



**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

“APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS Y SU  
IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NITRATOS Y  
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE  
FUENTES FIJAS OBTENIDAS POR LA EMPRESA AQUA NOA,  
PACHACAMAC, 2018”

PRESENTADO POR LA BACHILLER:

HENRRY CELSO GONZALES HUAYANAY

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL

LIMA – PERÚ

ABRIL 2019

**DEDICATORIA**

A mi familia y en especial a mi madre quien es la que me empuja a cumplir con mis metas propuestas.

El Autor

**AGRADECIMIENTO**

A Dios, por brindarme salud y sabiduría.

A mi familia, por ser mi impulso.

Al representante de AQUA NOA. por permitirme realizar la investigación en la Planta de Tratamiento de Aguas

A la Universidad por brindarme los conocimientos esenciales para el desarrollo de mi carrera.

El Autor

## INDICE

	PAG. N°
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii

## CAPITULO I

<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	PAG. N°
<b>1.1. CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA</b>	14
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>	14
1.2.1. Problema General	14
1.2.2. Problema Especifico	14
<b>1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	15
1.3.1. Objetivo General	15
1.3.2. Objetivo Especifico	15
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</b>	15
<b>1.5. IMPORTANCIA</b>	16
<b>1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN</b>	16

**CAPITULO II****MARCO TEÓRICO- CONCEPTUAL**

	PAG. N°
<b>2.1. MARCO REFERENCIAL</b>	17
<b>2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b>	17
<b>2.2. MARCO LEGAL</b>	21
<b>2.2.1. LEY GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE N° 28611</b>	21
<b>2.2.2. DECRETO SUPREMO N° 031-2010-SALUD : REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.</b>	21
<b>2.3. MARCO CONCEPTUAL</b>	22
<b>2.3.1. ELECTROLISIS</b>	22
<b>2.3.2. IONIZADOR</b>	22
<b>2.3.3. pH</b>	22
<b>2.3.4. SST</b>	22
<b>2.3.5. NITRATOS</b>	22
<b>2.3.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)</b>	22
<b>2.3.7. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)</b>	22
<b>2.3.8. DISPOSICIÓN FINAL</b>	23
<b>2.3.9. EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO</b>	23
<b>2.3.10. EFLUENTE</b>	23
<b>2.3.11. FILTRACIÓN</b>	23
<b>2.3.12. GRADO DE TRATAMIENTO</b>	23
<b>2.3.13. MANEJO DE AGUAS RESIDUALES</b>	23
<b>2.3.14. TRATAMIENTO CONJUNTO</b>	23

<b>2.3.15.</b>	<b>TRATAMIENTO PRIMARIO</b>	23
<b>2.3.16.</b>	<b>TRATAMIENTO QUIMICO</b>	23
<b>2.3.17.</b>	<b>TRATAMIENTO SECUNDARIO</b>	23
<b>2.3.18.</b>	<b>TRATAMIENTO TERCARIO</b>	24
<b>2.3.19.</b>	<b>VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA)</b>	24
<b>2.3.20.</b>	<b>VERTIMIENTO</b>	24
<b>2.4.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	24
<b>2.4.1.</b>	<b>TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS (EN AGUAS CONTAMINADAS)</b>	24
<b>2.4.1.1.</b>	La Electroquímica como base teórica.	24
<b>2.4.1.2.</b>	Reacciones Electroquímicas.	25
<b>2.4.1.3.</b>	La Electrolisis como tratamiento de descontaminación base de aguas.	27
<b>2.4.1.4.</b>	Ionizador de aguas para usos domésticos e industriales	28
<b>2.4.2.</b>	<b>REMOCION DE NITRATOS Y SOLIDOS DISUELTOS EN AGUAS SUBTERRANEAS DE FUENTES FIJAS</b>	29
<b>2.4.2.1.</b>	Agua Fuente	29
<b>2.4.2.2.</b>	Suministro de Aguas	29
<b>2.4.2.3.</b>	Impurezas del agua	29
<b>2.4.2.4.</b>	Tipos de Aguas	30
<b>2.4.2.5.</b>	Dureza del Agua	30
<b>2.4.2.6.</b>	Clasificación de las Aguas naturales según su concentración salina (Totales de Solidos Disueltos)	30
<b>2.4.2.7.</b>	Intercambio Iónico (para procesos de electrolisis)	31
<b>2.4.2.8.</b>	Remoción de Nitratos en Agua	31

<b>2.4.2.9.</b>	Remoción de Solidos Disueltos Totales en Aguas	35
-----------------	--	----

## **CAPITULO III**

<b>FUNDAMENTOS METODOLOGICOS</b>		<b>PAG. N°</b>
<b>3.1.</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	36
<b>3.1.1.</b>	Método	36
<b>3.1.2.</b>	Tipo	36
<b>3.1.3.</b>	Nivel	36
<b>3.2.</b>	<b>DISEÑO</b>	36
<b>3.3.</b>	<b>VARIABLES</b>	37
<b>3.3.1.</b>	Tratamiento de Electrolisis (en aguas contaminadas)	37
<b>3.3.2.</b>	Remoción de Nitratos y Solidos Disueltos Totales en Aguas Subterráneas de Fuentes Fijas	38
<b>3.4.</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	39
<b>3.4.1.</b>	Hipótesis General	39
<b>3.4.2.</b>	Hipótesis Especificas	39
<b>3.5.</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b>	39
<b>3.5.1.</b>	Población	39
<b>3.5.2.</b>	Muestra	39
<b>3.6.</b>	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ACOPIO DE INFORMACIÓN</b>	40
<b>3.6.1.</b>	Técnicas	40
<b>3.6.2.</b>	Instrumentos	40
<b>3.6.3.</b>	Validez y Confiabilidad	40
<b>3.6.4.</b>	Procedimiento y Análisis de la Información	41

<b>3.6.4.1.</b>	Metodología de Trabajo	41
<b>3.6.4.2.</b>	Metodología de Análisis de Datos	45
<b>3.6.5.</b>	<b>Contraste o Comprobación de la hipótesis</b>	45
<b>3.6.6.</b>	<b>Cronograma de Realización de Investigación</b>	46

## **CAPITULO IV**

### **ORGANIZACIÓN, PRESENTACION Y ANALISIS DE**

#### **RESULTADOS**

PAG. N°

4.1	Resultados	47
	Análisis de parámetros fisicoquímicos de la muestra de fuente fija de Agua Subterránea	47
4.2	Análisis Estadístico	48
4.3	Resultados de la Electrolisis como Tratamiento	49
4.4	Porcentaje de Eficiencia de Tratamiento de Electrolisis en Remoción de Nitratos y Solidos Disueltos Totales	51
4.5	Discusión de Resultados	53
4.6	Análisis Económico	54
4.7	Contrastación de Hipótesis	55
	CONCLUSIONES	57
	RECOMENDACIONES	58
	REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS	59
	ANEXOS	61
	<b>ANEXO 1:</b> Matriz De Operacionalización de Variables y de Consistencia de la Investigación.	62

