definición Conceptual</b>
Independiente (X <sub>1</sub> )	Aplicación del proceso de electrocoagulación	Proceso de desestabilización de contaminantes donde se aplica electricidad para generar coagulantes. Siendo las condiciones de operación (densidad de corriente aplicada y tiempo de contacto) y los parámetros que influyen en el proceso (pH, temperatura y turbidez) determinantes en la remoción del contaminante.(PIÑA et al. 2011)
Dependiente (Y <sub>1</sub> )	Remoción de fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada	Tratamiento convencional de un cuerpo de agua al cual se va a disminuir el exceso de nutrientes que están dado por fosfatos nitratos con el fin de recuperar hábitat natural, es por ello que se tendrán que analizar características químicas, físicas y biológicas del agua en cada muestra tratada. (ÁVILA, LAOS y VERANO 2018)

### 3.2.1. Operacionalización de las variables

**Tabla 3**

*Tabla de Operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Índice	ítem	Método	Técnica
<b>Variable Independiente X:</b> Aplicación del proceso de electrocoagulación	Proceso de desestabilización de contaminantes donde se aplica electricidad para generar coagulantes. (MELO y SACRISTAN 2018) Además, se considera la densidad de corriente aplicada, tiempo de contacto, pH, temperatura y turbidez como variables que influyen en la remoción del contaminante. (PIÑA et al. 2011)	Las Condiciones de operación del equipo y los parámetros que influyen en el proceso de electrocoagulación que se estudian durante su elaboración. Se analizará mediante instrumentos analíticos	<b>X1: Condiciones de operación del equipo</b>	X <sub>1-1</sub> : Densidad de corriente aplicada	D1: 30 D2: 45 D3: 60	A/cm <sup>2</sup>	Método electrométrico	Observación
				X <sub>1-2</sub> : Tiempo de contacto	T1: 50 T2: 60 T3: 70	min	Medición con cronometro	
				X <sub>2-1</sub> : pH X <sub>2-2</sub> : Turbidez	Valores por debajo del ECA D.S.004-2017-MINAM	-- NTU	Método colorimétrico USEPA Method 180.1 and APHA-AWWA-WPCF	
				X <sub>2-3</sub> : Temperatura		°C	Medición con conductímetro	
<b>Variable Dependiente:</b> Remoción de fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada	Tratamiento convencional de un cuerpo de agua al cual se va a disminuir el exceso de nutrientes que están dado por fosfatos nitratos con el fin de recuperar hábitat natural, es por ello que se tendrán que analizar características químicas, físicas y biológicas del agua en cada muestra tratada. (ÁVILA,	Las características fisicoquímicas y la remoción de fosfatos y nitratos se analizarán mediante la aplicación de instrumentos analíticos	<b>Y1: Características fisicoquímicos</b>	Y <sub>1-1</sub> : Concentración inicial de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Valores por debajo del ECA D.S.004-2017-MINAM	$\frac{mgPO_4^{3+}}{L}$	Phosphorus-Ascorbic Acid Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 - P E, 23 rd. 2017	
				Y <sub>1-2</sub> : Concentración final de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		$\frac{mgPO_4^{3+}}{L}$	Phosphorus-Ascorbic Acid Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 - P E, 23 rd. 2017	
				Y <sub>1-3</sub> : Concentración inicial de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		$\frac{mgNO_3}{L}$	Nitrogen (Nitrate). Cadmium Reduction Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-NO3- E, 23 rd. Ed. 2017	

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Índice	ítem	Método	Técnica
	LAOS y VERANO 2018)			Y <sub>1-4</sub> : Concentración final de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		$\frac{mgNO_3}{L}$	Nitrogen(Nitrate). Cadmium Reduction Method SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO3- E, 23 rd Ed. 2017	
			Y <sub>2</sub> Porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos	Y <sub>2-1</sub> : Remoción de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$\frac{(C_0 - C_t) * 100\%}{C_0}$	%		
				Y <sub>2-2</sub> : Remoción de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	$\frac{(C_0 - C_t) * 100\%}{C_0}$	%		

## IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

### 4.1. Diseño Metodológico

Esta investigación es de tipo aplicada debido a que a partir de los conocimientos teóricos y prácticos del proceso de electrocoagulación se aplicó para el provecho de los grupos de interés tal cual nos refiere.(GREBE 2018)

Con respecto a ello (VARGAS 2009) comenta que la investigación aplicada es fundamental entre la sociedad y la ciencia donde busca mejorar o transformar una situación. Es por eso que a través de esta investigación se buscó recuperar un ecosistema tan frágil, debido a que en su tiempo fue un destino turístico muy significativo además de ser el recurso hídrico más importante de Cerro de Pasco. Por otro lado, esta investigación es de nivel explicativo según (ÑAUPAS et al. 2014) tiene por finalidad verificar las hipótesis causales o explicativas para esto relaciona dos conceptos o variables, esta investigación buscará responder el efecto de la aplicación de la electrocoagulación en la remoción fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que utilizará métodos y técnicas relacionadas a la medición, uso de magnitud, la observación, muestreo y tratamiento estadísticos para recolectar y analizar datos con la finalidad de validar las hipótesis formuladas (ÑAUPAS et al. 2014).

El método utilizado es de la observación sistemática debido a que se registró la información observada resultante del proceso de electrocoagulación, siendo registrada en fichas de observación.

En esta investigación es de diseño experimental o experimento puro ya que se manipuló la variable independiente que es la electrocoagulación para analizar los efectos y consecuencias en la laguna eutrofizada y la influencia sobre la variable dependiente que son los nitratos y fosfatos estableciendo grupos de muestras de aguas acuerdo a los niveles y factores, así como refiere (HERNANDEZ, COLLADO y BAPTISTA 2014)

Se considera los valores para el tiempo de contacto y la densidad de corriente denominados como: valor mayor igual a 1, valor intermedio igual a 0 y el valor menor igual -1 en la tabla 4.

**Tabla 4***Factores y niveles*

<b>Factores (k)</b>	<b>Niveles</b>		
	-1	0	1
Tiempo de contacto (min)	50	60	70
Densidad de corriente (A/cm <sup>2</sup> )	30	45	60

El presente trabajo de investigación empleó el tipo de diseño factorial 3<sup>k</sup> con 2 factores, las cuales son: tiempo de contacto y densidad de corriente, para cada procedimiento se realizarán 3 réplicas.

Para la determinar el número de muestreos se utiliza la siguiente formula:

$$N^{\circ} \text{ de pruebas} = A^k \times \# \text{ Replicas}$$

Donde:

A: es el número de niveles

K: es el número de factores

# Replicas: para este caso se utilizó 3 réplicas con diferentes combinaciones. A continuación, se muestra los valores asignados en la tabla 5 para el diseño metodológico haciendo un total de 27 unidades experimentales.

**Tabla 5***Matriz de diseño*

Corrida experimental	Tiempo de contacto (min)	Densidad de corriente (A/m <sup>2</sup> )
1	50	30
2	50	45
3	50	60
4	60	30
5	60	45
6	60	60
7	70	30
8	70	45
9	70	60
10	50	30
11	50	45
12	50	60
13	60	30
14	60	45
15	60	60
16	70	30
17	70	45
18	70	60
19	50	30
20	50	45
21	50	60
22	60	30
23	60	45
24	60	60
25	70	30
26	70	45
27	70	60

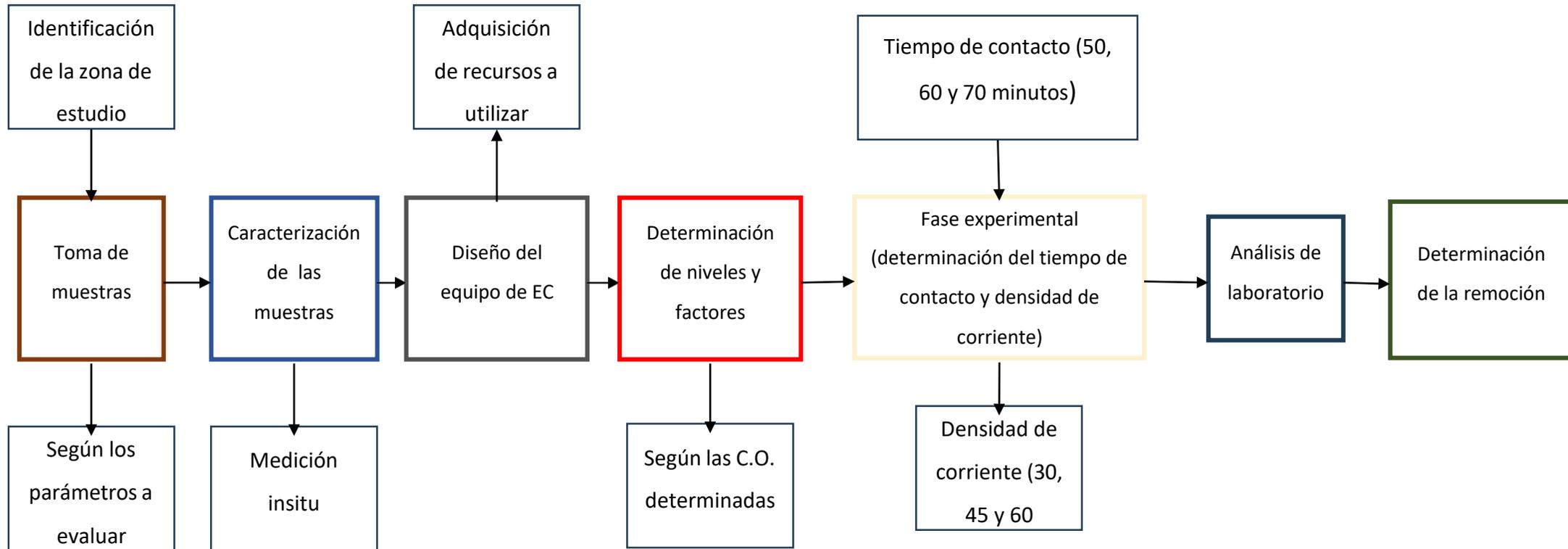
Todos estos datos fueron procesados a través del programa SPSS para la obtención de nuestros resultados y representar la efectividad del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.

#### **4.2. Método de investigación.**

El método deductivo es aquella técnica en la cual se analiza teoremas, leyes y principios para ser aplicado en la realidad o en hechos particulares, la presente investigación desarrollo diferentes actividades como se muestra en la figura 8.

**Figura 8**

*Actividades del método*



#### 4.2.1. Identificación de la zona de estudio

Se viajó hacia la zona de estudio Laguna Patarcocha, ubicada en Pasco, provincia Cerro de Pasco distrito de Chaupimarca. En la zona de estudio se pudo apreciar que existe demasiados residuos sólidos alrededor del cuerpo hídrico. Además, existe presencia de olores en la periferia y las muestras de agua se encontraban con sedimentos.

#### 4.2.2. Toma de muestra y acondicionamiento de las muestras

Las muestras recolectadas del agua de la laguna eutrofizada Patarcocha se tomó en el mismo cuerpo de agua en el distrito de Chaupimarca – Cerro de Pasco. Para las tomas de muestras se obtuvieron cumpliendo con lo establecido en la Resolución Jefatural N°010-2016-ANA.

Las muestras fueron almacenadas en bidones de 20 litros y se procedió a agregar el preservante según lo establecido en el Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales - anexo VII (conservación y preservación de muestras en función al parámetro evaluado) Como se observa en la tabla 6 cabe señalar que los frascos utilizados son de acuerdo a los parámetros que se evaluó en la presente investigación.

**Tabla 6**

*Conservación y preservación de muestra de agua según el parámetro evaluado*

<b>Parámetro</b>	<b>Tipo de recipiente</b>	<b>Condiciones de preservación y almacenamiento</b>	<b>Tiempo máximo y de almacenamiento</b>
Fosfatos	PE-HD o PTFE	Filtrar in situ, acidificar a pH 1 - 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Nitratos	P o V	Filtrar in situ	4 días
pH	P o V	Analizar preferentemente <i>in situ</i>	24 horas
Temperatura	P o V	Analizar preferentemente <i>in situ</i>	Inmediatamente

Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y de almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
Turbiedad	P o V	Analizar preferentemente <i>in situ</i> . Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras	24 horas

Nota: adaptado de (Autoridad Nacional del Agua 2016)

#### 4.2.3. Caracterización inicial de muestras

Parte de las muestras recolectadas fueron enviadas ante un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calibraciones (INACAL). Se adjuntó además el certificado de calibración del pH-metro para darle confiabilidad a nuestros resultados Anexo 4.

##### a. Parámetros evaluados

Para el presente trabajo de investigación se evaluó los siguientes parámetros que son fosfatos, nitratos, turbidez, temperatura y pH, según aparece la tabla 7.

**Tabla 7**

*Parámetros a evaluar*

Tipo de parámetro	Parámetros
Fisicoquímico	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	Temperatura
	pH
	Turbidez

##### b. Métodos analíticos

En cuanto a los métodos analíticos que se utilizó en el laboratorio, se tuvo en cuenta los establecidos por (APHA 2017) se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8***Métodos analíticos para la determinación de los indicadores*

<b>Indicadores</b>	<b>Método Analítico</b>
pH	Método colorimétrico.
Nitrato	Método Macro-Kjeldahl (4500-Norg B.)
Fosfato	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 F, 22 nd Ed 2012
Temperatura	Medición con conductímetro
Turbidez	USEPA Method 180.1 and APHA-AWWA-WPCF

#### **4.2.4. Diseño del equipo de electrocoagulación**

Se realizó las pruebas experimentales con un equipo electrocoagulador a escala laboratorio. La celda de electrocoagulación se diseñó para tratar 6 litros de agua residual. Estará elaborado de material de acrílico de tal manera que nos permita evidenciar los procesos fisicoquímicos ver figura 9, además las dimensiones se muestran en la tabla 9 y figura 9:

**Tabla 9***Dimensiones del equipo de electrocoagulación*

<b>Dimensiones</b>	<b>Valor</b>
Ancho	10 cm
Largo	30 cm
Altura	20 cm
Espesor	5 mm

### Figura 9

*Dimensiones del equipo*



Se utilizó una fuente de energía regulable cuyo voltaje es de 12 Voltios y cuya intensidad de corriente es de 2 Amperios tal cual y como se muestra en la figura 10.

### Figura 10

*Fuente de poder de 2Amperios y 15Voltios*



Como electrodos se utilizó placas de aluminio y de hierro las cuales tendrán las dimensiones de 10 cm de largo, altura 15 cm y espesor de 2 mm lo cual se encuentra detalla en la tabla 10:

**Tabla 10**

*Dimensiones de los electrodos de hierro y aluminio*

<b>Dimensiones</b>	<b>Medidas</b>
Largo	10 cm
Altura	15 cm
Espesor	2 mm

A continuación, se muestran las placas de hierro y de aluminio utilizados en el presente trabajo de investigación en la figura 11:

**Figura 11**

*Electrodo de aluminio y de hierro*



Para el cálculo del número de electrodos que se utilizó en el proceso de la electrocoagulación, se tomó en cuenta la profundidad de este, la distancia máxima entre electrodos y su espesor. (ARANGO y GARCÉS 2007)

La fórmula está dada por la siguiente expresión:

$$\text{Número de electrodos} = \frac{(\text{Largo de la celda electrolítica}) - 2(\text{Distancia entre Electrodos})}{(\text{Altura de electrodos} + \text{Espesor de Electrodos})}$$

Así mismo, en la figura 12 se detalla el armado del equipo de electrocoagulador diseñado tomando los criterios anteriores.

**Figura 12**

*Diseño del electrocoagulador*

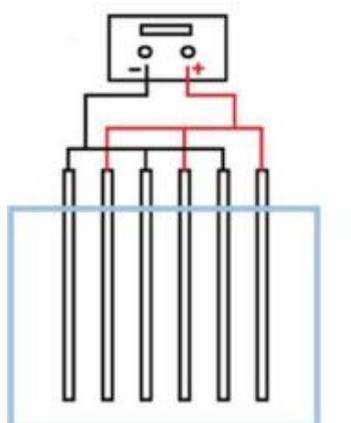


#### **4.2.5. Arreglo de electrodos**

El tipo de arreglo de electrodos utilizado una disposición de electrodos monopolares conectados en paralelos, en este diseño cada ánodo está directamente conectado con otro ánodo de la celda de electrocoagulación, siendo la misma disposición para los cátodos. El arreglo de electrodos monopolares conectados en paralelo nos genera menores costos operacionales y además tiene un alto rendimiento en la remoción de contaminante figura 13. (GARCIA et al. 2017)

**Figura 13**

*Arreglo de electrodos*



*Nota: adaptado de(GARCIA et al. 2017)*

#### **4.2.6. Determinación de niveles y factores**

a. Pruebas pre experimentales con el equipo de electrocoagulación

Para el desarrollo de los experimentos, en primer lugar, se desarrolló pruebas pre- experimentales para determinar el correcto funcionamiento del electro coagulador. Para el uso del equipo se tuvo en cuenta las condiciones estándares de operatividad del equipo como son: voltaje, electros y la geometría del electrodo para todos los tratamientos propuestos como se muestra en la Tabla 11. El número de pruebas se determinó en función de los niveles y factores los cuales han sido detallados en diseño metodológico.

**Tabla 11**

*Condiciones estándares del proceso de electrocoagulación*

<b>Condiciones</b>	<b>Valor</b>
Voltaje	12 V
Electrodos	Aluminio - Hierro
Geometría del Electrodo	Rectangular

#### **4.2.7. Fase experimental - Determinación del tiempo de contacto y de la densidad de corriente**

Después de realizar el análisis el tratamiento de las aguas de la laguna eutrofizada con la electrocoagulación, se determinaron los tiempos de contacto y las densidades de corriente con mayor porcentaje de remoción. Estos fueron detallados en el capítulo de resultados y los valores lo encontramos en el ANEXO 5.

#### **4.2.8. Evaluación de la remoción**

Después del proceso de caracterización fisicoquímica de las muestras de agua se procedió a realizar las pruebas con el equipo de electrocoagulación.

#### **Cálculo de la reducción de los parámetros en porcentaje**

Para el diseño experimental se evaluó los indicadores de Fosfatos (mg/L) y Nitratos (mg/L).

Según la matriz operacional y el planteamiento del problema se buscó evaluar la aplicación de la electrocoagulación en la remoción de fosfatos y nitratos, por lo tanto, los indicadores de respuestas fueron obtenidos en los experimentos; la caracterización del agua inicial indicó el porcentaje de eficiencia de remoción según la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Remoción } Y = \frac{(C_0 - C_t) * 100\%}{C_0}$$

Donde:

- $C_0$  = Concentración inicial
- $C_t$  = Concentración final
- $Y$  = Respuesta

### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Población**

La población es el agua eutrofizada de la laguna Patarcocha ubicada en Cerro de Pasco la cual presenta un volumen 125 193 471, 87 m<sup>3</sup> y un área de 2 138 121.98 m<sup>2</sup> de acuerdo al inventario nacional de glaciares y laguna(Autoridad Nacional del Agua 2014).