<b>ANEXO 2:</b> Evidencias fotográficas.	65
<b>ANEXO 3:</b> Cadena de custodia inicial.	69
<b>ANEXO 4:</b> Cadena de custodia Final.	70
<b>ANEXO 5:</b> Modelo de Ficha de Registro de Observación de datos de Laboratorio.	71
<b>ANEXO 6:</b> Resultados de Análisis de laboratorio muestra inicial y en puntos después del tratamiento de electrolisis en los laboratorios de la empresa. MINLAB S.R.L.	72
<b>ANEXO 7:</b> Certificado de acreditación del laboratorio MINLAB S.R.L.	73
<b>ANEXO 8:</b> Diagrama de flujo del proceso realizado en la tesis	74
<b>ANEXO 9:</b> Presupuesto de la implementación del proceso	76

## INDICE DE TABLAS

	PAG. N°
<b>TABLA N°01:</b> RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUA DE FUENTE FIJA	47
<b>TABLA N°02:</b> RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS PARA REMOCION DE NITRATOS Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES CON CONTROL DE AMPERAJE DE IONIZADOR	50
<b>TABLA N°03:</b> PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCION DE NITRATOS Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES EN LOS TRATAMIENTOS	51
<b>TABLA N°04:</b> MATERIALES	54
<b>TABLA N°05:</b> SERVICIOS	54
<b>TABLA N°06:</b> PRESUPUESTO	54
<b>TABLA N°07:</b> CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS VS RESULTADOS	55

## INDICE DE CUADROS

	PAG. N°
<b>CUADRO N°01:</b> CLASIFICACION DE LA DUREZA DE UN AGUA	30
<b>CUADRO N°02:</b> CLASIFICACION DE AGUAS SEGÚN SUS SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	31
<b>CUADRO N°03:</b> RESULTADOS DE LA PRUEBA ALFA DE CRONBACH	40
<b>CUADRO N°04:</b> ESCALA DE INTERPRETACION SEGÚN ALFA DE CRONBACH	41

## INDICE DE ESQUEMAS

	PAG. N°
<b>ESQUEMA N°01:</b> PROCESO DE ELIMINACION DE NITRATOS	34
<b>ESQUEMA N°02:</b> ESQUEMA DE TRABAJO	37

## INDICE DE FIGURAS

	PAG. N°
<b>FIGURA N°01:</b> TOMA DE MUESTRA DEL AGUA SUBTERRANEA EN PUNTO FIJO	42
<b>FIGURA N°02:</b> TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE 2 m <sup>3</sup> Y BOMBA DE AGUA DE POTENCIA TIPO A	42
<b>FIGURA N°03:</b> FILTROS QUE CONTIENEN CARBON ACTIVADO	43
<b>FIGURA N°04:</b> PRIMER MONITOREO DEL AGUA DESPUES DEL FILTRADO	43
<b>FIGURA N°05:</b> IONIZADOR DE AGUA EN DONDE SE DA EL PROCESO DE ELECTROLISIS OBSERVESE EL CONTROLADOR DE AMPERAJE DEL IONIZADOR	44

## INDICE DE GRAFICOS

	PAG. N°
<b>GRAFICO N°01:</b> ANALISIS DE NORMALIDAD DE FISHER	48
<b>GRAFICO N°02:</b> ANALISIS DE TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS EN AGUA FUENTE FIJA A DIFERENTES AMPERAJES EN BASE A ANALISIS DE NITRATOS Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	50
<b>GRAFICO N°03:</b> PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCION DE TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS DE NITRATOS Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	52

## RESUMEN

La industria de producción de aguas para uso humano (agua de mesa) es una de las industrias comprometidas en el tratamiento de aguas tanto residuales como de consumo humano, lo que permite experimentar e implementar en el desarrollo de técnicas que mejoren eficientemente la calidad de las aguas apuntando hacia el consumo humana como base.

La investigación que se presenta tiene como objetivo reducir la concentración de la Nitratos y sólidos disueltos totales, mediante el tratamiento de electrolisis (realizado en un Ionizador), en el cual por medio del control del amperaje en el proceso de electrolisis permite disminuir la carga de nitratos y sólidos suspendidos totales, por lo tanto, el agua queda libre de estos contaminantes para los siguientes procesos a tratar ya que se detectó que las fuentes de agua subterránea fija presentan elevados indicadores en lo concerniente a Nitratos y Solidos Disueltos Totales comprados con el Estándar de Calidad Ambiental de Agua Vigente .

La experimentación del trabajo de investigación se realizó con una muestra de un punto de extracción de agua subterránea (fuente fija) teniendo como valor de concentración inicial de Nitratos de 67mg / L. y Sólidos Disueltos Totales de 1100mg / L. Después de haber sido sometida el agua al tratamiento de electrolisis en un Ionizador ( de placas de Titanio y Rutenio) a un amperaje graduado en el proceso de 22 Amperios, en un tiempo de 90 minutos se obtuvo como resultado final que la concentración de Nitratos fue 7mg / L y los Sólidos Disueltos Totales 72mg / L, con una eficiencia de remoción en nitratos de 90% y en solidos disueltos totales de 94% mejorando la calidad agua significativamente como también para la reutilización para otro tipo de uso.

**Palabras Clave:** Electrolisis, Nitratos, Solidos Disueltos Totales, Tratamiento de Aguas

## ABSTRACT

The industry of production of waters for human use (table water) is one of the industries engaged in the treatment of both wastewater and human consumption, which allows experimentation and implementation in the development of techniques that efficiently improve the quality of water. waters pointing towards human consumption as a base.

The research presented aims to reduce the concentration of Nitrates and total suspended solids, by means of the electrolysis treatment (carried out in an ionizer), in which by means of the amperage control in the electrolysis process it allows to reduce the load of nitrates and total suspended solids, therefore, the water is free of these contaminants for the following processes to be treated since it was detected that the sources of fixed groundwater present high indicators with regard to Nitrates and Total Suspended Solids purchased with the Standard of Environmental Quality of Water in Force.

Experimentation of the research work was carried out with a sample of an underground water extraction point (fixed source) having as initial concentration value of 67mg / L Nitrates and Total Dissolved Solids of 1100mg / L. The water was submitted to the electrolysis treatment in an ionizer (of Titanium and Ruthenium plates) at an amperage graduated in the 22 Ampere process, in a time of 90 minutes it was obtained as a final result that the concentration of Nitrates was 7 mg / L and Total Dissolved Solids 72mg / L, with a nitrate removal efficiency of 90% and in total suspended solids of 94%, improving water quality significantly as well as for reuse for another type of use.

**Keywords:** Electrolysis, Nitrates, Total Dissolved Solids, Water Treatment

## INTRODUCCIÓN

La preservación del medio ambiente no solo consiste en el vertimiento de desperdicios indeseables, sino también en el cuidado y ahorro del recurso hídrico.

El agua es uno de los recursos naturales de gran importancia e indispensable para la vida de cada ser vivo, teniendo en cuenta que el 70% de este recurso cubre la mayor parte de la superficie terrestre.