#### **4.3.2. Muestra**

La muestra son las aguas de la laguna Patarcocha, para la técnica de muestreo no probabilístico se eligió el criterio por conveniencia debido a la accesibilidad del sujeto (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014) se recolectó y tomó muestras de aguas en función a la metodología presentada por (Autoridad Nacional del Agua, 2016).En cuanto al volumen evaluado para el análisis fisicoquímico y biológico será de 60 litros, debido a que se utilizó 9 muestras de 6 litros cada uno para su respectivo tratamiento.

### **4.4. Lugar de estudio**

El presente proyecto de investigación investigó sobre el tratamiento de aguas de la Laguna Patarcocha, la información de ubicación se muestra en la tabla 12 donde observamos que la laguna eutrofizada se encuentra ubicada en el distrito de Chaupimarca, provincia de Cerro de Pasco y región de Cerro de Pasco, a una altura de 4360 m.s.n.m.

Además, se elaboró un mapa temático del lugar de donde se extrajeron las unidades de análisis (muestras de aguas) figura 14.

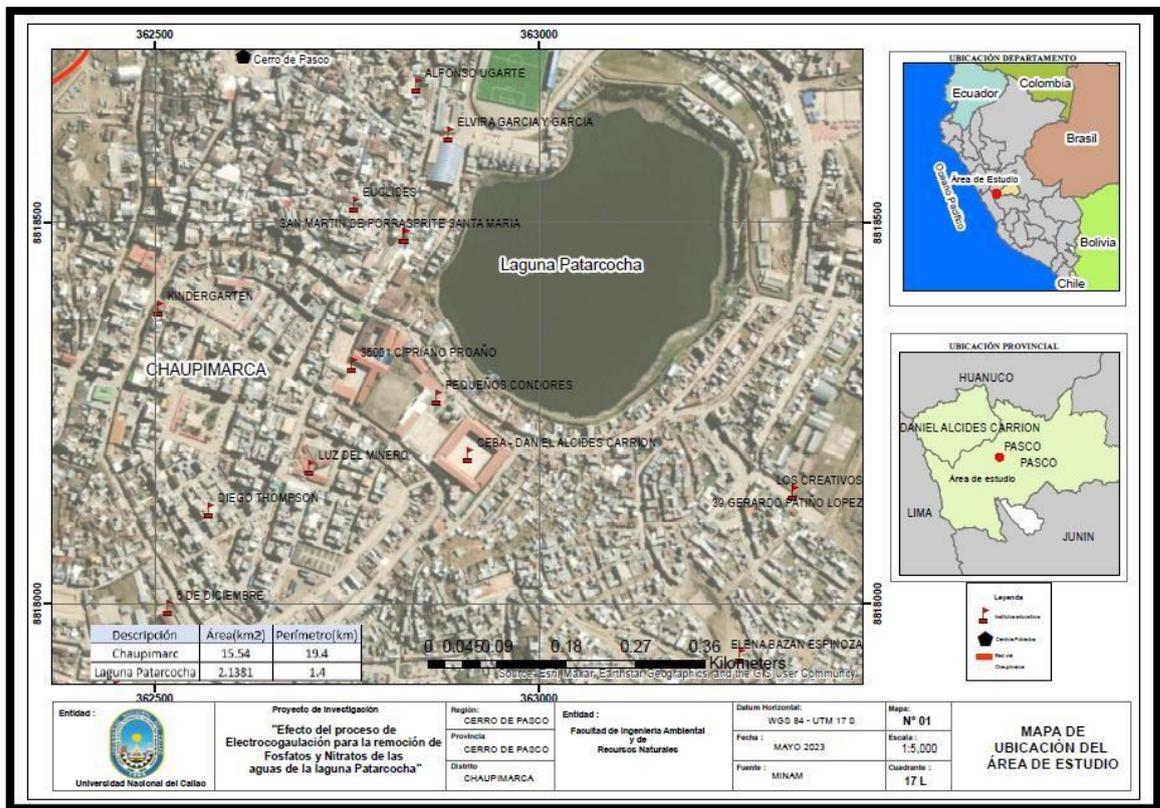
**Tabla 12**

*Información del área de estudio*

Información	
Distrito	Chaupimarca
Provincia	Cerro de Pasco
Región	Cerro de Pasco

**Figura 14**

**Mapa de ubicación del área de estudio**



#### 4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

##### 4.5.1. Técnicas

La técnica de investigación utilizada en el presente trabajo de investigación fue la observación sistemática, método por el cual se recopiló la información recabada al final de cada tratamiento, registrando estos datos y siendo comparados con la caracterización inicial para determinar la eficiencia de la

remoción y el cumplimiento del ECA, es así que al conocer los parámetros críticos se podría catalogar como una técnica de observación sistemática abierta.

#### **4.5.2. Instrumentos para la recolección de la información**

Para la recolección de información se usaron 2 tipos de instrumentos durante la investigación los cuales son: la cadena de custodia y las fichas experimentales.

##### **a. Cadena de custodia**

Se utilizó la cadena de custodia como instrumento de recolección de información de las muestras de agua captadas como son: coordenadas del punto de monitoreo, parámetros a evaluar, tipo de agua y tipo de envase. Este formato de cadena de custodia fue proporcionado por el laboratorio para la caracterización de la muestra (Anexo 5).

##### **b. Fichas experimentales**

Se elaboraron fichas experimentales donde se recolectó la información de los resultados de los 27 tratamientos de los parámetros que se midieron en el laboratorio (Anexo 2), dichas fichas fueron validadas por expertos en la materia y la validación se encuentra en el Anexo 3.

#### **4.5.3. Procedimiento**

El procedimiento para la recolección de información fue mediante la toma de muestras de aguas eutrofizadas de la laguna Patarcocha se utilizó la metodología del protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua R.J. 010-2016 ANA.

##### **a) Validación de instrumentos**

Los instrumentos se validaron de acuerdo a la metodología de juicio de expertos (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014). Donde se consultó con 3 especialistas cuyo cargo son doctores o magister en ingeniería ambiental para que generen una evaluación de los instrumentos propuestos en el proyecto.

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Para el análisis y procesamiento de datos, se desarrolló mediante el uso del Software SPSS (Statistical Product Package for Social Science) versión 27 y el programa Microsoft Excel donde se procesó la información obtenida a partir de

las fichas de recolección de datos, además se evidenció si las condiciones de operación influyen significativamente en la remoción de fosfatos y nitratos de las aguas eutrofizadas.

Las condiciones de operación que influyeron en el proceso de electrocoagulación son: el tiempo de contacto (min.) y la densidad de corriente aplicada (A/m<sup>2</sup>) los cuales influirán en los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH y turbidez) y parámetros fisicoquímicos (fosfatos y nitratos).

#### **4.7. Aspectos éticos en investigación**

La presente investigación titulada, “Aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada, Patarcocha, Cerro de Pasco” es auténtica y confiable con respecto a la autoría de otros estudios, con el código de ética de investigación aprobado por RDU N°260-2019-CU, así como con la directiva N°004-2022-F, ambas establecidas por la Universidad Nacional del Callao.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

Según los objetivos planteados, en este ítem se presentan los resultados obtenidos de la caracterización físico química pre y post tratamiento de las aguas de la laguna eutrofizada y parámetros que influyen en la electrocoagulación.

#### 5.1.1. Resultados de la caracterización físico química pre y post tratamiento.

##### a. Resultados pre tratamiento

Se realizó toma de muestras en las aguas de la laguna Patarcocha, donde se recolectaron los siguientes parámetros in situ: pH y temperatura, posteriormente esta muestra se envió al laboratorio para analizar los parámetros iniciales de nitratos, fosfatos y turbidez. Los resultados obtenidos están distribuidos en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Parámetros fisicoquímicos pre tratamiento*

Código de muestra	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Turbidez (NTU)	pH	Temperatura (°C)
M - 01	5.88	1.80	28.10	7.56	9.30

Así mismo se menciona los parámetros fisicoquímicos de caracterización de la laguna Patarcocha desarrollados por otros investigadores en la tabla 14 como se detalla a continuación:

**Tabla 14**

*Parámetros fisicoquímicos Laguna Patarcocha*

Autor	pH	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Turbidez (NTU)
INGA (2016)	6.83	27.76	3.17	--

Fuente: INGA 2016

Los resultados obtenidos se utilizaron como datos iniciales para cada uno de los parámetros físico químicos evaluados (pH, fosfato, nitrato y turbidez).

#### **b. Resultados post tratamiento**

Después de cada tratamiento según lo establecido en la Tabla 5. Matriz de diseño, se realizaron 27 tratamientos de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha, siendo los resultados de los parámetros físico químicos de nitrato, fosfato, pH y turbidez registrados en la Tabla 15.

Según el informe de ensayo N°IE23 – 13581 (Anexo 8.2.2), el valor mínimo para los fosfatos post tratamiento son menores a 0.10 mg/L, por lo tanto, para realizar nuestras pruebas estadísticas se tomó el valor de 0.10 mg/L para los resultados antes mencionados.

En algunos resultados post tratamiento se obtuvo concentraciones finales de nitrato (mg/L) y turbidez (NTU) atípicos, es por ello que dichos valores fueron reemplazados por la mediana obtenida inicialmente que son 0.6 mg/L en Nitrato y 14.1 NTU para turbidez.

**Tabla 15***Parámetros fisicoquímicos post tratamiento*

<b>N° de muestra</b>	<b>Fosfato final (mg/L)</b>	<b>Nitrato final (mg/L)</b>	<b>pH final</b>	<b>Turbidez final (NTU)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	1.05	0.05	7.32	14.20	22.20
2	0.92	0.05	7.49	14.10	22.20
3	0.10	0.60	7.37	14.1	22.30
4	0.10	0.49	7.77	13	22.40
5	0.10	0.39	7.96	12.2	22.20
6	0.10	0.60	7.42	14.1	22.20
7	0.10	0.47	7.83	14.1	22.30
8	0.10	0.59	8.40	12.5	22.40
9	0.10	0.60	7.83	17.4	22.30
10	0.38	0.52	7.42	12.4	22.30
11	2.26	0.46	7.59	11.7	22.40
12	0.10	0.60	7.25	14.1	22.00
13	0.10	0.48	7.34	11.6	22.20
14	0.37	0.59	7.61	10.4	22.30
15	0.10	0.60	7.82	10.5	22.20
16	0.10	0.40	7.82	10.5	22.40
17	0.10	0.49	7.95	9.74	22.40
18	0.10	0.60	7.17	14.1	22.40
19	0.10	0.51	7.20	10.1	22.20
20	0.10	0.60	7.25	14.1	22.20
21	0.10	0.60	7.33	14.1	22.20
22	0.10	0.60	7.56	7.88	22.20
23	0.10	0.60	7.58	14.1	22.30
24	0.10	0.60	7.64	14.1	22.40
25	0.10	0.68	7.76	12.5	22.20
26	0.10	0.60	7.53	14.1	22.20
27	0.10	0.60	7.62	14.1	22.20

En la tabla 15 se registraron los valores de Fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), pH, turbidez y temperatura donde la muestra que se tuvo una menor concentración de estos parámetros fue en la prueba 02 haciendo un contraste con el resultado que se tuvo una mayor concentración en la prueba 11.

Así mismo de la Tabla 16, de los resultados obtenidos por cada parámetro físico químico se podrá sacar la media y desviación estándar por cada uno de ellos, y el resultado estará presentado a continuación:

**Tabla 16**

*Media de los parámetros fisicoquímicos post tratamiento*

		<b>Estadísticos</b>			
		Fosfatos	Nitratos	pH	Turbidez
N	Válido	27	27	27	27
Media		,2622	,5174	7,5863	12,8081
Mediana		,1000	,6000	7,5800	14,1000
Desviación		,46107	,15205	,28365	1,99989
Mínimo		,10	,05	7,17	7,88
Máximo		2,26	,68	8,40	17,40

**Figura 15**

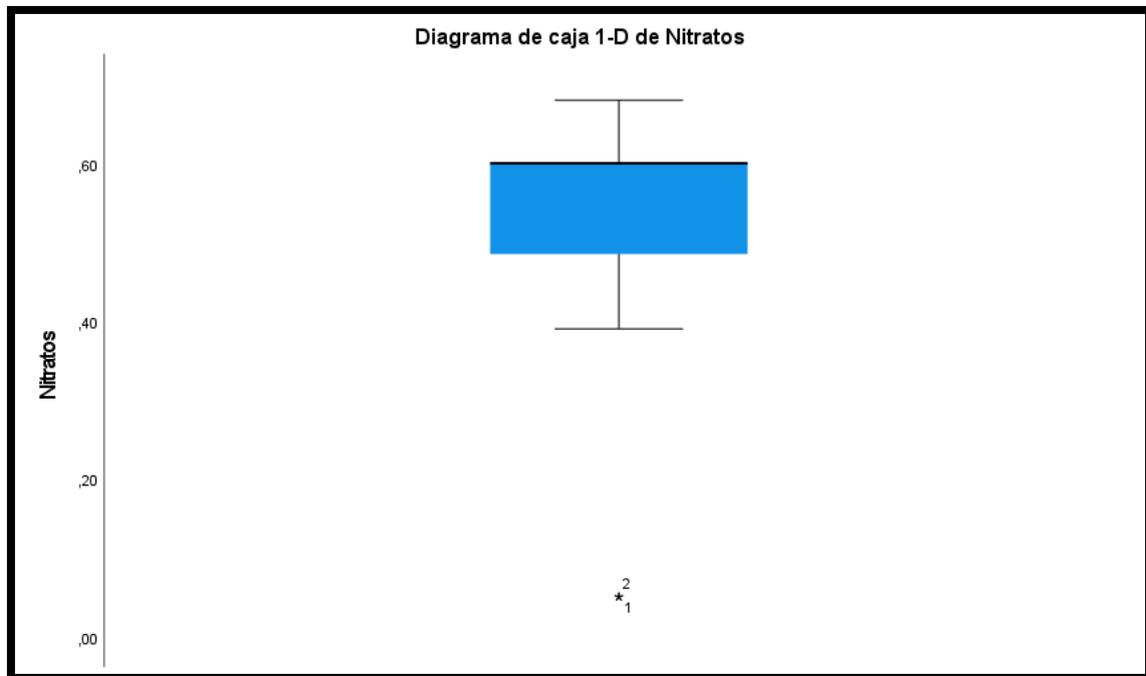
*Diagrama de cajas – Concentración final de Fosfatos (mg/L)*



Según lo obtenido en la Figura 15 se tiene que la mayor concentración obtenida post tratamiento de Fosfatos es de 2,26 mg/L y el menor valor obtenido es de 0,10 mg/L, así mismo la mediana cuyo dato está representado por el valor de 0,10 mg/L también nos representa el menor valor obtenido en el post tratamiento de las aguas eutrofizadas.

**Figura 16**

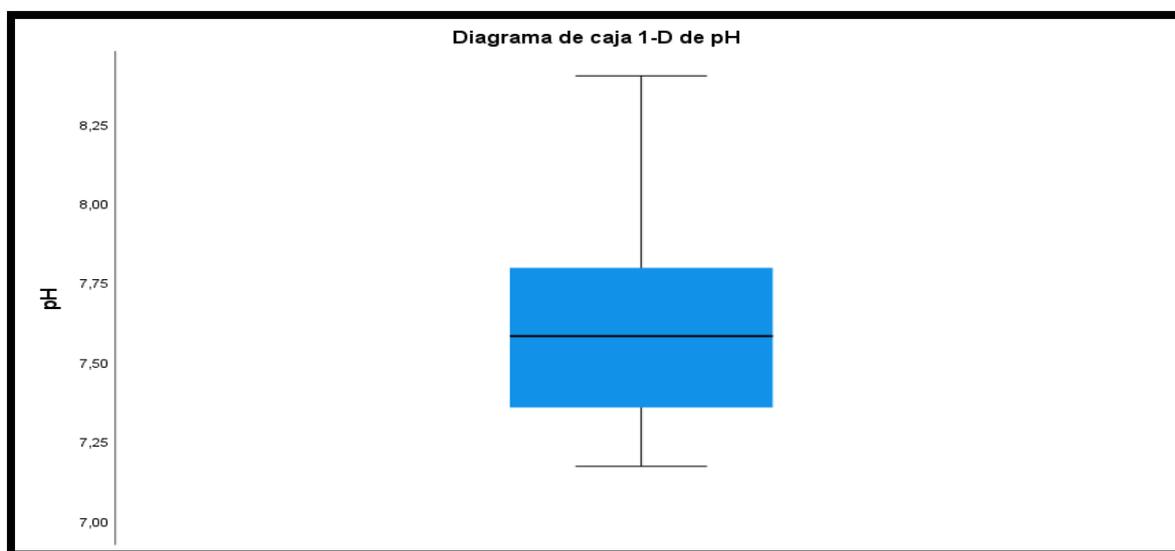
*Diagrama de cajas - Concentración final de nitratos*



Según lo obtenido en la Figura 16 se tiene que la mayor concentración obtenida post tratamiento de Nitratos es de 0,68 mg/L y el menor valor obtenido es de 0,05 mg/L, así mismo el 50% de los datos están distribuidos por debajo del valor de la mediana obtenido que fue 0,6 mg/L.