En los últimos años el desarrollo industrial en nuestro país ha incrementado, generando la mayor demanda de producción, y el consumo del recurso hídrico para el proceso y elaboración de sus productos y/o derivados, sin embargo el crecimiento de los efluentes de las Industrias es un daño potencial ambiental, teniendo en cuenta que el 70% de los restos de residuos y sustancias tóxicas generadas en la producción se vierten directamente al mar, río u otro cuerpo receptor sin ningún tipo de tratamiento previo generando un impacto negativo.

La extracción de agua para uso industrial, a pesar de su volumen relativamente pequeño, se ha convertido en un factor importante tanto por la gran competencia con otros usuarios por el abastecimiento de agua, como por la cantidad y diversidad de contaminantes que descarga.

En general las plantas de tratamiento de agua en el país están basadas en tecnologías convencionales como el tratamiento físico químico el cual utiliza coagulantes primarios como el Sulfato de Aluminio o Sales de hierro para el proceso de coagulación y polímeros sintéticos los cuales pueden ser contaminados durante su proceso de fabricación con monómeros u otras sustancias tóxicas, entre las cuales se encuentra la acrilamida y de ahí pueden reaccionar con las demás sustancias químicas añadidas al agua durante su tratamiento, como tal es el caso del ozono y del cloro, generando sustancias peligrosas para la salud. (Pérez Carrión, 1992). Otro tipo de tratamiento muy difundido en el país es el biológico (lodos activados), y si bien es cierto es eficiente presenta un elevado costo en su operación y mantenimiento, además de ser muy sensible ya que la depuración de las aguas es realizada por bacterias las cuales dependen de determinadas condiciones de pH y carga orgánica.

Lo que pretende mostrar este trabajo es un proceso para eliminar Nitratos y Sólidos Disueltos Totales que se presentan en un agua de fuente subterránea, para así poder obtener un agua con características más cercanas a la de consumo humano óptima o también tener aguas que se puedan usar para otros usos adicionales.

## Capítulo I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA.

Ante la problemática descrita anteriormente, una solución es la electrolisis, la cual es una tecnología de muy poca aplicación en el país, que tiene como ventajas no usar coagulantes como el sulfato de aluminio, así como polímeros sintéticos los cuales encarecen los costos del tratamiento. Es por ello que su utilización en el tratamiento de agua se hace necesaria e imprescindible teniendo en cuenta las realidades socio-económicas de nuestro país.

En este sentido la presente investigación pretende utilizar la electrolisis como una tecnología de tratamiento de agua residual proveniente de la industria, minimizando el empleo de coagulantes sintéticos, reduciendo los impactos ambientales y esperando obtener una mejor calidad de agua tratada ya sea para cumplir la normativa ambiental vigente o para ser reutilizada en sus procesos industriales.

#### 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

##### 1.2.1. Problema general.

¿En que medida el sistema de electrolisis removerá las concentraciones de Nitratos ( $N-NO_3^-$ ) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea de fuente fija obtenida por la empresa AQUA NOA aplicando el método de electrolisis ubicada en Pachacamac, Lima, 2018?

##### 1.2.2. Problemas específicos.

- A. ¿Cuáles serán las concentraciones de Nitratos ( $N-NO_3^-$ ) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea obtenida de fuente fija obtenidas por la empresa AQUA NOA aplicando el método de electrolisis ubicada en Pachacamac, Lima, 2018?
- B. En cuanto reducirá las concentraciones de Nitratos ( $N-NO_3^-$ ) y Solidos Disueltos Totales (TDS) si se incrementan progresivamente los amperajes en

el sistema de tratamiento por electrolisis del agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018?

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

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

Evaluar el tratamiento de Nitratos ( $N-NO_3^-$ ) y solidos disueltos totales (TDS) mediante el método de electrolisis del agua subterránea utilizada por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, Lima 2018

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- A. Determinar las concentraciones de Nitratos ( $N-NO_3^-$ ) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA aplicando el método de electrolisis ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.
- B. Determinar el amperaje ideal de trabajo en el sistema de tratamiento por electrolisis para la remoción de Nitratos ( $N-NO_3^-$ ) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

La gran problemática ambiental que se está dando a raíz de diferentes actividades antrópicas está degradando los recursos naturales por un vertimiento de efluentes sin algún tratamiento, nos vemos en emplear de nuevas alternativas tecnológicas y económicas que nos permitan mitigar contaminantes. Diversos estudios demuestran que la electrolisis y métodos asociados a la separación o encapsulamiento electroquímico dan buenos resultados para la reducción de contaminante, razón que ha propiciado que el presente trabajo de investigación con el interés en el uso de la electrolisis básicamente en aguas subterráneas que serán usadas para procesos dispendio de aguas embotelladas, esto permitirá evaluar su eficiencia, como determinar si presenta mejora en las característico fisicoquímicos , básicamente en los parametros a analizar.

### **1.5. IMPORTANCIA.**

Por lo tanto, por medio de este trabajo de investigación que se realizará tiene el propósito de comprobar si la aplicación del tratamiento de electrolisis reducen las cantidades de nitratos y Solidos Disueltos Totales en el agua a tratar de forma que estos parámetros se encuentren establecidos de acuerdo a la normativa vigente.

### **1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Definitivamente una de las grandes limitaciones que presento la investigación en todo su desarrollo fue el factor económico ya que la investigación presenta una serie de análisis que se deben realizar y los recursos económicos fueron pocos lo que demoro el desarrollo de la investigación pero sin mucho contratiempo.

## Capítulo II

### MARCO TEÓRICO- CONCEPTUAL

#### 2.1. MARCO REFERENCIAL.

##### 2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

- **Según Martínez.F (2008)**, en su tesis doctoral titulada:” TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN Y COAGULACIÓN CONVENCIONAL”, se pretende evaluar el rendimiento de estas dos tecnologías al tratar aguas residuales industriales. Existen numerosos tipos de aguas y aguas residuales (las aguas de abastecimiento, efluentes industriales consistentes en suspensiones coloidales, aguas residuales contaminadas con macromoléculas orgánicas disueltas o las emulsiones de aceite en agua (O/W)) susceptibles de ser tratadas mediante coagulación, una operación dirigida a la consecución de la desestabilización de los contaminantes mediante su interacción con un reactivo (generalmente, sales de  $Fe_{(III)}$  y de  $Al_{(III)}$ ). Esta operación puede complementar, en el tratamiento de un agua, a operaciones convencionales de separación sólido-líquido (flotación, decantación, etc.). En este contexto, una alternativa novedosa a la adición de disoluciones de sales de  $Fe_{(III)}$  y de  $Al_{(III)}$  es la generación de estos compuestos in situ, mediante la disolución de láminas metálicas de hierro o aluminio. Para ello, se utilizan las planchas de hierro o de aluminio como ánodos de una celda electroquímica, y se controla la velocidad de aparición de estos componentes modificando la intensidad de corriente que se hace circular por la celda. Este proceso se conoce como electrocoagulación y, en principio, sus defensores aseguran que permite un mejor control en la dosificación de reactivos, y un ahorro significativo en los costes de operación.