**Figura 17**

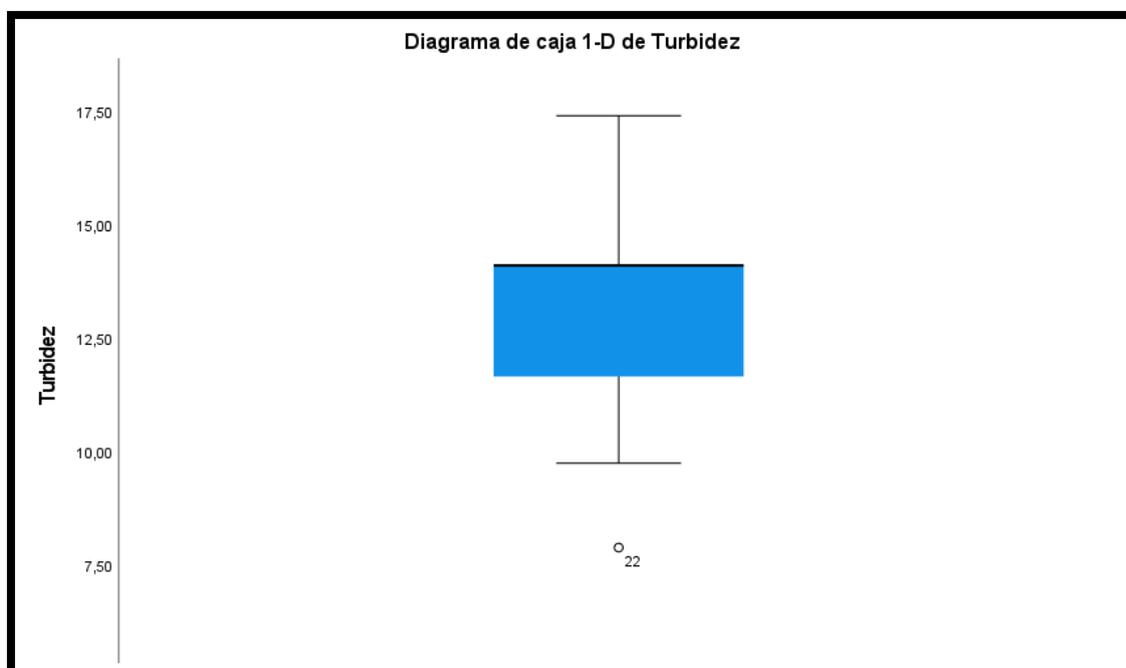
*Diagrama de cajas – pH*



Según lo obtenido en la Figura 17 se tiene que la mayor concentración obtenida post tratamiento de pH es de 8.4 y el menor valor obtenido es de 7.17, así mismo el 50% de los datos están distribuidos por debajo del valor de la mediana obtenido que fue 7.58.

**Figura 18**

*Diagrama de cajas – Concentración final de Turbidez (NTU)*



Según lo obtenido en la Figura 18 se tiene que la mayor concentración obtenida post tratamiento de la turbidez es de 17,40 NTU y el menor valor obtenido es de 7.88 NTU, así mismo el 50% de los datos están distribuidos por debajo del valor de la mediana obtenido que fue 14.1 NTU.

En consecuencia, de lo obtenido en la Tabla 16, se contrastaron estos datos con el ECA 004-2017-MINAM Estándares de calidad para el Agua y determinar si cumplen con esta normativa, representados en la Tabla 17, observando que la electrocoagulación remueve los contaminantes de forma eficiente en las aguas residuales.

**Tabla 17**

*Comparación de datos obtenidos con el ECA*

N° de muestra	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)
ECA	0.1071	13	6.5 – 9	100
VALORES OBTENIDOS	< 0.10	< 0,05	7.5863	7.88
CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

### **5.1.2. Resultados del porcentaje de remoción de fosfatos, nitratos y turbidez más significativo**

La determinación del porcentaje de remoción de fosfatos, nitratos y turbidez se realizó a partir de los resultados de pre tratamiento (concentraciones iniciales) proveniente de la tabla N°13 Parámetros fisicoquímicos pre tratamiento y de los resultados post tratamiento (concentraciones finales) proveniente de la tabla 15 parámetros fisicoquímicos post tratamiento.

Para la determinación del porcentaje de remoción se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción } Y = \frac{(C_i - C_f) * 100\%}{C_i}$$

De tal manera que se obtuvo las concentraciones iniciales, finales y el porcentaje de remoción para cada parámetro en la tabla 18 mostrando los siguientes resultados después de la aplicación del proceso de electrocoagulación en las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.:

**Tabla 18***Porcentajes de remoción de fosfatos, nitratos y turbidez*

N° de muestra	Concentración inicial de fosfatos (mg/L)	Concentración final de fosfatos (mg/L)	Remoción de fosfatos (%)	Concentración inicial de nitratos (mg/L)	Concentración final de nitratos (mg/L)	Remoción de nitratos (%)	Concentración inicial de turbidez (NTU)	Concentración final de turbidez (NTU)	Remoción de turbidez (NTU)
1	5.88	1.05	82.14%	1.80	0.05	97.22%	28.10	14.20	49.47%
2	5.88	0.92	84.35%	1.80	0.05	97.22%	28.10	14.10	49.82%
3	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	14.10	49.82%
4	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.49	72.78%	28.10	13.00	53.74%
5	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.39	78.33%	28.10	12.20	56.58%
6	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	14.10	49.82%
7	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.47	73.89%	28.10	14.10	49.82%
8	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.59	67.22%	28.10	12.50	55.52%
9	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	17.40	38.08%
10	5.88	0.38	93.54%	1.80	0.52	71.11%	28.10	12.40	55.87%
11	5.88	2.26	61.56%	1.80	0.46	74.44%	28.10	11.70	58.36%
12	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	14.10	49.82%
13	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.48	73.33%	28.10	11.60	58.72%
14	5.88	0.37	93.71%	1.80	0.59	67.22%	28.10	10.40	62.99%

N° de muestra	Concentración inicial de fosfatos (mg/L)	Concentración final de fosfatos (mg/L)	Remoción de fosfatos (%)	Concentración inicial de nitratos (mg/L)	Concentración final de nitratos (mg/L)	Remoción de nitratos (%)	Concentración inicial de turbidez (NTU)	Concentración final de turbidez (NTU)	Remoción de turbidez (NTU)
15	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	10.50	62.63%
16	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.40	77.78%	28.10	10.50	62.63%
17	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.49	72.78%	28.10	9.74	65.34%
18	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	14.10	49.82%
19	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.51	71.67%	28.10	10.10	64.06%
20	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	14.10	49.82%
21	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	14.10	49.82%
22	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	7.88	71.96%
23	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	14.10	49.82%
24	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	14.10	49.82%
25	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.68	62.22%	28.10	12.50	55.52%
26	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	14.10	49.82%
27	5.88	0.10	98.30%	1.80	0.60	66.67%	28.10	14.10	49.82%

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 18 es que podemos obtener todos los valores descriptivos que son media, mediana, valores máximos y valores mínimos plasmados en la Tabla 19.

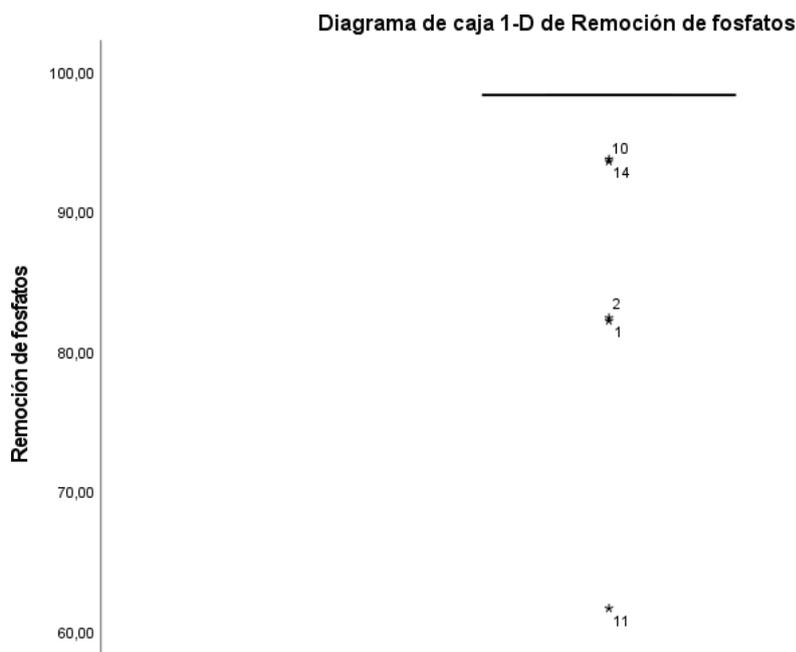
**Tabla 19**

*Datos estadísticos de la remoción de fosfatos, nitratos y turbidez*

		<b>Estadísticos</b>		
		Remoción de fosfatos	Remoción de nitratos	Remoción de turbidez
N	Válido	27	27	27
	Perdidos	0	0	0
Media		95,4037	71,2563	54,4189
Mediana		98,3000	66,6700	49,8200
Desv. Desviación		8,04461	8,44601	7,11759
Mínimo		61,56	62,22	38,08
Máximo		98,30	97,22	71,96

**Figura 19**

*Diagrama de cajas - remoción de fosfatos*

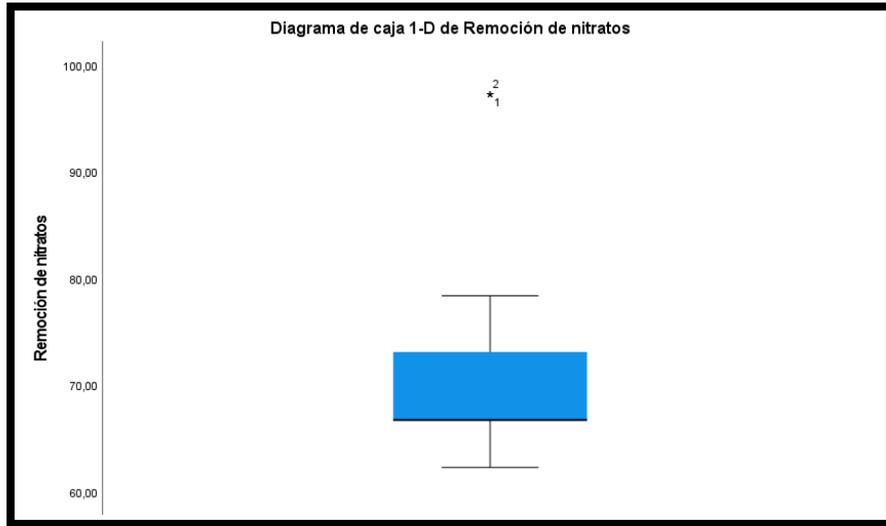


Según lo obtenido en la Figura 19 nos indica que el menor porcentaje de remoción de fosfatos es de 61.56%, así mismo el 50% de los datos están distribuidos a través de una línea continua ya que la mayoría de datos presentan

una remoción de fosfatos del 98.30% y coincide con la máxima remoción de fosfatos.

### Figura 20

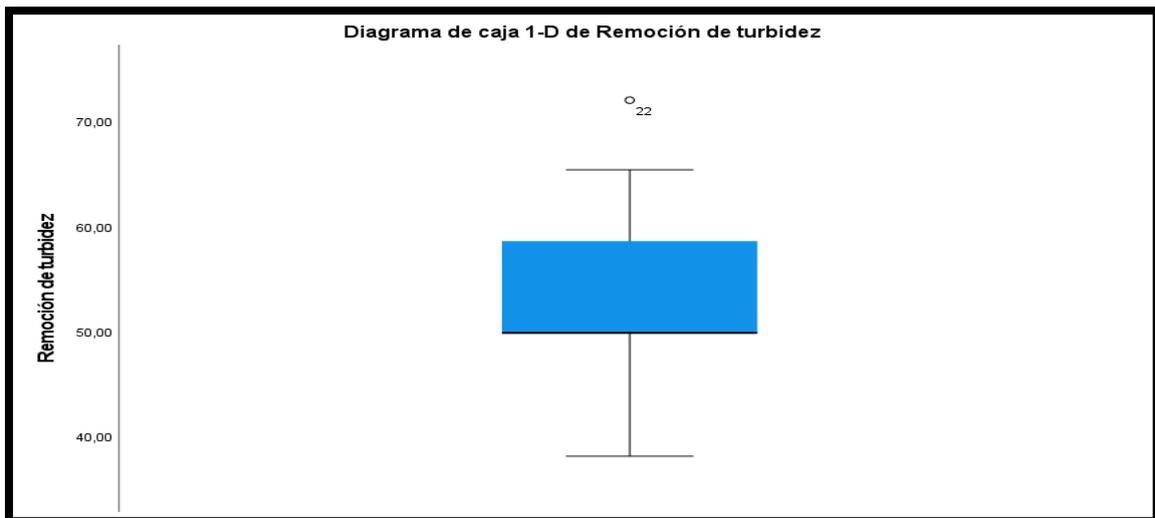
Diagrama de caja - remoción de nitratos



Según lo obtenido en la Figura 20 se tiene que la mayor remoción de nitratos tuvo un valor de 97.22% y el menor valor obtenido es de 62.22%, así mismo el 50% de los datos están distribuidos por debajo del valor de la mediana obtenido que fue 66.67%.

### Figura 21

Diagrama de cajas - remoción de turbidez



Según lo obtenido en la Figura 21 se tiene que la mayor remoción de turbidez tuvo un valor de 71.96% y el menor valor obtenido es de 38.08%, así mismo el 50% de los datos están distribuidos por debajo del valor de la mediana obtenido que fue 49.82%.

## 5.2. Resultados inferenciales

De acuerdo con los objetivos específicos planteados se presentan los resultados inferenciales a partir del porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos de acuerdo a las condiciones de operación y parámetros que influyen tras la aplicación de la electrocoagulación.

### 5.2.1. Condiciones de operación óptimas

De acuerdo con la bibliografía revisada se planteó como condiciones de operación al tiempo de contacto medido en minutos y a la densidad de corriente ( $A/m^2$ ) en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.

**Tabla 20**

*Condiciones de operación óptimas para la remoción*

N° de muestra	Remoción de fosfatos (%)	Remoción de nitratos (%)	Tiempo de contacto (minutos)	Densidad de corriente ( $A/m^2$ )
1	82.14%	97.22%	50	30
2	84.35%	97.22%	50	45
3	98.30%	66.67%	50	60
4	98.30%	72.78%	60	30
5	98.30%	78.33%	60	45
6	98.30%	66.67%	60	60
7	98.30%	73.89%	70	30
8	98.30%	67.22%	70	45
9	98.30%	66.67%	70	60
10	93.54%	71.11%	50	30
11	61.56%	74.44%	50	45
12	98.30%	66.67%	50	60
13	98.30%	73.33%	60	30

N° de muestra	Remoción de fosfatos (%)	Remoción de nitratos (%)	Tiempo de contacto (minutos)	Densidad de corriente (A/m <sup>2</sup> )
14	93.71%	67.22%	60	45
15	98.30%	66.67%	60	60
16	98.30%	77.78%	70	30
17	98.30%	72.78%	70	45
18	98.30%	66.67%	70	60
19	98.30%	71.67%	50	30
20	98.30%	66.67%	50	45
21	98.30%	66.67%	50	60
22	98.30%	66.67%	60	30
23	98.30%	66.67%	60	45
24	98.30%	66.67%	60	60
25	98.30%	62.22%	70	30
26	98.30%	66.67%	70	45
27	98.30%	66.67%	70	60

Para el desarrollo de la prueba de hipótesis se utilizó la prueba estadística paramétrica ANOVA univariado para comparar varios grupos de la variable dependiente e independiente; evidenciar si estos grupos difieren de manera significativa.(MORENO 2008) .

**Tiempo de contacto**

Ho: T1=T2=T3=0 (No existe influencia entre los tiempos evaluados.)

H1: T1≠ T2 ≠ T3 ≠ 0 (existe diferencia entre los tiempos evaluados.)

**Tabla 21**

*Prueba estadística ANOVA, Remoción de fosfatos y nitratos vs tiempo de contacto*

ANOVA						
		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Remoción de fosfatos	Entre grupos	377,899	2	188,949	3,476	0,047
	Dentro de grupos	1304,712	24	54,363		
	Total	1682,611	26			
Remoción de nitratos	Entre grupos	229,673	2	114,837	1,696	0,205
	Dentro de grupos	1625,041	24	67,710		
	Total	1854,714	26			

De acuerdo a la tabla 21 se empleó el Análisis de varianzas (ANOVA) la significancia en la remoción de fosfatos es 0,047 el valor es menor a 0,05 lo que indica que existe influencia significativa en los tiempos evaluados, acepta la Hipótesis alternativa mientras que para la remoción de nitratos la significancia es de 0,205 valores mayor a 0,05 lo que indica que no existe influencia de los tiempos evaluados aceptando la Hipótesis nula.

### **Densidad de corriente**

Ho:  $D1=D2=D3=0$  (No existe influencia entre las densidades de corriente evaluados)

H1:  $D1 \neq D2 \neq D3 \neq 0$  (existe influencia entre las densidades de corriente evaluados)

**Tabla 22**

*Prueba estadística ANOVA, Remoción de fosfatos y nitratos vs densidad de corriente*

<b>ANOVA</b>						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Remoción de fosfatos	Entre grupos	186,692	2	93,346	1,498	0,244
	Dentro de grupos	1495,919	24	62,330		
	Total	1682,611	26			
Remoción de nitratos	Entre grupos	288,922	2	144,461	2,214	0,131
	Dentro de grupos	1565,792	24	65,241		
	Total	1854,714	26			

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para las densidades de corrientes donde se obtuvieron los siguientes resultados de la tabla 22 donde nos señala que la significancia para la remoción de fosfatos y nitratos es de 0,244 y 0,131 los cuales son valores mayores a 0.05 indicando que las densidades de corrientes evaluadas no influyen en la remoción de estos parámetros aceptando el  $H_0$ .

Mediante el Análisis de varianzas de efectos Inter sujetos obtenemos que el tiempo de contacto presenta una significancia de 0,034 menor a 0,05 indicando que el tiempo de contacto influye en la remoción de fosfatos mientras que la densidad de corriente tiene un valor de 0,161 mayor a 0,05 indicando que no existe influencia en la remoción de fosfatos como se muestra a continuación tabla 23:

**Tabla 23**

*Prueba Inter sujetos para remoción de fosfatos*

<b>Pruebas de efectos inter-sujetos</b>					
Variable dependiente: Remoción de fosfatos					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	851,826 <sup>a</sup>	8	106,478	2,307	,067
Intersección	245750,400	1	245750,400	5324,494	,000
Tiempo de contacto	377,899	2	188,949	4,094	,034
Densidad de corriente	186,692	2	93,346	2,022	,161
Tiempo de contacto *	287,236	4	71,809	1,556	,229
Densidad de corriente					
Error	830,785	18	46,155		
Total	247433,011	27			
Total corregido	1682,611	26			

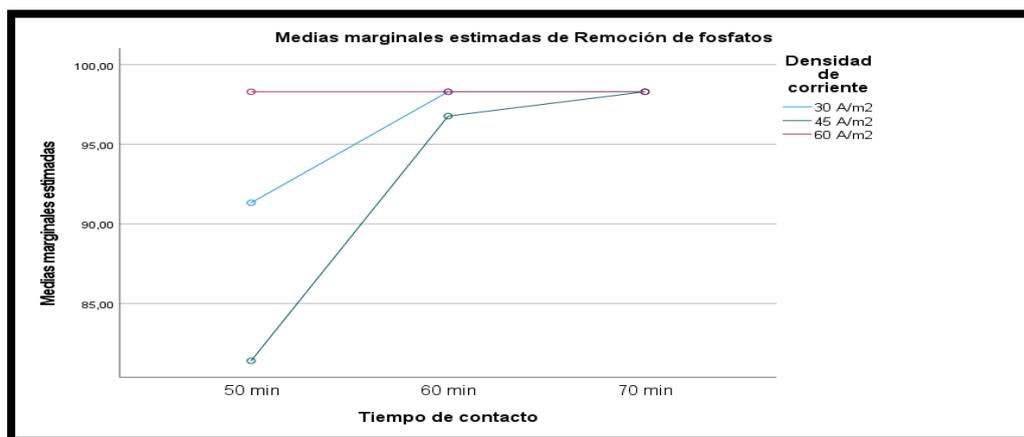
a. R al cuadrado = ,506 (R al cuadrado ajustada = ,287)

Como resultado obtenemos que cuando interactúa el tiempo de contacto influye de manera significativa en la remoción de fosfatos.

Teniendo que cuando el tiempo de contacto es de 50 minutos y a una densidad de corriente de 60 A/m<sup>2</sup> las medias marginales estimadas dan una remoción de fosfatos del 98.30 % , así mismo se logra observar que la máxima remoción que se da es la del 98.30% como se muestra a continuación en la figura 24:

**Figura 22**

*Interacción entre la densidad de corriente y tiempo de contacto para la remoción de fosfatos*



Para el análisis de la remoción de nitratos logramos observar en la Tabla 24 prueba de efectos inter sujetos que la significancia para el tiempo de contacto, densidad de corriente y la interacción entre ambas condiciones (tiempo de contacto y densidad de corriente) son de 0,211; 0,147 y 0,778 valor mayores a 0,05 indica que no existe influencia significativa en las condiciones de operación evaluadas para la remoción de nitratos.

**Tabla 24**

*Prueba Inter sujetos para remoción de nitratos*

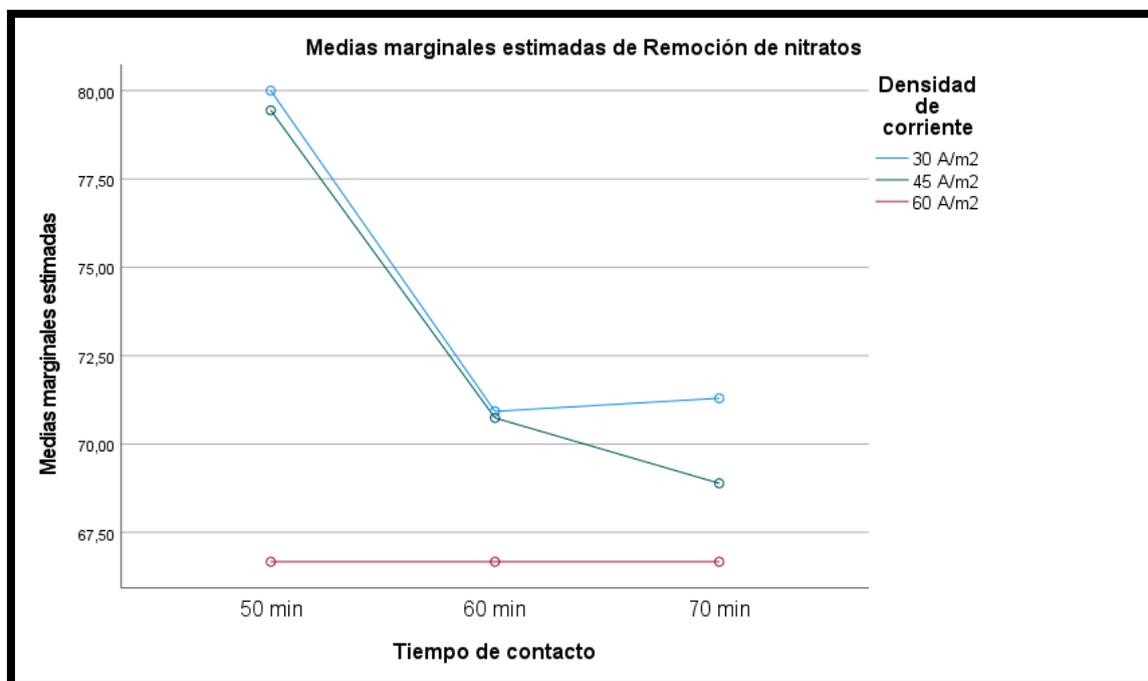
<b>Pruebas de efectos inter-sujetos</b>					
Variable dependiente: Remoción de nitratos					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	637,675 <sup>a</sup>	8	79,709	1,179	0,364
Intersección	137091,414	1	137091,414	2027,582	0,000
Tiempo de contacto	229,673	2	114,837	1,698	0,211
Densidad de corriente	288,922	2	144,461	2,137	0,147
Tiempo de contacto *	119,080	4	29,770	,440	0,778
Densidad de corriente					
Error	1217,038	18	67,613		
Total	138946,127	27			
Total corregido	1854,714	26			

a. R al cuadrado = ,344 (R al cuadrado ajustada = ,052)

De los resultados del análisis obtenido se logra observar que existe un aumento en la concentración de nitratos generando valores negativos en el porcentaje de remoción por lo tanto se usó los valores de la mediana para evitar la generación de datos atípicos es por eso que en la figura 23 medias marginales estimadas logramos evidenciar que existe una remoción de nitratos del 80.00% cuando el tiempo de contacto es de 50 minutos y a una densidad de corriente de 30 A/m<sup>2</sup> así mismo se logra observar que la máxima remoción que se da es la del 97.22% como se muestra a continuación:

**Figura 23**

*Interacción entre la densidad de corriente y el tiempo de contacto para Remoción de nitratos*



En la tabla 23 para el parámetro de fosfatos logramos evidenciar que se genera una significancia de 0.040 valor menor a 0.05 indicando que los tiempos de contacto evaluados influyen de manera significativa en la remoción de fosfatos, para la tabla 24 logramos evidenciar que los tiempos evaluados generan una significancia de 0.04 valor menor a 0.05 indicando que los tiempos evaluados influyen de manera significativa para la remoción de nitratos. Por lo que acepta las hipótesis alternativas donde se indica que las condiciones de operación influyen en la remoción de fosfatos y nitratos.

### **5.2.2. Parámetros que influyen en la electrocoagulación**

De los 27 tratamientos realizados, se obtuvo la remoción de fosfatos (%) y remoción de nitratos (%) según lo muestra la Tabla 25.

**Tabla 25***Remoción de fosfatos y nitratos versus parámetros que influyen*

<b>N° de muestra</b>	<b>Remoción de fosfatos (%)</b>	<b>Remoción de nitratos (%)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>
1	82.14%	97.22%	7.32	22.20
2	84.35%	97.22%	7.49	22.20
3	98.30%	66.67%	7.37	22.30
4	98.30%	72.78%	7.77	22.40
5	98.30%	78.33%	7.96	22.20
6	98.30%	66.67%	7.42	22.20
7	98.30%	73.89%	7.83	22.30
8	98.30%	67.22%	8.40	22.40
9	98.30%	66.67%	7.83	22.30
10	93.54%	71.11%	7.42	22.30
11	61.56%	74.44%	7.59	22.40
12	98.30%	66.67%	7.25	22.00
13	98.30%	73.33%	7.34	22.20
14	93.71%	67.22%	7.61	22.30
15	98.30%	66.67%	7.82	22.20
16	98.30%	77.78%	7.82	22.40
17	98.30%	72.78%	7.95	22.40
18	98.30%	66.67%	7.17	22.40
19	98.30%	71.67%	7.20	22.20
20	98.30%	66.67%	7.25	22.20
21	98.30%	66.67%	7.33	22.20
22	98.30%	66.67%	7.56	22.20
23	98.30%	66.67%	7.58	22.30
24	98.30%	66.67%	7.64	22.40
25	98.30%	62.22%	7.76	22.20
26	98.30%	66.67%	7.53	22.20
27	98.30%	66.67%	7.62	22.20

## **pH**

Ho: pH1 = pH2 = pH3 (No existe influencia en los pH evaluados)

H1: pH1≠pH2≠pH3≠0 (existe influencia entre los pH evaluados)

**Tabla 26**

*Prueba estadística ANOVA, Remoción de fosfatos y nitratos vs pH*

<b>ANOVA</b>						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Remoción de fosfatos	Entre grupos	1671,282	22	75,967	26,823	,003
	Dentro de grupos	11,329	4	2,832		
	Total	1682,611	26			
Remoción de nitratos	Entre grupos	1757,077	22	79,867	3,272	,129
	Dentro de grupos	97,637	4	24,409		
	Total	1854,714	26			

Del análisis de varianza (ANOVA) de la tabla 26 se logra observar que el valor de la significancia para el pH es de 0.003 valor menor a 0.05 para la remoción de fosfatos indicando que existe influencia significativa y aceptando la hipótesis planteada mientras que para la remoción de nitratos la significancia es de 0.129 valor mayor que 0.05 indicando que no existe influencia significativa en la remoción de nitratos para los pH evaluados.

## **Temperatura**

Ho: T1 = T2 = T3 (No existe influencia en las temperaturas evaluados)

H1: T1≠T2≠T3≠0 (existe influencia entre las temperaturas evaluadas)

**Tabla 27***Prueba estadística ANOVA, Remoción de fosfatos y nitratos vs temperatura*

<b>ANOVA</b>						
		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Remoción de fosfatos	Entre grupos	60,224	3	20,075	,285	0,836
	Dentro de grupos	1622,387	23	70,539		
	Total	1682,611	26			
Remoción de nitratos	Entre grupos	91,968	3	30,656	,400	0,754
	Dentro de grupos	1762,746	23	76,641		
	Total	1854,714	26			

De la tabla 27 también se desarrolló el análisis de varianza (ANOVA) donde se logra observar que el valor de la significancia para la temperatura es de 0.836 y 0,754 valores mayores a 0.05 para la remoción de fosfatos y nitratos indicando que no existe influencia significativa en las temperaturas evaluadas y aceptando la hipótesis nula.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados

Para la contratación de la hipótesis general del presente trabajo de investigación se determinó mediante la prueba estadística ANOVA, la cual tiene una aplicación en diseños experimentales.(DAGNINO 2014)

Con la finalidad de determinar si la hipótesis puede ser refutada o validada, para esto se utilizó el programa IBM SPSS Statistics versión 27.

#### 6.1.1. Resultados de la caracterización pre y post tratamiento

De los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica pre y post tratamiento de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha y su comparación con el estándar de calidad de agua en su categoría 4 en la Tabla 28.

**Tabla 28**

*Resultados pre y post tratamiento de las aguas*

N° de muestra	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	Cumplimiento con el ECA
ECA	0.1071	13	6.5 – 9	100	-
PRE TRATAMIENTO	5.88	1.80	7.56	28.10	NO CUMPLE
POST TRATAMIENTO	< 0.10	< 0,05	7.5863	7.88	CUMPLE

Así mismo según los datos obtenidos en la Tabla 28, podemos afirmar que en una caracterización inicial de las aguas de la laguna eutrofizada **no** cumple con los valores establecidos en el parámetro de fosfatos para el ECA categoría 4 y una vez aplicando el proceso de electrocoagulación se remueven estos contaminantes cumpliendo con la normativa ambiental vigente.

#### 6.1.2. Condiciones de operación óptima

Para las condiciones de operación óptimas se evaluó el tiempo de contacto y la densidad de corriente donde se obtuvo la siguiente información los valores de significancia para el tiempo de contacto de acuerdo al análisis de varianza ANOVA en la remoción de fosfato es de p-valor 0,047 valor menor de 0,05 indicando que los tiempos evaluados estadísticamente influye significativamente

mientras que los valores de significancia en los tiempos de contacto evaluados en la remoción de nitratos es de p-valor 0,205 valor mayor a 0,05 indicando que estadísticamente no existe influencia significativa en los tiempos de contacto. Además, para las densidades de corriente se observa que del análisis de varianza (ANOVA) no influye significativamente en la remoción ni de nitratos ni de fosfatos. Por lo tanto, existe influencia significativa de las condiciones de operación en la remoción de fosfatos, pero no en la remoción de nitratos, siendo resumidos los parámetros óptimos en la siguiente tabla 29.

**Tabla 29**

*Condiciones óptimas para remoción de fosfatos y nitratos*

<b>Contaminante</b>	<b>Densidad de corriente (A/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Tiempo de contacto (min)</b>
Fosfatos	60	50
Nitratos	30	50

### **6.1.3. Parámetros que influyen en la remoción de fosfatos y nitratos**

Se planteó la hipótesis específica si los parámetros influyen en la remoción de fosfatos y nitratos, de acuerdo a los resultados del análisis de varianza (ANOVA) el pH evaluado estadísticamente influye de manera significativa en la remoción de fosfatos dando una significancia p-valor de 0,003; mientras que para la remoción de nitratos no influye significativamente en los pH evaluados debido a que la significancia p-valor es de 0,129 mayor a 0,05.

Como otro parámetro evaluado tenemos a la temperatura la cual fue evaluada para verificar si influye en la remoción de los contaminantes obteniendo los siguientes resultados la significancia p-valor para la remoción de fosfatos y nitratos es de 0,836 y 0,754 indicando que estadísticamente no existe influencia de las temperaturas evaluadas. Por lo tanto, el parámetro que influye en la remoción de fosfatos es el pH para los nitratos no existe influencia significativa de los parámetros. Mientras que la temperatura estadísticamente no influye en la remoción de estos contaminantes.

#### 6.1.4. Remoción significativa

De los resultados descriptivos obtenidos logramos verificar que los resultados de remoción significativa para los fosfatos es 95.40% obteniendo un valor máximo del 98.30% mientras que para los nitratos los resultados significativos son del 71.26% obteniendo un resultado máximo de 97.22% tabla 30.

**Tabla 30**

*Remoción de contaminante*

<b>Contaminante</b>	<b>Porcentaje de remoción (%)</b>
Fosfatos	98.30%
Nitratos	97.22%
Turbidez	71.96%

Por lo tanto según los resultados representados en la tabla 30 podemos afirmar que la hipótesis general “la aplicación del proceso de electrocoagulación influye en la remoción de fosfatos y nitratos en las aguas eutrofizadas de la laguna Patarcocha” es correcta.

#### 6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

La presente investigación tuvo como finalidad la aplicación de la electrocoagulación para la remoción de fosfatos y nitratos. Los valores de remoción para el fosfato fueron de 98.30% valor mayor comparado con Hernández 2019 el cual obtuvo una remoción del 93% donde se observa la influencia de electrodos de cobre, mientras que se encuentra por encima de los resultados de Yang et 2022 el cual obtuvo remociones del 98% quien trabajo con las siguientes condiciones de operación: intensidad de corriente de 5A y con un tiempo de contacto de 6 minutos donde el condicionante fueron las tasas altas y bajas de oxígeno disuelto. Para la remoción de nitratos con el método de electrocoagulación el trabajo de investigación obtuvo resultados del 97.22 % resultados mayores a los obtenidos por Melo y Sancristan 2018 quien obtuvo resultados de 90% a una intensidad de corriente de 2.5 A y tiempo de contacto de 90 minutos, mientras que Montenegro et al 2019 quien obtuvo resultados del 95% utilizando NaCO<sub>3</sub>. Finalmente, el presente trabajo de investigación

presento condiciones de operación de tiempo de contacto en 03 niveles (50,60 y 70 minutos) y densidad de corriente en 03 niveles (30, 45 y 60 A/m<sup>2</sup>).

Otro factor que es importante considerar en el trabajo de investigación son aquellos parámetros que influyen en la electrocoagulación como son el pH y la temperatura se obtuvo resultados diferentes a los comparados por Camargo 2018 obteniendo resultados de 8 como pH el cual es más estable e influye en la formación de sedimentos, Poma y Quispe 2016 removi6 contaminantes de aguas residuales urbanas después del proceso mencionado a un pH de 8.1 y temperatura de 30.4 sin embargo consideraron otros parámetros de remoción como DQO, DBO5 a comparación de la presente investigación donde se obtuvieron resultados promedios de temperatura del 22.27 y del pH de 7.58.

De acuerdo con los resultados inferenciales para el tiempo de contacto en la remoción de fosfatos la significancia es de 0.047 lo cual indica que existe una influencia significativa en los tiempos evaluados mientras que para los nitratos la significancia mediante la prueba estadística ANOVA es de 0.205 indicando que no existe influencia significativa en la remoción de nitratos, para la densidad de corriente los valores de significancia son de 0.244 y 0.131 valores a 0.05 indicando que la influencia de la intensidad de corriente no es significativa en la remoción de estos parámetros. Además, contrastando con la investigación realizada por MELO A. Y SACRISTAN J. 2018, realizaron un análisis ANOVA teniendo un grado de significancia menor a 0.05 afirmando que la intensidad de corriente aplicada tiene influencia directa en la remoción de nitratos incrementando su eficiencia a medida de incrementar la corriente aplicada.

Así mismo los valores obtenidos de nitratos, fosfatos, pH, turbidez y temperatura fueron <0.05 mg/L, <0.10 mg/L, 7.58, 7.88 NTU y 22.27°C respectivamente fueron comparados con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA) cumpliendo en cada uno de los parámetros antes mencionados. La viabilidad del proyecto se basa en el bajo costo de implementación de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de las aguas eutrofizadas de la laguna Patarcocha y de su eficiencia para remover los nitratos y fosfatos, además de una vez siendo tratado este cuerpo de agua se

podría utilizar como centro de esparcimiento o recreación generando empleos e ingresos para los pobladores locales.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

Esta investigación se realizó estando de acuerdo con el Código de Ética de la Investigación de la UNAC, Resolución de Consejo Universitarios N°260-2019-CU de la Universidad Nacional del Callao y la directiva N° 004-2022-R “Directiva para la elaboración de proyecto e informe final de investigación de pregrado, posgrado, equipos, centros e institutos de investigación”. Aprobado mediante resolución rectoral N° 319-2022-R con fecha 22 de Abril de 2022, con la finalidad de elaborar una investigación que aporte conocimiento a la comunidad científica y sociedad. En este sentido, esta investigación proporciona resultados reales en torno al tema de investigación, asimismo estará al servicio y disposición del público en el repositorio de la Universidad Nacional del Callao.