Para finalizar, es importante comentar que los resultados obtenidos en los estudios experimentales se han abstraído mediante el desarrollo de dos modelos matemáticos. Un primer modelo, simula los resultados obtenidos en las condiciones operativas en las que tiene lugar la electrodisolución de electrodos de aluminio, y considera, para justificar adecuadamente los procesos de corrosión de los electrodos, un patrón de flujo altamente segregado para la descripción

fluido dinámica de la celda, y que el pH en la superficie de los electrodos difiere de forma significativa del pH medido en la celda. El segundo modelo, simula los resultados obtenidos en los procesos de coagulación convencional y electroquímica de los tres tipos de aguas residuales estudiadas en la tesis, modelados por medio de aproximaciones de pseudo equilibrio. Para ello, considera una descripción fluidodinámica macroscópica de la celda, las especies de aluminio generadas, y los mecanismos de coagulación predominantes en cada sistema. Ambos modelos han sido validados con los resultados obtenidos en los estudios anteriormente citados, confirmándose la validez de las suposiciones utilizadas por los elevados coeficientes de correlación obtenidos.

- **Para Gilpavas, E. & Arbeláez, E. & Sierra, L. & White, C. & Oviedo, C. & Restrepo, P. (2008)**, en su investigación Titulada: “APLICACIÓN DE LA ELECTROQUÍMICA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES” En este estudio se evaluó la electrocoagulación como tratamiento para aguas residuales del proceso de curtición de una curtiembre y de aguas residuales provenientes del proceso de teñido en un floricultivo. Los experimentos e llevaron a cabo en un reactor a escala laboratorio con configuración monopolar con electrodos de hierro y aluminio que operaba de modo discontinuo (batch).

Para el caso del  $\text{Cr}^{+3}$ , se realizaron ensayos preliminares con un volumen de muestra de 150 ml, un área de electrodos sumergida de  $27 \text{ cm}^2$  y un tiempo de residencia de 30 minutos y se determinaron los valores óptimos de la agitación y la separación entre electrodos, encontrándose valores de agitación de 370 rpm y separación entre electrodos de 5 mm. En el diseño de experimentos final se evaluó la concentración inicial de la muestra, el voltaje y el tipo de electrodos. Las condiciones óptimas obtenidas a partir del análisis estadístico fueron 13 voltios, Agitación 382 rpm, electrodos de Al, concentración inicial de la solución 2364,57 ppm y distancia entre electrodos de 5 mm. Con las condiciones óptimas se validó el modelo, tanto para la solución diluida (2364,57 ppm) como para la solución natural (5456,7 ppm) y se evaluó la cinética para la remoción de  $\text{Cr}^{+3}$  y remoción de DQO y COT, además de  $\text{DBO}_5$  para antes y después del tratamiento. Se trató un volumen de 500 ml de solución durante un tiempo de reacción de 60 minutos. Para la muestra natural se presentó una remoción de  $\text{Cr}^{+3}$  del 71.98%, remoción de DQO del 50.67%, remoción de TOC del 19% y un aumento en la

biodegradabilidad del agua del 72.88%. La solución diluida presentó una remoción de  $\text{Cr}^{+3}$  del 99,76%, remoción de la DQO del 60%, remoción de TOC 51,23% y un aumento en la biodegradabilidad del agua del 77,22%.

Para las aguas del floricultivo, los ensayos fueron llevados a cabo con un volumen de muestra de 700 ml, agitación de 370 rpm, una separación y área de los electrodos de 5 mm y  $62.8\text{cm}^2$  respectivamente. Los efectos de la conductividad, concentración inicial de la muestra y la corriente, fueron evaluados sobre el porcentaje de remoción de color, DQO,  $\text{DBO}_5$  y COT, para un tiempo de residencia de 10 minutos. Debido a que bajo las condiciones evaluadas, los tratamientos con electrodos de hierro presentaron mayores porcentajes de remoción de color (100%) en comparación con los electrodos de aluminio (49.7%), se realizaron los ensayos con las condiciones óptimas de operación utilizando electrodos de hierro, reportando un porcentaje de remoción de DQO de 59.31% y una decoloración del 97.23% para un tiempo de 8 minutos. Adicionalmente, el porcentaje de remoción de COT fue de un 41.81%, para el tiempo de residencia empleado en los ensayos.

- **Para Arango, A. (2005)**, en su investigación titulada: “LA ELECTROCOAGULACION: UNA ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES” se presenta como uno de los desafíos mayores que enfrenta hoy la humanidad es proporcionar agua limpia a una inmensa mayoría de la población mundial. Por ello, hay una necesidad urgente de desarrollar técnicas innovadoras, más eficaces y económicas para el tratamiento de aguas residuales. La electrocoagulación, una tecnología conocida desde principios del siglo XX, ha evolucionado, siendo eficazmente aplicada en la actualidad para el tratamiento de las aguas residuales de la industria del papel, la minería y la industria de metales pesados. Además, la electrocoagulación se ha aplicado para tratar agua que contiene la pérdida de alimentos, grasas, tintes, partículas suspendidas, entre otros. Desde esta perspectiva, la electrocoagulación se convierte en un proceso electroquímico que puede tener resultados exitosos en su aplicación, optimizando los factores que lo conforman, alcanzando el reto de proteger, conservar y recuperar el recurso hídrico.

- **Para Gonzales, M. (2018)**, en su tesis de maestría titulada: “DESCONTAMINACIÓN Y DESINFECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE TECNOLOGÍA ELECTROQUÍMICA.” se establece en el trabajo de tesis el estudio de los procesos de oxidación avanzada, principalmente el uso de electrodos llamados Ánodos Dimensionalmente Estables (DSA), debido a que se caracterizan en la formación de especies de cloro, como el ion hipoclorito que son generados in situ. El principal interés es usar estos electrodos en aguas provenientes de lavado de autos, estas aguas residuales contienen cloruros que son compuestos necesarios para la electrogeneración de hipoclorito de sodio. Ésta característica que tienen los electrodos DSA es de suma importancia para el estudio de la desinfección de aguas residuales, debido a que las bacterias son susceptibles a especies de cloro y principalmente el hipoclorito. Existe un interés en encontrar las condiciones de control ideales, para realizar un tren de tratamiento y poder aplicarlo.

Se encontraron las mejores condiciones para una electrooxidación, las cuales son ácidas y con asistencias de luz UV-C (254 nm), ya que provoca una mayor rapidez en la formación de especies desinfectantes.

El análisis de TOC para el tren de tratamiento de electrocoagulación, electrooxidación y fotocátalisis, muestra que el proceso de fotocátalisis es mucho más rápido y efectivo, la remoción con 20 minutos es del 21.5% y para los procesos de electrooxidación con  $Ti-IrO_2-RuO_2$  y  $Ti-IrO_2-Ta_2O_5$  es del 57.24% y 21.5%, respectivamente; los procesos de electrooxidación tienen una duración de tres horas para formar la mayor cantidad de especies desinfectantes.