## VII. CONCLUSIONES

- Se concluye de los resultados que la electrocoagulación permite la remoción de fosfatos y nitratos en las aguas de la laguna eutrofizada de la laguna Patarcocha, utilizando una celda electroquímica de seis litros, con cátodos de fierro y ánodos de aluminio.
- Se determinó la caracterización fisicoquímica en el pre tratamiento cuyos resultados de fosfatos y nitratos fueron de 5.88 mg/L y 1.80 mg/L respectivamente incumpliendo así con la normativa ambiental vigente; sin embargo, realizando medición post tratamiento para concentraciones de fosfatos se hallaron valores menores a 0.10mg/L y nitratos de 0.60 mg/L cumpliendo así con lo establecido en el ECA agua Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.
- Según los resultados obtenidos la condición de operación óptimas para la remoción de fosfatos y nitratos a través de la aplicación del electrocoagulador fueron: para la remoción de fosfatos el tiempo de contacto óptimo es de 50 minutos a una densidad de corriente de 60 A/m<sup>2</sup> y para la remoción de nitratos se obtuvo un tiempo de contacto óptimo de 50 minutos y a una densidad de corriente de 30 A/m<sup>2</sup> por lo que se concluye que si influye en la remoción de estos parámetros.
- Se determinó los parámetros que más influyen en el proceso de electrocoagulación son el pH a un valor 7.58, turbidez a un valor de 12.80 NTU y temperatura de 22.26°C.
- Se determino que los porcentajes de remoción significativo para fosfatos se obtuvo una remoción de 98.30%, para los nitratos una remoción significativa del 97.22% y para la turbidez obtuvo una mayor remoción de 71.96% por lo que se concluye que la aplicación del proceso electrocoagulación es efectiva para el tratamiento de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el diseño de un electrocoagulador a una escala mayor analizando el costo beneficio, para poder aplicarlo en el ecosistema acuático y recuperarlo.
- Se recomienda utilizar otros tipos de electrodos como titanio, zinc, cobre, grafito entre otros y evaluar la eficiencia para la remoción de fosfatos y nitratos.
- Se recomienda el análisis de parámetros biológicos para verificar si existe bacterias fijadoras del nitrógeno.
- Se recomienda incluir en el estándar de calidad ambiental (D.S.004-2017-MINAM) en la categoría 4 el parámetro de fosfatos para lograr una mejor cuantificación debido a que actualmente se cuenta con el parámetro de fósforo total.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALCIVAR, G. y RODRIGUEZ, J., 2020. *Aplicación de tratamientos electroquímicos como electrocoagulación y ozonización para aguas de sentina de los buques de la armada del Ecuador* [en línea]. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. [consulta: 13 junio 2023]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50505>.
- ALFARARA, C.G., NAKANO, K., NOMURA, N., IGARASHI, T. y MATSUMURA, M., 2002. Operating and scale-up factors for the electrolytic removal of algae from eutrophied lakewater. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* [en línea], vol. 77, no. 8, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 02682575. DOI 10.1002/jctb.649. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jctb.649>.
- ALVARADO, A., MAGDALENA, D., REYES, M., GARCÍA, A., VÁSQUEZ, E., GONZALES, L., PROAL, J. y QUINTOS, M., 2010. Procesos fisicoquímicos para remoción de contaminantes en el agua. [en línea]. Durango: [consulta: 13 junio 2023]. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/8213>.
- ANA, 2016. Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales ( Resolución Jefatural N° 010-2016 - ANA). [en línea]. S.l.: [consulta: 3 marzo 2022]. Disponible en: [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo\\_nacional\\_para\\_el\\_monitoreo\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_los\\_recursos\\_hidricos\\_superficiales.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf).
- ANSARI, A.A. y SINGH, S., 2014. *Eutrophication: Causes, consequences and control: Volume 2* [en línea]. S.l.: Springer Netherlands. [consulta: 13 junio 2023]. vol. 2. ISBN 9789400778146. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-7814-6>.
- APHA, 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23 Edition. S.l.: s.n.
- ARANGO, A. y GARCÉS, L., 2007. DISEÑO DE UNA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA. *Revista Universidad EAFIT* [en

- línea], vol. 43, no. 147, [consulta: 2 agosto 2022]. ISSN 0120-341X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/215/21514706.pdf>.
- ARBOLEDA, J. y HERRERA, P., 2015. *Evaluación de un proceso de electrocoagulación en un reactor tipo batch para la remoción de cromo hexavalente (Cr6+) con electrodos de aluminio - aluminio y de hierro - aluminio en condiciones de laboratorio* [en línea]. S.I.: Universidad Santo Tomas. [consulta: 7 junio 2023]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/613>.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2014. INVENTARIO DE LAGUNAS GLACIARES DEL PERÚ. . S.I.:
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2016. *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA)* [en línea]. 2016. S.I.: s.n. [consulta: 18 diciembre 2022]. Disponible en: [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo\\_nacional\\_para\\_el\\_monitoreo\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_los\\_recursos\\_hidricos\\_superficiales.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf).
- AVELINO, C., 2011. *Monitoreo y diagnóstico de la eutroficación de la Laguna Patarcocha por actividades antropogénicas, en Cerro de Pasco*. S.I.: s.n.
- ÁVILA, J., LAOS, A. y VERANO, R., 2018. Remoción de nitratos y fosfatos por cepas nativas de *Chlorella* sp. (Chlorellaceae) y *Chlamydomonas* sp. (Chlamydomonadaceae) libres e inmovilizadas en aguas residuales municipales. *Arnaldoa* [en línea], vol. 25, no. 2, [consulta: 16 septiembre 2022]. ISSN 18158242. DOI 10.22497/arnaldoa.252.25210. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2413-32992018000200010](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992018000200010).
- BOMAN, B.J., WILSON, P.C. y ONTERMAA, E.A., 2002. Understanding Water Quality Parameters for Citrus Irrigation and Drainage Systems. *Agricultural & Biological Engineering* 1406 [en línea], Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- BRASINGTON, J. y RICHARDS, K., 2000. Turbidity and suspended sediment dynamics in small catchments in the Nepal Middle Hills. *Hydrol Process* [en

- línea], vol. 14, [consulta: 13 junio 2023]. Disponible en: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1099-1085\(20001015\)14:14%3C2559::AID-HYP114%3E3.0.CO;2-E](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1099-1085(20001015)14:14%3C2559::AID-HYP114%3E3.0.CO;2-E).
- BRILLAS, E. y MARTINEZ, C.A., 2015. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods. An updated review. *Applied Catalysis B: Environmental* [en línea], vol. 166-167, [consulta: 21 julio 2022]. ISSN 09263373. DOI 10.1016/j.apcatb.2014.11.016. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.11.016>.
- BUKHARI, A.A., 2008. Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 99, no. 5, [consulta: 20 julio 2022]. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2007.03.015. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852407002489>.
- CABRERA, X., FLEITES, M. y CONTRERAS, A., 2009. Estudio del proceso de coagulación - floculación de aguas residuales de la empresa textil «Desembarco del Granma» a escala de laboratorio. *Tecnología Química* [en línea], vol. XXIX, ISSN 0041-8420. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760009>.
- CAMARGO, C., 2015. *RECUPERACIÓN DE FÓSFORO DEL LACTOSUERO ÁCIDO RESIDUAL MEDIANTE EI PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN A NIVEL DE LABORATORIO DISTRITO DE YANACANCHA -JUNÍN* [en línea]. Huancayo: Universidad Alas Peruanas. [consulta: 20 julio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/1067>.
- CAÑIZARES, P., MARTÍNEZ, F., JIMÉNEZ, C., LOBATO, J. y RODRIGO, M.A., 2006. Coagulation and electrocoagulation of wastes polluted with dyes. *Environmental science & technology*, vol. 40, no. 20, ISSN 0013-936X.
- CHEN, L., ZHAO, J., ZHANG, Z., SHEN, Z., DONG WEIMIAO, MA, R., CHEN, J., NIU, L., CHEN, S., WU, D., LIU, J. y ZHOU, A., 2022. Lake eutrophication in northeast China induced by the recession of the East Asian summer

- monsoon. *Quaternary Science Reviews* [en línea], vol. 281, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 02773791. DOI 10.1016/j.quascirev.2022.107448. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0277379122000798>.
- CHUQUIMBOQUES, J., ROJAS, J. y MENDOZA, J., 2019. OPTIMIZACIÓN DE LA REMOCIÓN SIMULTÁNEA DE NITRATO, NITRITO, AMONIO Y FOSFATO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. *Rev Soc Quím Perú* [en línea], vol. 85, no. 1, [consulta: 13 noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n1/a09v85n1.pdf>.
- COGOLLO, J., 2011. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. *Año* [en línea], vol. 78, [consulta: 14 junio 2023]. ISSN 0012-7353. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7761289>.
- CORONEL, K. y VILA, G., 2013. *REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DEL COLECTOR PARRA DEL RIEGO POR EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN MEDIANTE PANELES FOTOVOLTAICOS, A NIVEL DE LABORATORIO* [en línea]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú. [consulta: 20 julio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1488?show=full>.
- CORREA, F., CUESTA, D., MELO, A. y SACRISTAN, L., 2018. Electrocoagulación en la remoción de contaminantes de efluentes provenientes de fertilizantes nitrogenados. *Revista de Investigación* [en línea], vol. 11, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 2011-639X. Disponible en: <https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/233>.
- CRESCENTINI, M., BENNATI, M. y TARTAGNI, M., 2011. Integrated and Autonomus Conductivity - Temperature - Depth(TD) Sensors for Environmental Monitoring. *Advanced Research Center for Electronic Systems (ARCES)* [en línea], vol. 11, [consulta: 13 junio 2023]. DOI 10.1109/MWSCAS.2011.6026396. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6026396>.

- CUBA, I. y CHAMBI, F., 2018. *Remoción de iones cromo, níquel y zinc de efluentes de la industria galvánica usando técnica de electrocoagulación* [en línea]. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. [consulta: 20 julio 2022]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/14788>.
- CUSICHE, L. y MIRANDA, G., 2019. Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional «Lago Junín», Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea], vol. 10, [consulta: 18 julio 2022]. ISSN 2007-0934. DOI <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1870>. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n6/2007-0934-remexca-10-06-1433.pdf>.
- DAGNINO, J., 2014. ANÁLISIS DE VARIANZA. *Bioestadística y Varianza* [en línea], vol. 43, [consulta: 1 julio 2023]. Disponible en: <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>.
- DRECKMANN, K., SENTÍES, A. y NUÑEZ, M., 2012. Manual de prácticas de laboratorio Biología de Algas. [en línea]. S.l.: [consulta: 10 agosto 2022]. Disponible en: <http://publicacionescbs.izt.uam.mx/DOCS/biologiadealgas.pdf>.
- ESCOBAR, R. y ESPINOZA, C., 2021. *Nivel de eutrofización en la laguna Choclococha, Huancavelica, 2019* [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 18 julio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3881>.
- GARCIA, M., 2020. *La responsabilidad social en los proyectos de recuperación de la Laguna Patarcocha –Cerro de Pasco 2007-2017, y propuesta técnica de recuperación*. [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 18 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2120>.
- GARCIA, S., EIBAND, M.M.S.G., VIEIRA, J. y MARTINEZ, C., 2017. Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. *Journal of Electroanalytical Chemistry* [en línea], vol. 801, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 15726657. DOI 10.1016/j.jelechem.2017.07.047. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1572665717305337>.

- GARZÓN, E. y COTRINO, C., 2014. Aplicación al control de procesos batch. *Revista Tecnura* [en línea], vol. 18, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 2248-7638. DOI 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.se1.a14. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257059812015.pdf>.
- GREBE, G., 2018. INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA E INVESTIGACIÓN APLICADA EN EL INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE. *Artículos de Opinión* [en línea]. 2018. pp. 38-43. [consulta: 6 mayo 2023]. Disponible en: <https://revista.ispch.gob.cl/index.php/RISP/article/view/54>.
- HAKIZIMANA, J.N., GOURICH, B., CHAFI, M., STIRIBA, Y., VIAL, C., DROGUI, P. y NAJA, J., 2017. Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination* [en línea], vol. 404, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 00119164. DOI 10.1016/j.desal.2016.10.011. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916416315971>.
- HERNANDEZ, Daniela, 2016. *TRATAMIENTO ACOPLADO FISICOQUIMICO-ELECTROCOAGULACIÓN PARA INCREMENTAR LA REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE UN AGUA RESIDUAL DE RASTRO MUNICIPAL* [en línea]. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México. [consulta: 9 noviembre 2022]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65337/TESIS-split-merge.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- HERNANDEZ, Francisco, 2016. *Voltaje, corriente y potencia eléctrica* [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 1 agosto 2023]. Disponible en: <https://educacionmediasuperior.sep.gob.mx/work/models/sems/Resource/12235/5/images/voltaje-ciencias.pdf>.
- HERNANDEZ, J. y MEJIA, S., 2019. *EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA DISMINUIR LA CARGA CONTAMINANTE A ESCALA DE LABORATORIO* [en línea]. Bogota D.C.: Fundación Universidad de America. [consulta: 31 julio 2022]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7384/1/6122858-2019-1-IQ.pdf>.

- HERNANDEZ, R., COLLADO, C. y BAPTISTA, P., 2014. *Metodología de la Investigación* [en línea]. 6° Edición. S.I.: s.n. [consulta: 13 junio 2023]. vol. 6. ISBN 978-1-4562-2396-0. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, M. del P., 2014. *Metodología de la investigación, editorial Mcgraw Hill*. 2014. S.I.: México, DF.
- HOLT, P., 2002. *Electrocoagulation: Unravelling and synthesising the mechanisms behind a water treatment process* [en línea]. Sidney: University of Sidney. [consulta: 20 noviembre 2022]. Disponible en: <https://ses.library.usyd.edu.au/handle/2123/624>.
- HOSSAIN, M., MAHMUD, I., PARVEZ, S. y MUK, H., 2013. Impact of current density, operating time and pH of textile wastewater treatment by electrocoagulation process. *Environmental Engineering Research* [en línea], vol. 18, no. 3, [consulta: 21 julio 2022]. ISSN 12261025. DOI 10.4491/eer.2013.18.3.157. Disponible en: <https://www.eeer.org/journal/view.php?doi=10.4491/eer.2013.18.3.157>.
- HUERTA, K., 2022. El coagulante en el tratamiento de aguas. *CONTYQUIM*.
- INAN, H. y ALAYDIN, E., 2014. Phosphate and nitrogen removal by iron produced in electrocoagulation reactor. *Desalination and Water Treatment* [en línea], vol. 52, no. 7-9, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 19443986. DOI 10.1080/19443994.2013.787950. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19443994.2013.787950>.
- INGA, E., 2016. *Modelo dinámico de sistemas para determinar la calidad de agua en la Laguna Patarcochapor vertimiento de aguas residuales de los Asentamiento Humanos aledaños, Pasco, 2016* [en línea]. Lima: Universidad Cesar Vallejo. [consulta: 20 julio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/11350>.
- KHATIB, W.A., AYARI, A., YASIR, A.T., TALHAMI, M., DAS, P., QUADIR, M.A. y HAWARI, A.H., 2021. Enhancing the electrocoagulation process for harvesting marine microalgae (*Tetraselmis* sp.) using interdigitated electrodes. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 292,

- [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2021.112761. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721008239>.
- KIERSCH, B. y GUNKEL, G., 2004. Las macrófitas de algunos lagos alto-andinos del Ecuador y su bajo potencial como bioindicadores de eutrofización. *Revista Biología Tropical* [en línea], vol. 52, no. 4, ISSN 0034-7744. Disponible en: [www.tropiweb.com](http://www.tropiweb.com).
- KRENKEL, N., 1980. Eutrophication. *Water Quality Management* [en línea]. S.I.: Elsevier, pp. 509-553. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124261501500161>.
- KRENKEL, P. y NOVOTNY, V., 1980. Eutrophication. *Water Quality Management* [en línea]. S.I.: Elsevier, pp. 509-553. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124261501500161>.
- LACHAVANNE, J.-B., PERFETTA, J. y JUGE, R., 1992. Influence of water eutrophication on the macrophytic vegetation of Lake Lngano. *Aquatic Sciences* [en línea], vol. 54, no. 3/4, [consulta: 18 julio 2022]. DOI <https://doi.org/10.1007/BF00878147>. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00878147#citeas>.
- LEDESMA, C., BONANSEA, M., RODRIGUEZ, C.M. y SANCHEZ, A., 2013. Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Revista Ciencia Agronomica* [en línea], vol. 44, no. 3, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 18066690. DOI 10.1590/S1806-66902013000300002. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rca/a/mBw9jQZ43cXVShJPBrvnTQs/abstract/?lang=es>.
- LI, D. y LIU, S., 2019. Detection of River Water Quality. *Water Quality Monitoring and Management* [en línea]. S.I.: Elsevier, pp. 211-220. [consulta: 13 junio 2023]. ISBN 9780128113318. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/330050633\\_Detection\\_of\\_River\\_Water\\_Quality](https://www.researchgate.net/publication/330050633_Detection_of_River_Water_Quality).
- MARTIN-DOMINGUEZ, A., RIVERA, M. de L., PIÑA, M. y PEREZ, S., 2008. Incidencia del gradiente de velocidad en la eficiencia de la

- electrocoagulación para remover arsénico en un reactor a flujo pistón. *INTERCIENCIA* [en línea], vol. 33, no. 7, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 0378-1844. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33933705>.
- MELO, A. y SACRISTAN, L., 2018. *Evaluación de la remoción de nitratos por electrocoagulación* [en línea]. Bogota D.C.: Fundación Universidad de America. [consulta: 18 octubre 2022]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/72111/1/6131007-2018-2-IQ.pdf>.
- MINNESOTA POLLUTION CONTROL AGENCY, 2019. Widespread changes needed to improve water quality in the Minnesota River Basin. [en línea]. [consulta: 21 julio 2022]. Disponible en: <https://www.pca.state.mn.us/featured/widespread-changes-needed-improve-water-quality-minnesota-river-basin>.
- MOLLAH, A., SCHENNACH, R., PARGA, J.R. y COCKE, D.L., 2001. Electrocoagulation (EC)-science and applications. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 84, [consulta: 13 junio 2023]. DOI 10.1016/S0304-3894(01)00176-5. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389401001765>.
- MONCHAMP, M.E., SPAAK, P., DOMAIZON, I., DUBOIS, N., BOUFARD, D. y POMATI, F., 2018. Homogenization of lake cyanobacterial communities over a century of climate change and eutrophication. *Nature Ecology and Evolution* [en línea], vol. 2, no. 2, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 2397334X. DOI 10.1038/s41559-017-0407-0. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0407-0>.
- MONTENEGRO, C., LUCÍA, D., HERNANDEZ, P., LINA, M., HILARION, T. y STIVEN, J., 2019. Evaluación de la eficiencia de un sistema de electrocoagulación en los vertimientos de curtiembres en el sector de Villapinzón (Cundinamarca). *Revista Mutis* [en línea], vol. 9, no. 2, ISSN 22561498. DOI 10.21789/22561498.1590. Disponible en: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1590>.

- MORENO, E., 2008. *Manual de Uso de SPSS* [en línea]. Madrid: s.n. [consulta: 1 julio 2023]. Disponible en: [http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:500727/Guia\\_SPSS.pdf](http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:500727/Guia_SPSS.pdf).
- MOUSSA, D.T., EL-NAAS, M.H., NASSER, M. y AL-MARRI, M.J., 2017. A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 186, [consulta: 21 julio 2022]. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2016.10.032. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716308106>.
- MOYA, J. y CANALES, C., 2018. TECNOLOGÍAS ELECTROQUÍMICAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS: ELECTROCOAGULACIÓN. [en línea]. S.I.: s.n., pp. 1-8. [consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/86621/1/Tema-TECNOLOGIAS-ELECTROQUIMICAS.pdf>.
- MURGA, L., 2011. *Evaluación física, química y biológica de la laguna Patarcocha - Cerro de Pasco y propuesta de recuperación ecológica* [en línea]. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. [consulta: 13 junio 2023]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8188>.
- NEPO, J., GOURICH, B., CHAFII, M., STIRIBA, Y., VIAL, C., DROGUI, P. y NAJA, J., 2017. Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination* [en línea], vol. 404, [consulta: 20 julio 2022]. ISSN 00119164. DOI 10.1016/j.desal.2016.10.011. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916416315971>.
- NIDEHEESH, P. V., ZHOU, M. y OTURAN, M.A., 2018. An overview on the removal of synthetic dyes from water by electrochemical advanced oxidation processes. *Chemosphere* [en línea], vol. 197, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.12.195. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517321732>.
- NIDHEESH, P. V. y SINGH, T.S.A., 2017. Arsenic removal by electrocoagulation process: Recent trends and removal mechanism. *Chemosphere* [en línea]. S.I.: Elsevier Ltd, pp. 418-432. [consulta: 13 junio 2023]. vol. 181. Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517306173>.

ÑAUPAS, H., MEJÍA, E., NOVOA, A. y VILLAGOMEZ, A., 2014. Metodología de la investigación: Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis, 4ta Edición. *Metodología de la Investigación* [en línea]. 4a Edición. S.l.: s.n., [consulta: 1 agosto 2022]. ISBN 978-958-762-188-4. Disponible en: <https://fdiazca.files.wordpress.com/2020/06/046.-mastertesis.metodologicc81a-de-la-investigaciocc81n-cuantitativa-cualitativa-y-redacciocc81n-de-la-tesis-4ed-humberto-ncc83aupas-paitacc81n-2014.pdf>.

PACHECO, N., 2019. *REMOCIÓN DE COLORANTES EN SOLUCIONES ACUOSAS SINTÉTICAS PORELECTROCOAGULACIÓN APLICANDO ENERGÍA GENERADA POR UN PANEL SOLAR* [en línea]. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín Arequipa. [consulta: 20 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10648>.

PEARSE, M.J., 2003. Historical use and future development of chemicals for solid-liquid separation in the mineral processing industry. *Minerals Engineering* [en línea]. S.l.: Elsevier Ltd, pp. 103-108. [consulta: 13 junio 2023]. vol. 16. DOI 10.1016/S0892-6875(02)00288-1. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0892687502002881>.

PHUTDHAWONG, W., CHOWWANAPHOONPOHN, S. y BUDDHASUKH, D., 2000. Electrocoagulation and Subsequent Recovery of Phenolic Compounds. *ANALYTICAL SCIENCES* [en línea], vol. 16, [consulta: 13 junio 2023]. Disponible en: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/analsci/16/10/16\\_10\\_1083/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/analsci/16/10/16_10_1083/_pdf).

PIÑA, M., MARTÍN, M., GONZALES, C., PRIETO, F., GUEVARA, A. y GARCÍA, J., 2011. Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Revista mexicana de Ingeniería Química* [en línea], vol. 10, no. 2, ISSN 165-2738. Disponible en: [www.rmiq.org](http://www.rmiq.org).

POMA JAVIER, J. y QUISPE SANCA, P., 2016. *Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación*. S.l.: s.n.

- PRIETO, F., CALLEJAS, J., REYES, V.E., MARMOLEJO, Y. y PRIETO, J., 2014. Electrodisolution aluminum electrode during an electrocoagulation acid whey. *DYNA (Colombia)* [en línea], vol. 81, no. 187, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 00127353. DOI 10.15446/dyna.v81n187.40757. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49632363017>.
- PRIETO, F., CALLEJAS, J., REYES, V.E. y SANTILLA, Y., 2012. Electrocoagulación: una alternativa para depuración de lactosuero residual. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambiental: Investigación, desarrollo y práctica* [en línea], vol. 5, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 0718-378X. Disponible en: <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/34727>.
- REDONDO, F. y REDONDO, R., 2023. Corriente eléctrica. [en línea]. Salamanca: [consulta: 1 agosto 2023]. Disponible en: [https://electricidad.usal.es/Principal/Fenomenos/Publicaciones/Descargas/03\\_Corriente\\_electrica.pdf](https://electricidad.usal.es/Principal/Fenomenos/Publicaciones/Descargas/03_Corriente_electrica.pdf).
- RIVAS, J. y ROJAS, M., 2020. *Tratamiento de aguas residuales por el método de electrocoagulación del sistema PTAR de la laguna de estabilización San José, Lambayeque*. [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 13 junio 2023]. Disponible en: [https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/9200/Rivas\\_Ram%c3%adrez\\_Jimy\\_Edgar\\_y\\_Rojas\\_Oblitas\\_Manuel\\_Alejandro.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/9200/Rivas_Ram%c3%adrez_Jimy_Edgar_y_Rojas_Oblitas_Manuel_Alejandro.pdf?sequence=4&isAllowed=y).
- RIVERA CARLOS, ZAPATA, Á., PINILLA, G., DONATO, J., CHAPARRO, B. y JIMENEZ, P., 2005. COMPARACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE LA CLOROFILA-a MEDIANTE LOS MÉTODOS ESPECTROFOTOMÉTRICO Y FLUOROMÉTRICO Comparison of Spectrophotometric and Fluorometric Measurements of Chlorophyll-a. *Acta Biológica Colombiana* [en línea]. Colombia, 21 julio 2005. pp. 95. [consulta: 20 mayo 2023]. ISSN 0120-548X. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2005000200007&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2005000200007&lang=es).

- RODRIGUEZ, A., 2000. Coloides. *Emergencias y Catástrofes* [en línea], vol. 1, no. 4, [consulta: 14 junio 2023]. Disponible en: <http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/Coloides%202.pdf>.
- ROLDAN, Gabriel. y RAMIREZ, J., 2008. *Fundamentos de limnología neotropical* [en línea]. S.l.: Editorial Universidad de Antioquia. [consulta: 13 junio 2023]. ISBN 9789587141443. Disponible en: Fundamentos de limnología neotropical <https://repositorio.accefyn.org.co>.
- ROMERO, J., 2010. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño* [en línea]. Tercera Edición. Colombia: s.n. [consulta: 20 noviembre 2022]. ISBN 958-8060-13-3. Disponible en: [https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_Romero\\_Rojas](https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas).
- SAMUDIO, L., PIOL, M., SARALEGUI, A. y BOEYKENS, S., 2018. ELIMINACIÓN DE FOSFATOS Y NITRATOS DE AGUAS LACUSTRES. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental* [en línea], no. 129, Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/326410819>.
- SILLANPÄÄ, M. y SHESTAKOVA, M., 2017. Electrochemical Water Treatment Methods. *Electrochemical Water Treatment Methods: Fundamentals, Methods and Full Scale Applications*. S.l.: Elsevier Inc., pp. 47-130. ISBN 9780128114636.
- TAHREEN, A., SAEDI, M. y ALI, F., 2020. Role of electrocoagulation in wastewater treatment: A developmental review. *Journal of Water Process Engineering* [en línea], vol. 37, [consulta: 21 julio 2022]. ISSN 22147144. DOI 10.1016/j.jwpe.2020.101440. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714420303184>.
- TERZI, E. y VEREP, B., 2012. Effects of water hardness and temperature on the acute toxicity of mercuric chloride on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Toxicology and Industrial Health* [en línea], vol. 28, no. 6, [consulta: 13 junio 2023]. ISSN 07482337. DOI 10.1177/0748233711416943. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22033427/>.
- TUMSRI, K. y CHAVALPARIT, O., 2011. Optimizing Electrocoagulation-electroflotation Process for Algae Removal. ,

- VARGAS, Z., 2009. La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación* [en línea], vol. 33, [consulta: 6 mayo 2023]. ISSN 0379-7082. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>.
- WANG, L.K., HUNG, Y.-T. y SHAMMAS, N.K., 2005. *Physicochemical Treatment Processes* [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 13 junio 2023]. vol. 3. ISBN 1-59259-820-x. Disponible en: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/74761/1/Lawrence%20K.%20Wang.pdf>.
- YANG, Y., LI, Y., MAO, R., SHI, Y., LIN, S., QIAO, M. y ZHAO, X., 2022. Removal of phosphate in secondary effluent from municipal wastewater treatment plant by iron and aluminum electrocoagulation: Efficiency and mechanism. *Separation and Purification Technology* [en línea], vol. 286, [consulta: 20 julio 2022]. ISSN 1383-5866. DOI 10.1016/J.SEPPUR.2021.120439. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586621021432>.

# ANEXOS

## ANEXO 1. Matriz de consistencia

APLICACIÓN DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE FOSFATOS Y NITRATOS DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA EUTROFIZADA, PATARCOCHA, CERRO DE PASCO						
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>Variable independiente:</b> X= Aplicación del proceso de electrocoagulación	X <sub>1</sub> : Condiciones de operación del equipo	X <sub>1-1</sub> : Densidad de corriente aplicada X <sub>1-2</sub> : Tiempo de contacto	<b>Tipo:</b> El presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación tipo aplicada.  <b>Diseño de tipo experimental</b>  <b>Método:</b> El método a utilizar es el deductivo, analítico.
¿De qué manera la aplicación del proceso de electrocoagulación influye en la remoción de fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha, Cerro de Pasco?	Evaluar como la aplicación del proceso de electrocoagulación influye en la remoción de fosfato y nitrato en aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha, Cerro de Pasco	La aplicación del proceso de electrocoagulación influye en la remoción de fosfatos y nitratos en las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha, Cerro de Pasco.	<b>Variable dependiente:</b> Y= Remoción de fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada	Y <sub>1</sub> : Características fisicoquímicos	Y <sub>1-1</sub> : Concentración inicial de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>  Y <sub>1-2</sub> : Concentración final de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>  Y <sub>1-3</sub> : Concentración inicial de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  Y <sub>1-4</sub> : Concentración final de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>				
P1: ¿Cuál será la caracterización físico química pre y post tratamiento de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha por resultado de la aplicación del proceso de electrocoagulación con respecto al estándar de calidad de agua en su categoría IV?	O1: Determinar si la caracterización físico química pre y post tratamiento de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha por resultado de la aplicación del proceso de electrocoagulación con respecto al estándar de calidad de agua en su categoría IV	H1: La caracterización físico química pre y post tratamiento de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha por resultado de la aplicación del proceso de electrocoagulación con respecto al estándar de calidad de agua en su categoría IV.				

P2: ¿Cuáles serán las condiciones de operación óptimas en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha?

**O2:** Determinar las condiciones de operación óptimas en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.

**H2:** Las condiciones de operación óptimas influyen en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada, Patarcocha.

**X<sub>1</sub>:** Condiciones de operación del equipo

X<sub>1-1</sub>: Densidad de corriente aplicada

X<sub>1-2</sub>: Tiempo de contacto

P3: ¿Cuáles son los parámetros que influyen en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha?

**O3:** los parámetros que influyen en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha

**H3:** Los parámetros que influyen en el proceso de electrocoagulación remueven los fosfatos y nitratos de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha

**X2:** Parámetros que influyen en el proceso

X<sub>2-1</sub>: pH

X<sub>2-2</sub>: Turbidez

X<sub>2-3</sub>: Temperatura

P4: ¿Cuánto será el porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos producto de la aplicación del proceso de electrocoagulación en las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha?

**O4:** Determinar el porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos producto de la aplicación del proceso de electrocoagulación en las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha

**H4:** El porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos en las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha, Cerro de Pasco por la aplicación del proceso de electrocoagulación es significativo.

**Y<sub>2</sub>** Porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos

Y<sub>2-1</sub>: Remoción de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Y<sub>2-2</sub>: Remoción de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

## ANEXO 2. Fichas experimentales

### Anexo 2.1. Ficha experimental N° 1

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO</b>							
<b>DATOS GENERALES</b>									
<b>TITULO</b>		*APLICACIÓN DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE FOSFATOS Y NITRATOS DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA EUTROFIZADA, PATARCOCHA, CERRO DE PASCO*							
<b>TEMA OCDE:</b>		1.05.08—CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE							
<b>FACULTAD:</b>		INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES							
<b>AUTOR</b>		RENZO RUBEN ARROYO BAZALAR (ORCID: 0009-0005-9136-0638)							
<b>ASESOR</b>		MANUEL ALEJANDRO MAX RAMOS ORTEGA (ORCID 0009-0003-0791-2336)							
<b>Objetivo específico 1:</b>		Determinar la caracterización físico química pre y post tratamiento de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha por resultado de la aplicación del proceso de electrocoagulación con respecto al estándar de calidad de agua en su categoría IV.							
<b>Dimensión:</b>		Características fisicoquímicas del agua							
N°	Código de la muestra	Fosfato inicial	Fosfato final	Nitrato inicial	Nitrato final	pH inicial	pH final	Turbidez inicial	Turbidez final
1	M - 01	5.88	1.05	1.8	0.05	7.56	7.32	28.1	14.2
2	M - 02	5.88	0.92	1.8	0.05	7.56	7.49	28.1	14.1
3	M - 03	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.37	28.1	14.1
4	M - 04	5.88	0.1	1.8	0.49	7.56	7.77	28.1	13
5	M - 05	5.88	0.1	1.8	0.39	7.56	7.96	28.1	12.2
6	M - 06	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.42	28.1	14.1
7	M - 07	5.88	0.1	1.8	0.47	7.56	7.83	28.1	14.1
8	M - 08	5.88	0.1	1.8	0.59	7.56	8.4	28.1	12.5
9	M - 09	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.83	28.1	17.4
10	M - 10	5.88	0.38	1.8	0.52	7.56	7.42	28.1	12.4
11	M - 11	5.88	2.26	1.8	0.46	7.56	7.59	28.1	11.7
12	M - 12	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.25	28.1	14.1
13	M - 13	5.88	0.1	1.8	0.48	7.56	7.34	28.1	11.6
14	M - 14	5.88	0.37	1.8	0.59	7.56	7.61	28.1	10.4
15	M - 15	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.82	28.1	10.5
16	M - 16	5.88	0.1	1.8	0.4	7.56	7.82	28.1	10.5
17	M - 17	5.88	0.1	1.8	0.49	7.56	7.95	28.1	9.74
18	M - 18	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.17	28.1	14.1
19	M - 19	5.88	0.1	1.8	0.51	7.56	7.2	28.1	10.1
20	M - 20	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.25	28.1	14.1
21	M - 21	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.33	28.1	14.1
22	M - 22	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.56	28.1	7.88
23	M - 23	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.58	28.1	14.1
24	M - 24	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.64	28.1	14.1
25	M - 25	5.88	0.1	1.8	0.68	7.56	7.76	28.1	12.5
26	M - 26	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.53	28.1	14.1
27	M - 27	5.88	0.1	1.8	0.6	7.56	7.62	28.1	14.1
<b>NOMBRE Y APELLIDOS:</b> MARIA PAULINA ALIAGA MARTINEZ		<b>NOMBRE Y APELLIDOS:</b> HUAPAYA PARDAVÉ RICHARD JOAO				<b>NOMBRE Y APELLIDOS:</b> VIGO ROLDÁN ABNER JOSUÉ			
									
CIP: 59443 GRADO: MAESTRA		CIP: 116212 GRADO: MAESTRO				CIP: 97618 GRADO: MAESTRO			
Especialista 1		Especialista2				Especialista3			

## Anexo 2.2. Ficha experimental N° 2

		<h1 style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO</h1>					
DATOS GENERALES							
TITULO		"APLICACIÓN DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE FOSFATOS Y NITRATOS DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA EUTROFIZADA, PATARCOCHA, CERRO DE PASCO"					
TEMA OCDE:		1.05.08—CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE					
FACULTAD:		INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES					
AUTOR		RENZO RUBEN ARROYO BAZALAR (ORCID: 0009-0005-9136-0638) MANUEL ALEJANDRO MAX RAMOS ORTEGA (ORCID 0009-0003-0791-2336)					
ASESOR		MARIA PAULINA ALIAGA MARTINEZ / 0000-0003-2767-4825					
Objetivos:		O.E.2 Determinar las condiciones de operación óptimas en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.			O.E. 3 Determinar los parámetros que influyen en la aplicación del proceso de electrocoagulación para la remoción de fosfato y nitrato de las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha		
Dimensión:		Condiciones de operación del equipo			Parámetros que influyen en el proceso		
N°	Código de la muestra	Densidad de corriente (A/m2)	Tiempo de contacto(min)	pH	Turbidez	Temperatura	
1	M - 01	50	30	7.32	14.2	22.2	
2	M - 02	50	45	7.49	14.1	22.2	
3	M - 03	50	60	7.37	14.1	22.3	
4	M - 04	60	30	7.77	13	22.4	
5	M - 05	60	45	7.96	12.2	22.2	
6	M - 06	60	60	7.42	14.1	22.2	
7	M - 07	70	30	7.83	14.1	22.3	
8	M - 08	70	45	8.4	12.5	22.4	
9	M - 09	70	60	7.83	17.4	22.3	
10	M - 10	50	30	7.42	12.4	22.3	
11	M - 11	50	45	7.59	11.7	22.4	
12	M - 12	50	60	7.25	14.1	22	
13	M - 13	60	30	7.34	11.6	22.2	
14	M - 14	60	45	7.61	10.4	22.3	
15	M - 15	60	60	7.82	10.5	22.2	
16	M - 16	70	30	7.82	10.5	22.4	
17	M - 17	70	45	7.95	9.74	22.4	
18	M - 18	70	60	7.17	14.1	22.4	
19	M - 19	50	30	7.2	10.1	22.2	
20	M - 20	50	45	7.25	14.1	22.2	
21	M - 21	50	60	7.33	14.1	22.2	
22	M - 22	60	30	7.56	7.88	22.2	
23	M - 23	60	45	7.58	14.1	22.3	
24	M - 24	60	60	7.64	14.1	22.4	
25	M - 25	70	30	7.76	12.5	22.2	
26	M - 26	70	45	7.53	14.1	22.2	
27	M - 27	70	60	7.62	14.1	22.2	