- **Para Caviedes,D. & Muñoz,R. & Perdomo,A. & Rodriguez,D. & Sandoval,I.(2015)**, en su investigación titulada : “TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS COMÚNMENTE PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. UNA REVISIÓN” presenta una revisión de algunas características toxicológicas de metales pesados, sus fuentes industriales, los niveles permisivos de vertimiento y 20 diferentes técnicas subdivididas en convencionales y no convencionales empleadas para la remoción de metales pesados en medios hídricos, así como las condiciones fisicoquímicas en las que estos tratamientos han presentado mejores eficiencias de remoción.

Verificando en la revisión que la mayor remoción en un porcentaje mayor a 99% se da en los metales Cu y Fe al aplicar electrolisis, presentando la mayor efectividad en estos metales pero presentando un problema grande en consumo de energía eléctrica según la revisión realizada.

## **2.2. MARCO LEGAL.**

El trabajo de investigación está enmarcado dentro del ámbito agua subterráneas en fuentes fijas que sufrirán un tratamiento base para poder estar a condiciones óptimas para usos posteriores que implican mejoras en su calidad. Existen aspectos legales que deben tomarse en cuenta para no transgredir las leyes nacionales, por lo que se hace referencia a aquellas leyes que tienen relación con el tema.

### **2.2.1 LEY GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE N° 28611**

**En el artículo 31,** Estándares de calidad Ambiental (ECAS) como medidas que establece la concentración o grados de elementos, sustancia o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua o suelo en su condición de cuerpo receptor que no presente riesgo para la salud en las personas ni al ambiente.

### **2.2.2 D.S. N° 031-2010-SALUD : REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.**

En la norma se establecen los límites en los cuales los contaminantes de una fuente de agua debe presentar permitiendo evaluar su calidad frente al consumo humano básico

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL.

- 2.3.1. ELECTROLISIS.** - Es una técnica de descontaminación que puede remover componentes iónicos de soluciones acuosas empleando membranas permeables selectivas en un campo eléctrico constante (Guastalli, et al; 2004). Esta técnica tiene la capacidad de remover iones contaminantes cargados de hasta 0,0001  $\mu\text{m}$ , mediante hojas o laminas porosas de resinas de intercambio iónico con una baja permeabilidad relativa para el agua (Taylor & Wiesner, 2002). Tabla 3.
- 2.3.2. IONIZADOR.** – Es el reactor donde se realizara el proceso de electrolisis ya que la separación electrolítica genera separación de iones que se ubicarán en las láminas o placas de resina en la cual se constituirán como placa anódica y placa catódica en el caso de la investigación de Titanio y Rutenio
- 2.3.3. pH.** - Escala de medida entre 1 – 14 según el grado de acidez o alcalinidad en una solución acuosa. (Orozco C.2010)
- 2.3.4. TDS.** - Es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro-granular (Orozco C.2010),
- 2.3.5. NITRATOS** - Los nitratos generalmente se mueven lentamente en el suelo y las aguas subterráneas: existe un lapso de tiempo de aproximadamente 20 años entre la actividad de contaminación y la detención de contaminantes en el subsuelo y aguas subterráneas. Por esta razón, se predice que las actividades actuales de contaminación continuaran afectando a niveles de nitrato por varias décadas. De cualquier modo si la presión del acuífero es alta, el transporte puede ser muy rápido dentro de la zona de saturación. (LENNTECH , 2018)
- 2.3.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO).**- Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C). (NORMA OS. 090, 2006)
- 2.3.7. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO).**- Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua

residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio. (NORMA OS. 090, 2006)

- 2.3.8. DISPOSICIÓN FINAL.-** Disposición del efluente o del lodo tratado de una planta de tratamiento. (NORMA OS. 090, 2006)
- 2.3.9. EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO.-** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje. (NORMA OS. 090, 2006)
- 2.3.10. EFLUENTE.-** Líquido que sale de un proceso de tratamiento. (NORMA OS. 090, 2006)
- 2.3.11. FILTRACIÓN.-** Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso. (Vargas, 2004)
- 2.3.12. GRADO DE TRATAMIENTO.-** Eficiencia de remoción de una planta de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los requisitos de calidad del cuerpo receptor o las normas de reúso. (NORMA OS. 090, 2006)
- 2.3.13. MANEJO DE AGUAS RESIDUALES.-** Conjunto de obras de recolección, tratamiento y disposición y acciones de operación, monitoreo, control y vigilancia en relación a las aguas residuales. (NORMA OS. 090, 2006)
- 2.3.14. TRATAMIENTO CONJUNTO.-** Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales en la misma planta. Sirve para dimensionar un sistema de remoción (NORMA OS. 090, 2006)
- 2.3.15. TRATAMIENTO PRIMARIO.-** Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta. (NORMA OS. 090, 2006)
- 2.3.16. TRATAMIENTO QUÍMICO.-** Aplicación de compuestos químicos en las aguas residuales para obtener un resultado deseado; comprende los procesos de precipitación, coagulación, floculación, acondicionamiento de lodos, desinfección, etc. (NORMA OS. 090, 2006)
- 2.3.17. TRATAMIENTO SECUNDARIO.-** Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión. (NORMA OS. 090, 2006)

- 2.3.18. TRATAMIENTO TERCIARIO.-** Proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico para alcanzar un grado de tratamiento superior al tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros como:
- remoción de sólidos en suspensión (microcribado, clarificación química, filtración, etc.);
  - remoción de complejos orgánicos disueltos (adsorción, oxidación química, etc.);
  - remoción de compuestos inorgánicos disueltos (destilación, electrodiálisis, intercambio iónico, ósmosis inversa, precipitación química, etc.);
  - remoción de nutrientes (nitrificación-denitrificación, desgasificación del amoníaco, precipitación química, asimilación, etc.). (NORMA OS. 090, 2006)
- 2.3.19. VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA).-** Es aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente No doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido en sus parámetros aprobados causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, tratamiento de aguas residuales y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de aguas residuales. ( D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, 2009)
- 2.3.20. VERTIMIENTO.-** Es cualquier descarga final de un elemento, sustancia o compuesto, que esté contenido en un líquido residual de cualquier origen, ya sea agrícola, minero, industrial, de servicios, aguas negras o servidas, a un cuerpo de agua (Castañeda, 2008).

## **2.4. MARCO TEÓRICO.**

### **2.4.1. TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS (EN AGUAS CONTAMINADAS)**

#### **2.4.1.1. La electroquímica como base teórica**

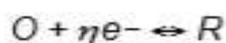
La electroquímica es una rama de la química dedicada al estudio de la interacción y correlación de los procesos químicos y eléctricos mediante las reacciones de óxido-reducción. El primer uso de la electricidad para el tratamiento de agua fue propuesto en El Reino Unido en 1889, a partir de este momento se fueron desarrollando diferentes técnicas electroquímicas y estas han sido investigadas como tratamiento

de efluentes que se han establecido principalmente como tecnologías para la recuperación de metales, tratamiento de efluentes con presencia de metales pesados y tratamiento para agua de consumo (Chen, 2004). Las principales técnicas electroquímicas son la electrodiálisis, la electrocoagulación, la electroflotación y la oxidación directa o indirecta, éstas son usadas en industrias como la metalúrgica, fabricación de pilas, tratamiento de aguas residuales y efluentes gaseosos debido a los bajos costos y las ventajas técnicas que presentan estos métodos (Zumdahl & Zumdahl, 2000).