<p><b>NOMBRE Y APELLIDOS:</b> MARIA PAULINA ALIAGA MARTINEZ</p>  <p>CIP: 59443 GRADO: MAESTRA</p> <p style="text-align: center;"><b>Especialista 1</b></p>	<p><b>NOMBRE Y APELLIDOS:</b> HUAPAYA PARDÁVÉ RICHARD JOAO</p>  <p>CIP: 116212 GRADO: MAESTRO</p> <p style="text-align: center;"><b>Especialista2</b></p>	<p><b>NOMBRE Y APELLIDOS:</b> VIGO ROLDÁN ABNER JOSUÉ</p>  <p>CIP: 97618 GRADO: MAESTRO</p> <p style="text-align: center;"><b>Especialista3</b></p>
---	--	--

### Anexo 2.3. Ficha experimental N°3

		<h2 style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO</h2>		
DATOS GENERALES				
TITULO		"APLICACIÓN DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE FOSFATOS Y NITRATOS DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA EUTROFIZADA, PATARCOCHA, CERRO DE PASCO"		
TEMA OCDE:		1.05.08—CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE		
FACULTAD:		INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES		
AUTOR		RENZO RUBEN ARROYO BAZALAR (ORCID: 0009-0005-9136-0638)MANUEL ALEJANDRO MAX RAMOS ORTEGA (ORCID: 0000-0003-2767-4825)		
ASESOR		MARIA PAULINA ALIAGA MARTINEZ / 0000-0003-2767-4825		
Objetivo específico 4:		Determinar el porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos producto de la aplicación del proceso de electrocoagulación en las aguas de la laguna eutrofizada Patarcocha.		
Dimensión:		Porcentaje de remoción de fosfatos y nitratos		
N°	Código de la muestra	Remoción % Fosfato	Remoción % Nitrato	Remoción % Turbidez
1	M - 01	82.14%	97.22%	49.47%
2	M - 02	84.35%	97.22%	49.82%
3	M - 03	98.30%	66.67%	49.82%
4	M - 04	98.30%	72.78%	53.74%
5	M - 05	98.30%	78.33%	56.58%
6	M - 06	98.30%	66.67%	49.82%
7	M - 07	98.30%	73.89%	49.82%
8	M - 08	98.30%	67.22%	55.52%
9	M - 09	98.30%	66.67%	38.08%
10	M - 10	93.54%	71.11%	55.87%
11	M - 11	61.56%	74.44%	58.36%
12	M - 12	98.30%	66.67%	49.82%
13	M - 13	98.30%	73.33%	58.72%
14	M - 14	93.71%	67.22%	62.99%
15	M - 15	98.30%	66.67%	62.63%
16	M - 16	98.30%	77.78%	62.63%
17	M - 17	98.30%	72.78%	65.34%
18	M - 18	98.30%	66.67%	49.82%
19	M - 19	98.30%	71.67%	64.06%
20	M - 20	98.30%	66.67%	49.82%
21	M - 21	98.30%	66.67%	49.82%
22	M - 22	98.30%	66.67%	71.96%
23	M - 23	98.30%	66.67%	49.82%
24	M - 24	98.30%	66.67%	49.82%
25	M - 25	98.30%	62.22%	55.52%
26	M - 26	98.30%	66.67%	49.82%
27	M - 27	98.30%	66.67%	49.82%

<p><b>NOMBRE Y APELLIDOS:</b> MARIA PAULINA ALIAGA MARTINEZ</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>CIP: 59443 GRADO: MAESTRA</p> <p style="text-align: center;"><b>Especialista 1</b></p>	<p><b>NOMBRE Y APELLIDOS:</b> HUAPAYA PARDAVÉ RICHARD JOAO</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>CIP: 116212 GRADO: MAESTRO</p> <p style="text-align: center;"><b>Especialista2</b></p>	<p><b>NOMBRE Y APELLIDOS:</b> VIGO ROLDÁN ABNER JOSUÉ</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>CIP: 97618 GRADO: MAESTRO</p> <p style="text-align: center;"><b>Especialista3</b></p>
--	---	---

## ANEXO 3. Validación del instrumento.

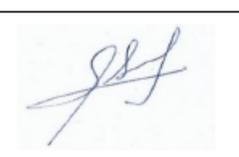
### Anexo 3.1. Validación del primer experto.

<b>Validación del instrumento</b>														
<b>I. DATOS GENERALES</b>														
1.1. Apellido y Nombres:	Aliaga Martinez Maria Paulina													
1.2. Cargo e institución donde labora:	Docente Universidad Nacional de Ingeniería.													
1.3. Especialidad o línea de investigación:	Maestría Tratamiento de Aguas y reuso de desechos.													
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:	Ficha de recolección de datos.													
1.5. Autor del instrumento:	Renzo Arroyo Bazalar / Manuel Ramos Ortega													
<b>I. ASPECTOS DE LA VADILACIÓN</b>														
CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible													X
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													X
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica													X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta aspectos metodológicos esenciales													X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valor las variables de la hipótesis													X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y científicos													X
8. COHERENCIA	Existe una organización lógica													X
9. METODOLOGIA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis													X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico													X
<b>III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN</b>														
- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.		<b>X</b>												
- El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación.														
										 DNI:08663264 N° CIP 59443				
<b>IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN</b>														
		<b>100</b>								Lima, 11 de Junio del 2023				

## Anexo 3.2. Validación del segundo experto.

<b>Validación del instrumento</b>														
<b>I. DATOS GENERALES</b>														
1.1. Apellido y Nombres:	Huapaya Pardavé Richard Joao													
1.2. Cargo e institución donde labora:	Especialista de Riesgos Ambientales - BanBif													
1.3. Especialidad o línea de investigación:	Gestión Ambiental / Riesgos Ambientales / Residuos Sólidos													
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:	Ficha de recolección de datos.													
1.5. Autor del instrumento:	Renzo Arroyo Bazalar / Manuel Ramos Ortega													
<b>I. ASPECTOS DE LA VADILACIÓN</b>														
CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible													X
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													X
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica													X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta aspectos metodológicos esenciales													X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valor las variables de la hipótesis													X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y científicos													X
8. COHERENCIA	Existe una organización lógica													X
9. METODOLOGIA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis													X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico													X
<b>III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN</b>														
- El instrumeto cumple con los requisitos para su aplicación.		<b>X</b>												
- El instrumeto NO cumple con los requisitos para su aplicación.														
								 DNI:44127158 N° CIP: 116212						
<b>IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN</b>														
		<b>100</b>						Lima, 11 de Junio del 2023						

### Anexo 3.3. Validación del primer experto.

<b>Validación del instrumento</b>														
<b>I. DATOS GENERALES</b>														
1.1. Apellido y Nombres:	VIGO ROLDÁN ABNER JOSUÉ													
1.2. Cargo e institución donde labora:	Docente en FIARN - UNAC													
1.3. Especialidad o línea de investigación:	Ingeniería química													
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:	Ficha de recolección de datos.													
1.5. Autor del instrumento:	Renzo Arroyo Bazalar / Manuel Ramos Ortega													
<b>I. ASPECTOS DE LA VADILACIÓN</b>														
CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible													X
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													X
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica													X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta aspectos metodológicos esenciales													X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valor las variables de la hipótesis													X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y científicos													X
8. COHERENCIA	Existe una organización lógica													X
9. METODOLOGIA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis													X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico													X
<b>III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN</b>														
- El instrumeto cumple con los requisitos para su aplicación.		<b>X</b>								 DNI:08085974 N° CIP: 97618				
- El instrumeto NO cumple con los requisitos para su aplicación.														
<b>IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN</b>														
		<b>100</b>								Lima, 23 de mayo del 2023				

## ANEXO 4. Certificado de calibración de equipos - Calibración del pH-metro

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SGFQ - 0217 - 2023

1. ORDEN DE TRABAJO : VS-1124-23
2. SOLICITANTE : SAN MIGUEL INDUSTRIAS PET S.A.
3. DIRECCIÓN : AV. MATERIALES NRO. 2364 (ALT. CDRA. 25 ARGENTINA) LIMA - LIMA -LIMA
4. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MEDIDOR DE PH
- TIPO DE INDICACIÓN : DIGITAL
- INTERVALO DE INDICACIÓN : 0,00 pH a 14,00 pH
- RESOLUCIÓN : 0,01 pH
- MARCA : HANNA INSTRUMENTS
- MODELO : HI 98128
- NÚMERO DE SERIE : No Indioa
- PROCEDENCIA : No Indioa
- CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN : FQ-008 (\*)
- UBICACIÓN : No Indioa
5. FECHA DE CALIBRACIÓN : 2023-08-23
6. FECHA DE EMISIÓN : 2023-08-23
7. LUGAR DE CALIBRACIÓN : Instalaciones de SG NORTEC S.R.L. - Laboratorio Fisicoquímico

8. MÉTODO DE CALIBRACIÓN EMPLEADO

La calibración se realizó a partir de la comparación directa entre la indicación del equipo a calibrar con valores asignados a estándares de referencia de pH certificados, según la PC-020: "Procedimiento para la calibración de medidores de pH". 2da Edición - Nov. 2017 del INACAL-DM.

9. OBSERVACIONES

(\*) Código indicado en una etiqueta adherida y/o grabada al instrumento.  
Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.  
SG NORTEC S.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.  
El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.  
Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones, los extractos o modificaciones requieren la autorización de SG NORTEC S.R.L.  
El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.



  
Ing. Andersson Mendoza Zuloeta  
C.I.P. N° 245379  
Supervisor de Laboratorio

# ANEXO 5. Resultados de laboratorio.

## 5.1. Resultados pre - tratamiento, Cadena de custodia

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA										L: F-095-142 R: 01 E.V: 2023/Feb-12											
<b>Datos del cliente</b> Razón Social: Persona de contacto: <u>Manuel Ramos / Rvto Anayo Cerro / Teléfono: 960365868 / 043644689</u> Nombre del proyecto: <u>Análisis de Agua</u>												Orden de servicio: <u>2955</u> Pág. <u>    </u> de <u>    </u> Plan de Monitoreo: <u>12383</u> Informe de ensayo: <u>26-23-12383</u> / <u>1CC-23-56089</u> Procedencia o lugar de muestreo: <u>Patar Cochá - Cerro de Pasco</u>											
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA Punto de muestreo / Estación: <u>AN-1</u> Código de laboratorio: <u>29370</u> Muestreo: <u>F: 24/06/23</u> Clasificación: <u>A. Laguna</u> Ubicación: <u>N: 8818420</u> N° Frascos: <u>1</u> <u>3</u> Coordenada (UTM): <u>E: 363243</u>												PARAMETROS DE ENSAYO T° Mts (°C): <u>9.3</u> pH (unidad de pH): <u>7.56</u> CE (µm/cm): <u>656</u> OD (mg/L): <u>    </u> Cloro Libre (mg/L): <u>    </u> Cloro Total (mg/L): <u>    </u>										OBSERVACIONES <u>Presencia RKSS y malos olores</u>	
Descripción de equipos utilizados: Item   Código interno del equipo   Nombre de equipo 1   50008942   Ph. metro												Leyenda: F: Fecha, N: Noche, V: Vidrio, I: Mts: Temperatura de Muestra, U: Conductividad eléctrica H: Hora, E: Este, P: Plástico, T° Amb: Temperatura ambiente, OD: Oxígeno Disuelto										Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042 Grupo: <u>Agua Natural</u>   Sub-grupo: <u>SUBTERRANEA (Muestra - Terrestre)</u> AR: <u>Agua Residual</u>   <u>DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL</u> AH: <u>Agua para Uso y Consumo Humano</u>   <u>RESERVA (Piscina, Mesa, Embudo)</u> AS: <u>Agua Salina</u>   <u>MAN: SALINIDAD - SALINIDAD</u> AP: <u>Agua de Proceso</u>   <u>ORFICACION O EMPAQUEADO - AGUA DE CALDERAS</u> <u>ALIMENTACION DE CALDERAS - AGUA DE LIMPIACION</u> <u>AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y FERTIRIECCION</u>	
Observaciones / Comentarios: Muestreado por: <u>ALAB</u> <input checked="" type="checkbox"/> Cliente Recopilación de Muestra: 25 JUN 2023 08:42 CALLAO																							

## 5.2. Resultados pre - tratamiento, Informe del laboratorio.

	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 096</b>	 Registro N° LE - 096	
<b>INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-12383</b>			
N° Id.: 000080571			
<b>I. DATOS DEL SERVICIO</b>			
1.-RAZON SOCIAL	: RAMOS ORTEGA MANUEL ALEJANDRO MAX		
2.-DIRECCIÓN	: Mz 22 L108 asentamiento humano Laura Caller -Lima-Lima-Los Olivos		
3.-PROYECTO	: ANALISIS DE AGUA		
4.-PROCEDENCIA	: PATARCOCHA - CERRO DE PASCO		
5.-SOLICITANTE	: RAMOS ORTEGA MANUEL ALEJANDRO MAX		
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 000002955-2023-0000		
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA		
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA		
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-07-04		
<b>II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO</b>			
1.-PRODUCTO	: Agua Natural		
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1		
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-06-26		
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-06-26 al 2023-07-04		
 <b>Liz Y. Quispe Quispe</b> <b>Jefe de Laboratorio</b> CIP N° 211662			
			
<p>Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.</p> <p>Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.</p>			
<b>SEDE PRINCIPAL</b> Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao Telf.: (+01) 713 0756 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572	<b>SEDE ZARUMILLA</b> Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao Telf.: (+01) 713 0636 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572	<b>SEDE AREQUIPA</b> COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa Telf.: (+054) 616 843 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572	<b>SEDE PIURA</b> Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura Telf.: (+073) 542 335 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572
<a href="http://www.alab.com.pe">www.alab.com.pe</a>			

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-12383

N° Id.: 000080571

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Conductividad <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017.	Conductivity. Laboratory Method.
pH <sup>(2) (3)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017.	pH Value Electrometric Method
Temperatura <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520 B, 24th Ed. 2023.	Salinity, Electrical Conductivity Method.
Turbidez <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed. 2017.	Turbidity. Nephelometric Method.
Clorofila <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10150 B, 24th Ed. 2023.	Plankton. Chlorophyll
Aniones INACAL-DA <sup>(1)</sup>	EPA Method 300.0 Rev.2.1, 1993	Determination of inorganic anions by ion chromatography.

<sup>(1)</sup>EPA: U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

<sup>(2)</sup>SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

<sup>(3)</sup>APHA: American Public Health Association

<sup>(1)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>(2)</sup> El Ensayo indicado no ha sido acreditado

<sup>(3)</sup> Ensayo realizado en campo (medido in situ)

📍 SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chaiaca N° 1877,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0756  
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 SEDE AREQUIPA  
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 616 843  
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 SEDE PIURA  
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,  
Castilla - Piura  
Telf.: (+073) 542 335  
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 2 de 3

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-12383**

N° Id.: 000080571

**IV. RESULTADOS**

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-39370
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AN-1
COORDENADAS:	E:0363243
UTM WGS 84:	N:8818420
PRODUCTO:	Agua Natural

SUB PRODUCTO:	Agua Superficial (Laguna/Lago)
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :	24-06-2023 08:53

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Conductividad (**)	µS/cm	NA	0,01	656,00
pH (c) (**)	Unidad de pH	NA	NA	7,56
Temperatura (**)	(°C)	NA	NA	9,3
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	28,10
Clorofila (*)	mg/L	0,002	0,005	<0,005
<b>Aniones INACAL-DA</b>				
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	1,80
P-Fosfato (*)	mg/L	0,04	0,10	5,88

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

 El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "&lt;"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "&lt;"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

© L.C.M.: Valor Mínimo de Medición en el instrumento

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

**"FIN DE DOCUMENTO"**

SEDE PRINCIPAL  
 Av. Guardia Chalaca N° 1877,  
 Bellavista - Callao  
 Telf.: (+01) 713 0756  
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA  
 Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,  
 Bellavista - Callao  
 Telf.: (+01) 713 0636  
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA  
 COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,  
 Arequipa  
 Telf.: (+054) 616 843  
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA  
 Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,  
 Castilla - Piura  
 Telf.: (+073) 542 335  
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 3 de 3









## 5.4. Resultados post - tratamiento, Informe del laboratorio.

 <b>ALAB</b> ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 096	 <b>INACAL</b> DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE - 096
---	--	--

---

### INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-13581

N° Id.: 000081769

**I. DATOS DEL SERVICIO**

---

1.-RAZON SOCIAL	: RAMOS ORTEGA MANUEL ALEJANDRO MAX
2.-DIRECCIÓN	: Mz 22 L108 asentamiento humano Laura Caller -Lima-Lima-Los Olivos
3.-PROYECTO	: ANALISIS DE AGUA
4.-PROCEDENCIA	: NO INDICA
5.-SOLICITANTE	: RAMOS ORTEGA MANUEL ALEJANDRO MAX
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000003196-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-07-17

**II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO**

---

1.-PRODUCTO	: Agua Natural
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 27
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-07-06
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-07-06 al 2023-07-17

  
**Liz Y. Quispe Quispe**  
**Jefe de Laboratorio**  
CIP N° 211662



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

<b>SEDE PRINCIPAL</b> Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao Telf.: (+01) 713 0756 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572	<b>SEDE ZARUMILLA</b> Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao Telf.: (+01) 713 0636 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572	<b>SEDE AREQUIPA</b> COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa Telf.: (+054) 616 843 Cel.: 932 648 642 / 940 598 572	<b>SEDE PIURA</b> Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura Telf.: (+073) 542 335 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572
--	--	---	--

Pág. 1 de 9

[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-13581**

**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

N° Id.: 0000081769

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Conductividad <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017.	Conductivity. Laboratory Method.
pH <sup>(1) (2)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017.	pH Value Electrometric Method
Temperatura <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2520 B, 24th Ed. 2023.	Salinity, Electrical Conductivity Method.
Turbidez <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed. 2017.	Turbidity. Nephelometric Method.
Aniones INACAL-DA <sup>(1)</sup>	EPA Method 300.0 Rev 2.1, 1993	Determination of inorganic anions by ion chromatography.

<sup>(1)</sup>EPA : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

<sup>(2)</sup>SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

<sup>(3)</sup>APHA : American Public Health Association

<sup>(4)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>(5)</sup> El Ensayo indicado no ha sido acreditado

<sup>(6)</sup> Ensayo realizado en campo (medido in situ)

**SEDE PRINCIPAL**  
Av. Guardia Chalaca N° 1877,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0756  
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

**SEDE ZARUMILLA**  
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

**SEDE AREQUIPA**  
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 616 843  
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

**SEDE PIURA**  
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,  
Castilla - Piura  
Telf.: (+073) 542 335  
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 2 de 9

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-13581**

N° Id.: 0000081769

**IV. RESULTADOS**

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-42864	M-23-42865	M-23-42866	M-23-42867			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	TRAT-01	TRAT-02	TRAT-03	TRAT-04			
COORDENADAS:	E:0268159	E:0268159	E:0268159	E:0268159			
UTM WGS 84:	N:8684511	N:8684511	N:8684511	N:8684511			
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural			
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Conductividad (**)	µS/cm	NA	0,01	779,00	742,00	876,00	745,00
pH (c) (**)	Unidad de pH	NA	NA	7,32	7,49	7,37	7,77
Temperatura (**)	(°C)	NA	NA	22,2	22,2	22,3	22,4
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	14,20	14,10	275,00	13,00
<b>Aniones INACAL-DA</b>							
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	<0,05	<0,05	17,66	0,49
P-Fosfato (*)	mg/L	0,04	0,10	1,05	0,92	<0,10	<0,10

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

(\*\*) pag1. El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "&lt;=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "&lt;=" Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

© L.C.M.: Valor Mínimo de Medición en el instrumento

 **SEDE PRINCIPAL**  
 Av. Guardia Chalaca N° 1877,  
 Bellavista - Callao  
 Telf.: (+01) 713 0756  
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

 **SEDE ZARUMILLA**  
 Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,  
 Bellavista - Callao  
 Telf.: (+01) 713 0636  
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

 **SEDE AREQUIPA**  
 COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,  
 Arequipa  
 Telf.: (+054) 616 843  
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

 **SEDE PIURA**  
 Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,  
 Castilla - Piura  
 Telf.: (+073) 542 335  
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág.3 de 9

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-13581**

N° Id.: 0000081769

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-42868	M-23-42869	M-23-42870	M-23-42871			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	TRAT-05	TRAT-06	TRAT-07	TRAT-08			
COORDENADAS:	E:0268159	E:0268159	E:0268159	E:0268159			
UTM WGS 84:	N:8684511	N:8684511	N:8684511	N:8684511			
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural			
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00			
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.M.</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>RESULTADOS</b>			
Conductividad (**)	µS/cm	NA	0,01	684,00	893,00	720,00	652,00
pH (c) (**)	Unidad de pH	NA	NA ©	7,96	7,42	7,83	8,40
Temperatura (**)	(°C)	NA	NA	22,2	22,2	22,3	22,4
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	12,20	130,00	10,80	12,50
<b>Aniones INACAL-DA</b>							
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	0,39	24,92	0,47	0,59
P-Fosfato (*)	mg/L	0,04	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

☐ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

☐ pag1. El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, \*<=> Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, \*<=> Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

© L.C.M.: Valor Mínimo de Medición en el Instrumento

📍 **SEDE PRINCIPAL**  
Av. Guardia Chalaca N° 1877,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0756  
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 **SEDE ZARUMILLA**  
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 **SEDE AREQUIPA**  
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 616 843  
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 **SEDE PIURA**  
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,  
Castilla - Piura  
Telf.: (+073) 542 335  
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 4 de 9

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-13581**

N° Id.: 0000081769

ITEM	9	10	11	12			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-42872	M-23-42873	M-23-42874	M-23-42875			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	TRAT-09	TRAT-10	TRAT-11	TRAT-12			
COORDENADAS:	E:0268159	E:0268159	E:0268159	E:0268159			
UTM WGS 84:	N:8684511	N:8684511	N:8684511	N:8684511			
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural			
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00			
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.M.</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>RESULTADOS</b>			
Conductividad (**)	µS/cm	NA	0,01	934,00	729,00	759,00	849,00
pH (c) (**)	Unidad de pH	NA	NA ©	7,83	7,42	7,59	7,25
Temperatura (**)	(°C)	NA	NA	22,3	22,3	22,4	22,2
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	17,40	12,40	11,70	305,00
<b>Aniones INACAL-DA</b>							
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	28,49	0,52	0,46	28,08
F-Fosfato (*)	mg/L	0,04	0,10	<0,10	0,38	2,26	<0,10

☐ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

☐ pag1. El Ensayo indicado no ha sido acreditado

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

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

NA: No Aplica

© L.C.M.: Valor Mínimo de Medición en el instrumento

📍 SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chalaca N° 1877,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0756  
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 SEDE AREQUIPA  
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 616 843  
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 SEDE PIURA  
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,  
Castilla - Piura  
Telf.: (+073) 542 335  
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 5 de 9

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-13581**

N° ID.: UUUU51/59

ITEM	13	14	15	16			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-42876	M-23-42877	M-23-42878	M-23-42879			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	TRAT-13	TRAT-14	TRAT-15	TRAT-16			
COORDENADAS:	E:0268159	E:0268159	E:0268159	E:0268159			
UTM WGS 84:	N:8684511	N:8684511	N:8684511	N:8684511			
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural			
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00			
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.M.</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>RESULTADOS</b>			
Conductividad (**)	µS/cm	NA	0,01	703,00	724,00	888,00	669,00
pH (c) (**)	Unidad de pH	NA	NA	7,34	7,61	7,82	7,82
Temperatura (**)	(°C)	NA	NA	22,2	22,3	22,2	22,4
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	11,60	10,40	10,50	10,50
<b>Aniones INACAL-DA</b>							
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	0,48	0,59	21,75	0,40
P-Fosfato (*)	mg/L	0,04	0,10	<0,10	0,37	<0,10	<0,10

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

(\*\*) pag1. El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "&lt;"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "&lt;"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

© L.C.M. :Valor Mínimo de Medición en el instrumento

 **SEDE PRINCIPAL**  
 Av. Guardia Chalaca N° 1877,  
 Bellavista - Callao  
 Telf.: (+01) 713 0756  
 Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

 **SEDE ZARUMILLA**  
 Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,  
 Bellavista - Callao  
 Telf.: (+01) 713 0636  
 Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

 **SEDE AREQUIPA**  
 COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,  
 Arequipa  
 Telf.: (+054) 616 843  
 Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

 **SEDE PIURA**  
 Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,  
 Castilla - Piura  
 Telf.: (+073) 542 335  
 Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 6 de 9

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-13581**

N° Id.: 000081769

ITEM	17	18	19	20			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-42880	M-23-42881	M-23-42882	M-23-42883			
CÓDIGO DEL CLIENTE	TRAT-17	TRAT-18	TRAT-19	TRAT-20			
COORDENADAS:	E:0268159	E:0268159	E:0268159	E:0268159			
UTM WGS 84:	N:8684511	N:8684511	N:8684511	N:8684511			
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural			
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Conductividad (**)	µS/cm	NA	0,01	694,00	912,00	743,00	648,00
pH (c) (**)	Unidad de pH	NA	NA ©	7,95	7,17	7,20	7,25
Temperatura (**)	(°C)	NA	NA	22,4	22,4	22,2	22,2
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	9,74	57,10	10,10	329,00
<b>Aniones INACAL-DA</b>							
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	0,49	34,28	0,51	24,85
P-Fosfato (*)	mg/L	0,04	0,10	<0,10	<0,10	1,10	<0,10

Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA  
pag1. El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, \*<= Menor que el L.C.M.  
L.D.M.: Límite de detección del método, \*<= Menor que el L.D.M.  
NA: No Aplica  
© L.C.M.: Valor Mínimo de Medición en el Instrumento

**SEDE PRINCIPAL**  
Av. Guardia Chalaca N° 1877,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0756  
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

**SEDE ZARUMILLA**  
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

**SEDE AREQUIPA**  
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 616 843  
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

**SEDE PIURA**  
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,  
Castilla - Piura  
Telf.: (+073) 542 335  
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 7 de 9

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-13581**

N° Id.: 0000081769

ITEM	21	22	23	24			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-42884	M-23-42885	M-23-42886	M-23-42887			
CÓDIGO DEL CLIENTE	TRAT-21	TRAT-22	TRAT-23	TRAT-24			
COORDENADAS:	E:0268159	E:0268159	E:0268159	E:0268159			
UTM WGS 84:	N:8684511	N:8684511	N:8684511	N:8684511			
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural			
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00			
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.M.</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>RESULTADOS</b>			
Conductividad (**)	µS/cm	NA	0,01	922,00	670,00	637,00	876,00
pH (c) (**)	Unidad de pH	NA	NA	7,33	7,56	7,58	7,64
Temperatura (**)	(°C)	NA	NA	22,2	22,2	22,3	22,4
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	44,80	7,88	836,00	129,00
<b>Aniones INACAL-DA</b>							
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	33,23	0,60	25,34	32,82
P-Fosfato (*)	mg/L	0,04	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

☐ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

☐ pag1. El Ensayo Indicado no ha sido acreditado

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

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

NA: No Aplica

© L.C.M.: Valor Mínimo de Medición en el Instrumento

📍 **SEDE PRINCIPAL**  
Av. Guardia Chalaca N° 1877,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0756  
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 **SEDE ZARUMILLA**  
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 **SEDE AREQUIPA**  
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 616 843  
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 **SEDE PIURA**  
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,  
Castilla - Piura  
Telf.: (+073) 542 335  
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 8 de 9

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-13581**

N° Id.: 0000081769

ITEM	25	26	27			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-42888	M-23-42889	M-23-42890			
CÓDIGO DEL CLIENTE	TRAT-25	TRAT-26	TRAT-27			
COORDENADAS:	E:0268159	E:0268159	E:0268159			
UTM WGS 84:	N:8684511	N:8684511	N:8684511			
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural			
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)	Agua Superficial (Laguna/Lago)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
FECHA y HORA DE MUESTREO :	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00	06-07-2023 15:00			
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.M.</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>RESULTADOS</b>		
Conductividad (**)	µS/cm	NA	0,01	718,00	672,00	873,00
pH (c) (**)	Unidad de pH	NA	NA ©	7,76	7,53	7,62
Temperatura (**)	(°C)	NA	NA	22,2	22,2	22,2
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	12,50	508,00	62,70
<b>Aniones INACAL-DA</b>						
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	0,68	16,11	16,98
P-Fosfato (*)	mg/L	0,04	0,10	<0,10	<0,10	<0,10

- Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA  
 El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, \*c\*= Menor que el L.C.M.  
L.D.M.: Límite de detección del método, \*c\*= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

© L.C.M. :Valor Mínimo de Medición en el instrumento

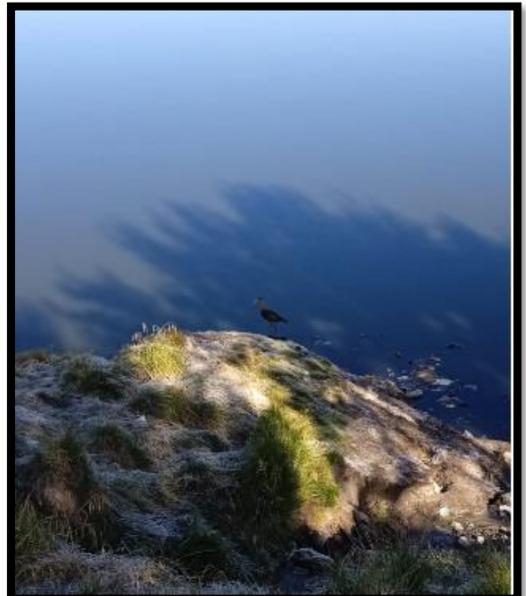
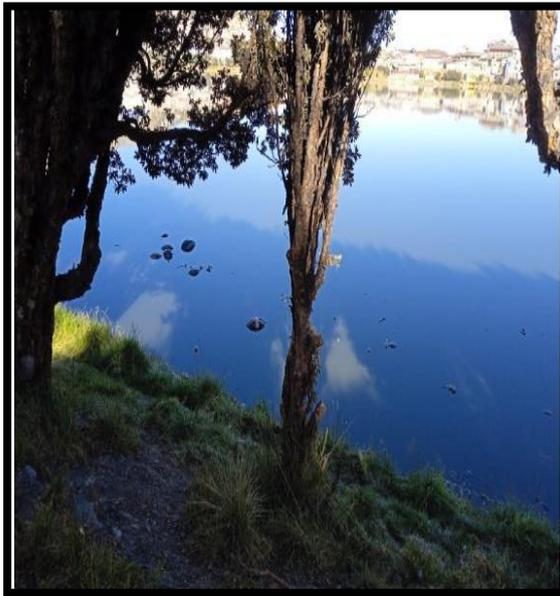
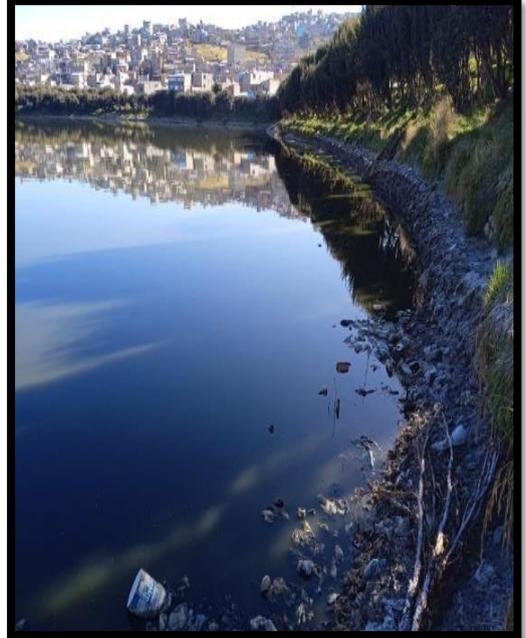
**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

## ANEXO 6. Registros fotográficos

Identificación del área de estudio



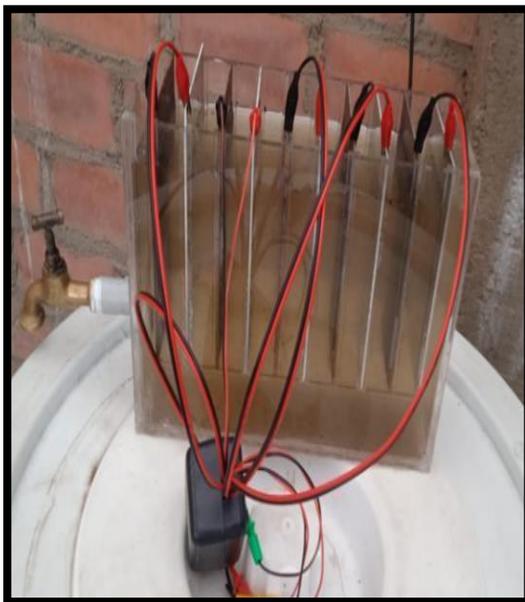
Toma de muestras de agua

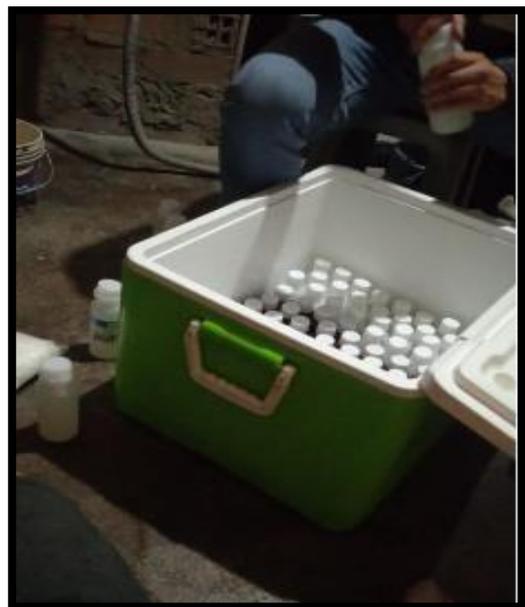


## Mediciones de ph y temperatura in situ



## Post tratamiento





## ANEXO 7. Certificado de registro de INACAL.

 <b>PERÚ</b>	<b>Ministerio de la Producción</b>	<b>Instituto Nacional de Calidad INACAL</b>	<b>Dirección de Acreditación</b>
			<i>"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres" "Año de la unidad, la paz y el desarrollo"</i>

San Isidro, 25 de julio de 2023

**CÉDULA DE NOTIFICACIÓN N°234-2023-INACAL/DA**

Señor  
**Marco Antonio Valencia Huerta**  
Representante Legal  
**ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.**  
Prolongación Zarumilla. Mz D2 Lt 3. Asociación Daniel Alcides Carrión. Bellavista  
**Callao.** -

Asunto : Otorgamiento de la Renovación de la Acreditación  
Referencia : Expediente N.º 00046-2023-DA-E

Cumplo con notificar lo siguiente: **VISTO** los resultados del proceso de renovación de la acreditación de:

- Laboratorio de ensayo: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
- Ubicado en:
  - Sede Guardia Chalaca: Av. Guardia Chalaca N°1877, Bellavista - Callao.
  - Sede Zarumilla: Prolongación Zarumilla. Mz. D2 Lote 3. Asociación Daniel Alcides Carrión, Distrito del Callao, provincia Constitucional del Callao – Bellavista
  - Sede Piura: Urbanización Miraflores Mz G Lote 17 – II Etapa, distrito de Castilla provincia y departamento de Piura

**Y CONSIDERANDO** que el Comité Permanente de Acreditación en sesión de fecha 21 de julio de 2023 revisó el expediente de renovación respectivo, el cual encontró conforme, por lo que se ha concluido que el Laboratorio de Ensayo cumple los requisitos respectivos de la NTP ISO/IEC 17025:2017 y los documentos normativos de la Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad<sup>1</sup>, por tanto de conformidad con la aprobación del Comité Permanente de Acreditación que consta en el acta<sup>2</sup> de fecha 21 de julio de 2023. **SE RESUELVE OTORGAR** a **Analytical Laboratory E.I.R.L.**, la **RENOVACIÓN** solicitada, según lo establecido en numeral 5.15 del Procedimiento General de Acreditación.

Asimismo, **COMUNÍQUESE** lo siguiente:

- a. La renovación de la acreditación tiene una vigencia de cuatro (04) años, siendo la fecha de inicio de la renovación el 26 de julio de 2023.
- b. Se remite un (01) ejemplar de la Adenda N°04 del contrato N°025-16/INACAL-DA por vía electrónica, el cual deberá ser suscrito por el representante legal.
- c. A fin de remitir el Certificado de Renovación de la acreditación otorgada, deberá devolver al INACAL-DA el ejemplar de la adenda de contrato debidamente firmado<sup>3</sup>.

Lo que notifico a usted conforme a Ley.

Atentamente.



Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lidia  
Patricia FAU 20860283910 u0m  
Fecha: 2023-07-26 10:52:20  
Motivo: Soy el Autor del Documento

**PATRICIA AGUILAR RODRIGUEZ**  
Directora (d.t.)  
Dirección de Acreditación

JAPECOKDA  
Adj: Informe Ejecutivo N° 265-2023-DA  
Adenda N°04 del contrato N° 025-16/INACAL-DA

<sup>1</sup> INACAL-DA  
<sup>2</sup> Acuerdo N°17-CPA-21-2023  
<sup>3</sup> La adenda debe ser visado en todas las páginas, excepto en la última página.

Calle Las Camelias N° 817 - San Isidro, Lima -Perú  
Teléfono (511) 640 8820  
www.inacal.gob.pe