#### 2.4.1.2. Reacciones Electroquímicas

Las reacciones electroquímicas son las de reducción-oxidación conocidas como redox, las cuales se basan en transferencia de electrones entre un conjunto de especies químicas, en las cuales se presentará una especie oxidante y una reductora, que a su vez alcanzaran una forma reducida y una forma oxidada respectivamente (Hurley & Masterton, 1997).

Según lo anterior para que se lleve a cabo este tipo de reacciones debe haber una especie que ceda sus electrones y otra que los acepte. El reductor es la especie química que tiende a ceder electrones de su estructura química al medio, quedando con carga mayor a la que tenía, mientras, el oxidante es la especie que tiende a captar esos electrones, quedando con carga menor (Hurley & Masterton, 1997). Una reacción electroquímica presentada la siguiente ecuación general (Rajeshwar, 1997):



En donde:

$O$ , es la especie oxidada

$R$ , es la especie reducida

$\eta e^-$ , el número de electrones transferidos por mol

Cuando la especie reductora cede sus electrones se convierte en una especie oxidada mientras la que capta los electrones se convierte en una especie reducida (Hurley & Masterton, 1997).

La mayoría de los compuestos inorgánicos cuando se disuelven en agua o en otros líquidos se ionizan, es decir, sus moléculas son disociadas en componentes cargados positiva y negativamente, lo cual tiene la propiedad de conducir una corriente eléctrica (Hurley & Masterton, 1997; Rajeshwar, 1997).

Si en una solución de un electrolito o un compuesto ionizable, se instalan un par de electrodos y una fuente de corriente directa se conecta entre ellos, los iones positivos se mueven hacia el electrodo negativo y los iones negativos hacia los positivos (oxidarse o reducirse) y se transforman en moléculas o átomos neutros (Hurley & Masterton, 1997).

Por lo tanto, en las reacciones electroquímicas se da básicamente, un intercambio entre los electrones de los electrodos y los iones o moléculas de la solución, mediante la aplicación de una diferencia de potencial, que genera una corriente donde los electrones fluyen desde el punto más negativo hasta el más positivo. Este tipo de reacciones se clasifican según el lugar donde ocurran, ya sea en el seno de la solución, que son las llamadas homogéneas o en la superficie del electrodo, llamadas heterogéneas (Hurley y Masterton, 1997; Rajeshwar, 1997).

Para que las reacciones electroquímicas se lleven a cabo inevitablemente ocurrirá la polarización de los electrodos, la cual es definida como la desviación del potencial aplicado respecto al potencial de equilibrio por el paso de corriente. Este cambio de potencial es conocido como sobre potencial, el cual puede ser controlado aumentando la conductividad de la solución, el área efectiva de los electrodos o la distancia entre ellos (Hurley & Masterton, 1997).

Los dos procesos más importantes que rigen el comportamiento de este tipo de reacciones son (Hurley & Masterton, 1997; Rajeshwar, 1997):

- Transporte de masa: es el movimiento de masa desde la solución a la superficie del electrodo, debido a diferencias en el potencial eléctrico (migración), químico (difusión) y por el movimiento global del líquido. •

Transferencia de electrones: existe una contribución de cada densidad de corriente parcial (anódica y catódica) a la densidad de corriente total, esta corriente de intercambio junto al sobre potencial afecta la velocidad de la reacción, pues a mayor corriente circulando mayor será la velocidad de reacción.

#### **2.4.1.3. La Electrolisis como tratamiento de descontaminación base de aguas**

Según Manual de Aguas (1982) La conductividad eléctrica de las sustancias consiste en un desplazamiento de la carga eléctrica a través de ellas. Dicho movimiento de las cargas puede producirse de dos maneras distintas:

- A través de un flujo de electrones, como sucede en los metales, a los cuales se les conoce como conductores de primera especie.
- A través del movimiento de los iones positivos y negativos, mediante una disolución o mediante un compuesto iónico fluido. Esta forma de conductividad se conoce como conductividad iónica, también llamada, electrolítica, tratándose de la conductividad propia de los electrolitos que son conductores de segunda especie.

La electrólisis se puede definir como un proceso en el que el paso de la corriente eléctrica a través de una disolución o a través de un electrolito fundido, da como resultado una reacción de oxidación – reducción (redox), no espontánea, a conductividad eléctrica se lleva a cabo en cubas o celdas electrolíticas, para poder reproducir una reacción de oxidación- reducción, en la electrólisis, proceso que tiene gran interés práctico.

Una cuba electrolítica es un recipiente en el cual se lleva a cabo el proceso del electrólisis. Dicho recipiente contiene una disolución en la que se sumergen los electrodos, ambos conectados a una fuente de corriente continua, gracias a la cual la cuba recibe electrones.

Los electrodos son las superficies sobre las que tienen lugar las semirreacciones redox. Generalmente son de carácter inerte con respecto a los reactivos que se encuentran en la cuba electrolítica. En los electrodos

podemos distinguir un cátodo, y un ánodo, al igual que ocurre en las pilas voltaicas.

Ánodo: electrodo en el cual se produce la oxidación, éste va conectado al polo positivo de la fuente de corriente.

Cátodo: electrodo donde se produce la reducción, éste se conecta al polo negativo de la fuente de corriente.

#### **2.4.1.4. Ionizador de Aguas para usos domésticos e industriales**

Según Degremont (1972) para poder disminuir las cargas de algunas sales acumuladas que no han podido ser eliminadas por procesos previos, se somete al agua a un proceso básico de electrolisis para que las partículas de sales presentes se capturen y acumulen para así poder disminuir su concentración en el agua, este proceso hace también que los sólidos suspendidos existentes disminuyan su concentración ya que atrapa partículas de acuerdo a la carga eléctrica.

Básicamente este proceso va ligado a la reducción del potencial de oxidación/reducción (ORP) para mejorar la calidad del agua para llevarla a poder consumirla y a su vez poder tener agua con características muy alcalinas.

El proceso de electrolisis aplicado se basa en someter al agua a una cámara o celda electrolítica (compuesta de placas de Rutenio y Titanio), en donde se separa el agua en hidrogeno y Oxigeno, es importante señalar que esos electrodos se encuentran en compartimentos separados por un diafragma semipermeable hecho de plástico. Ello permite que en el ánodo se genere oxígeno, gas, iones hidrógeno positivos y se acumulen aniones del tipo bicarbonato, cloruro, nitrato, etc., dependiendo de las sales que contenga el agua de partida. En el cátodo se genera hidrógeno gas, iones hidroxilo y cationes tipo sodio, potasio, calcio o magnesio, provenientes igualmente de las sales disueltas, estos son compontes de los sólidos suspendidos totales favoreciendo así su disminución en concentración en el agua , cabe resaltar que para acelerar este proceso es necesario aumentar la carga de amperaje en el ionizador y por consiguiente en las celdas electrolíticas originando su mayor desgaste pero eficiencia en remoción de sale presentes.

## **2.4.2. REMOCIÓN DE NITRATOS Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE FUENTES FIJAS**

### **2.4.2.1. Agua Fuente**

El agua en su estado natural puede ser inadecuada para su consumo, y presentar grandes inconvenientes en determinados usos. El tratamiento a que será sometida es de acuerdo al uso que se le dé, así en algunos casos será necesario la eliminación total o parcial de la dureza, la alcalinidad (descarbonatación), o la salobridad (desmineralización). *Water Conditioning Manual (1972), pp.20-25.*

### **2.4.2.2. Suministro de Aguas**

La composición química del agua sin tratamiento refleja ampliamente la naturaleza del territorio geológico del cual ha sido obtenida.

Existen en nuestro país variedad de fuentes de abastecimiento como pueden ser aguas superficiales (ríos, lagunas, lagos) o pueden ser aguas subterráneas (pozos profundos, manantiales o galerías filtrantes). Cualquiera que sea la fuente contendrá impurezas puesto que no hay agua natural que se pueda considerar químicamente pura.

Antes del uso del agua, es necesario determinar, primero: que impurezas contiene, segundo: que pueden causar estas impurezas y tercero: como pueden ser reducidas, eliminadas o acondicionadas por medio de un tratamiento. *I, Oliva. (1988) Tratamiento Químico del Agua en la Industria con Seguridad y Economía, pp.68-69.*

### **2.4.2.3. Impurezas del Agua**

Se encuentran con frecuencia en los suministros de agua aparte de impurezas de sólidos disueltos: gases disueltos y materia suspendida, los minerales disueltos, carbonato de calcio, sulfato de calcio, sulfato de magnesio, sílice. cloruro de sodio, hierro, nitratos, nitritos, hierro, manganeso, fluoruro, aluminio y otras sustancias. *J, Rodier. (1976) Análisis de Aguas .pp.25-28.*

#### 2.4.2.4. Tipos de Aguas

Las aguas pueden clasificarse como “duras” o “blandas”, “ácidas” o “alcalinas”, para describir sus características predominantes reflejadas por los compuestos que contienen. *J, Rodier. (1976) Análisis de Aguas.pp.20-23.*

#### 2.4.2.5. Dureza de Agua

La dureza se debe a la presencia de sales de calcio y magnesio: bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos. También causa dureza en el agua el hierro, aluminio y manganeso, pero estas sustancias no se encuentran presentes ordinariamente en cantidades apreciables. *Degremont. (1972) Manual Técnico del Agua.pp.27-30*

La dureza carbonatada: anteriormente llamada dureza temporal.

La dureza no carbonatada: Es la dureza permanente. Su constitución en el cuadro siguiente:

**CUADRO N°01: CLASIFICACION DE LA DUREZA DE UN AGUA**

Clasificación	Dureza de Carbonato	Dureza de No Carbonato
Dureza de Calcio	Bicarbonato de Calcio Carbonato Calcio	Sulfato de Calcio Cloruro de Calcio
Dureza de Magnesio	Bicarbonato de Magnesio Carbonato de Magnesio	Sulfato de Magnesio Cloruro de Magnesio

Fuente: I, Oliva. (1988) Tratamiento Químico del Agua en la Industria con Seguridad y Economía, p.78

#### 2.4.2.6. Clasificación de las aguas naturales según su concentración salina (Total de Sólidos Disueltos)

El volumen de los sólidos totales disueltos, de un agua es una medida de su salobridad, a la cual contribuyen su contenido de cloruros y dureza.

Se muestra lo mencionado en la tabla siguiente:

**CUADRO N°02: CLASIFICACION DE AGUAS SEGÚN SUS SOLIDOS TOTALES  
DISUELTOS**

Tipos de Aguas	Solidos Totales Disueltos (ppm)
Aguas dulces	< 1000
Aguas salobres	1000-10000
Aguas muy salobres	10000-30000
Aguas marinas	30000-40000
Aguas hipersaladas	40000-80000

Fuente: I, Oliva. (1988) Tratamiento Químico del Agua en la Industria con Seguridad y Economía, p.30

La calidad de agua deseable es una consecuencia del uso a que va destinada el tratamiento por electrolisis (intercambio iónico) está sujeto a determinadas condiciones, siendo una de las cuales, que el intercambiador pueda operar en presencia de una fase liquida, de concentración limitada.

**2.4.2.7. Intercambio Iónico (para el proceso de electrolisis)**

Según Rohm & Haas (1988) El intercambio iónico es un proceso mediante el cual, se remueve de un agua cruda, los iones indeseables, transfiriéndolos a un material sólido, Intercambiador Iónico, el cual los acepta, cediendo un número equivalente de iones de una especie deseable que se encuentra almacenado en la estructura del intercambiador.

**2.4.2.8. Remoción de Nitratos en Agua**

Los nitratos son iones formados por tres átomos de oxígeno, uno de nitrógeno y con una carga negativa ( $\text{NO}_3^-$ ), no tienen color ni sabor y se encuentran en la naturaleza disueltos en el agua. Su presencia natural en las aguas superficiales o subterráneas es consecuencia del ciclo natural del nitrógeno, sin embargo, en determinadas zonas ha habido una alteración de este ciclo en el sentido de que se ha producido un aumento en la concentración de nitratos, debido fundamentalmente a un excesivo uso de abonos nitrogenados y a su posterior arrastre por las aguas de lluvia o riegos. Actualmente el Valor Máximo Permitido de nitratos en aguas potables es de 50mg/L, siendo 25mg/L el valor guía. Sin embargo, existe

un número importante de estaciones de captación de agua en las que se superan estos valores, especialmente en diferentes puntos del país.

Los nitratos pueden ser producidos tanto por fuentes naturales como antropogénicas, siendo estas últimas las responsables del importante aumento en su concentración observado en los últimos años. Así, los residuos industriales constituyen una fuente importante de nitratos en las aguas, siendo las industrias más contaminantes los mataderos, destilerías, azucareras, industrias de levadura, de almidón, textiles y fertilizantes. Sin embargo, estas emisiones suelen estar bastante controladas y son muy puntuales. Más preocupante es, en la actualidad, la contaminación por nitratos provenientes de la agricultura y ganadería intensiva. En las zonas donde se practica una agricultura intensiva se utilizan enormes cantidades de abonos químicos, a los que se suman los abonos naturales que provienen de los excrementos animales. Estos abonos suelen contener una cantidad importante de compuestos nitrogenados, como los nitratos, que en proporciones adecuadas mejoran el crecimiento de las plantaciones y aumentan su rendimiento. Sin embargo, cuando estos compuestos se encuentran en cantidades demasiado altas para que sean absorbidos por las plantas, se infiltran a través del suelo y alcanzan las aguas subterráneas, contaminando pozos y acuíferos. Análogamente, los excrementos procedentes de animales de granjas también aumentan la concentración de nitratos en el suelo, de donde pueden pasar a los acuíferos que hay bajo ellos.

Los efectos nocivos de los nitratos sobre la salud humana, aunque se conocen desde la mitad del siglo XX, no están totalmente claros. Así, en 1945 Comly relacionó la cianosis (falta de oxígeno en la sangre) de los niños, de 33 a 27 días de edad, con los nitratos del agua de un pozo, lo que dio pie a que se abriese una larga controversia sobre la toxicidad de los mismos en el organismo. De hecho, los nitratos como tales no son tóxicos, incluso a dosis considerables, ya que son eliminados por el riñón. El problema radica, en el organismo, especialmente en personas con problemas gástricos o en niños de menos de tres meses, el nitrato puede reducirse a nitrito, el cual se absorbe en los glóbulos rojos de la sangre, oxidando el hierro de la hemoglobina a metahemoglobina, disminuyendo la

capacidad de los glóbulos rojos para transportar oxígeno. Asimismo, algún tipo de cáncer del tracto gastrointestinal ha sido atribuido a la acción de compuestos nitrosos, formados en el interior del organismo a partir de los nitritos, los que a su vez proceden de la reducción de los nitratos consumidos con el agua. Es por ello que para que un acuífero sirva de abastecimiento a una población es obligatorio que contenga menos de 50mg/L de  $\text{NO}_3^-$  y si los contiene, éstos deben ser eliminados antes de que el agua llegue al consumidor.

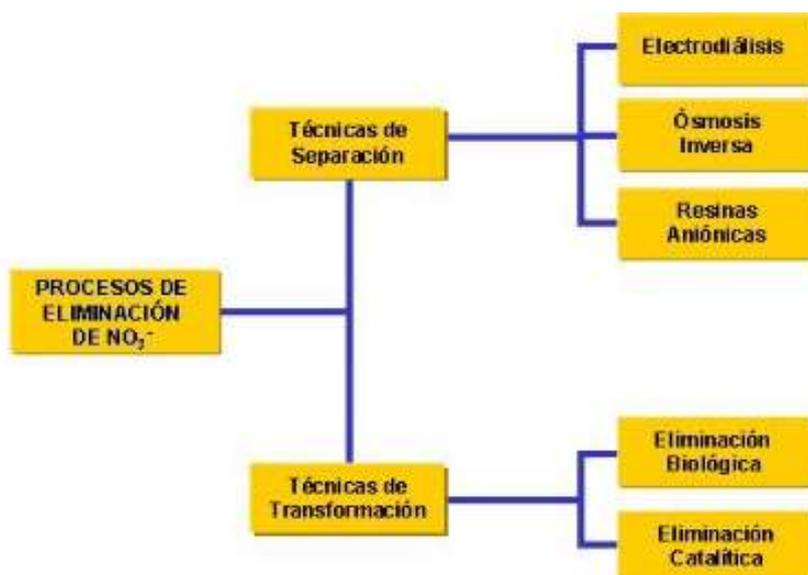
En la actualidad existen varias técnicas para la eliminación de los nitratos en las aguas. Estas se pueden clasificar en dos grupos:

- Las técnicas de separación, como su nombre indica, pretenden separar los nitratos de la corriente de agua a depurar, concentrándolos en un segundo desecho (la salmuera) que habría que tratar o almacenar en un depósito. Estas técnicas son: la electrodiálisis, la ósmosis inversa y las resinas aniónicas.
- Las técnicas de transformación pretenden transformar los nitratos en otros compuestos químicos inocuos por medio de vías biológicas o catalíticas.

Las primeras son las más utilizadas en la actualidad para el tratamiento de aguas naturales contaminadas por nitratos y aunque dan muy buenos resultados son caras y no resuelven el problema pues no transforman el nitrato en un compuesto inofensivo, sino que generan una salmuera concentrada en nitratos, sin ningún valor económico y que hay que tratar o almacenar adecuadamente.

Respecto a las técnicas de transformación, los procesos biológicos se suelen utilizar actualmente en el tratamiento de las aguas residuales e industriales y se incorporan a muchas depuradoras, dando resultados muy satisfactorios. No obstante esta tecnología, aunque es adecuada para aguas residuales, no se puede utilizar para potabilizar aguas por la posible contaminación bacteriana del agua tratada y por la presencia de residuos orgánicos tras el tratamiento del agua.

## ESQUEMA N°01: PROCESOS DE ELIMINACION DE NITRATOS



Fuente: <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>

Una nueva técnica de transformación es la basada en procesos catalíticos, más adecuada desde el punto de vista medioambiental y que permitiría depurar un agua contaminada por nitratos sin generar residuos. Esta técnica se basa en la reducción catalítica de los nitratos a nitrógeno. En este proceso el nitrato es transformado en una sustancia inerte como el nitrógeno (que constituye alrededor del 78% del aire) y no se debe generar ningún subproducto que deba ser tratado. Esta técnica comenzó a desarrollarse a partir de 1989, con el descubrimiento de la actividad del catalizador bimetálico de cobre-paladio en la reducción de los nitratos de aguas naturales. En este proceso los nitratos son reducidos por el hidrógeno en presencia de un catalizador sólido y se transforman en nitrógeno y agua a temperatura ambiente. El problema es que además de que el paladio es un metal caro, durante la reacción se observó que se podían producir sustancias nocivas como los nitritos y el amonio, por lo que este catalizador no podía ser utilizado a nivel comercial hasta resolver este problema. No obstante, aunque esta técnica aún no es comercial, se está estudiando como alternativa a las técnicas tradicionales de separación.

#### **2.4.2.9. Remoción de Sólidos Disueltos Totales en aguas**

Según la empresa POREX<sup>®</sup> se sabe Sólidos Disueltos Totales (TDS) es un parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales. Indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro - mg/L), presentes, en dilución y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío, o la centrifugación del líquido. Algunas veces se asocia a la turbidez del agua. Para la presente investigación se toma como principal premisa la electrolisis como base para separar el remanente que no ha podido ser separado por los medios ya mencionados apelando a la polaridad de carga presente en las partículas en suspensión que poseen cargas aniónicas y catiónicas que facilitan su separación.

## Capítulo III

### FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

##### 3.1.1. Método.

Método Experimental

Es un tipo de método de investigación en el que el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas y está basado en la metodología científica.

##### 3.1.2. Tipo.

Investigación Aplicada o Tecnológica Cuantitativa

El estudio fue una Investigación Aplicada o Tecnológica cuantitativo ya que se van a medir las variables antes y después del tratamiento. HERNAMDEZ SAMPIERI indica que el enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, con base en la medición numérica y el análisis estadístico. (1996, p. 55.)

##### 3.1.3. Nivel.

Investigación Correlacional.

El desarrollo de los resultados muestra estudios cuantitativos realizados y presentados mediante tablas y gráficos, las cuales permiten medir el grado de relación que existe entre las variables planteadas.

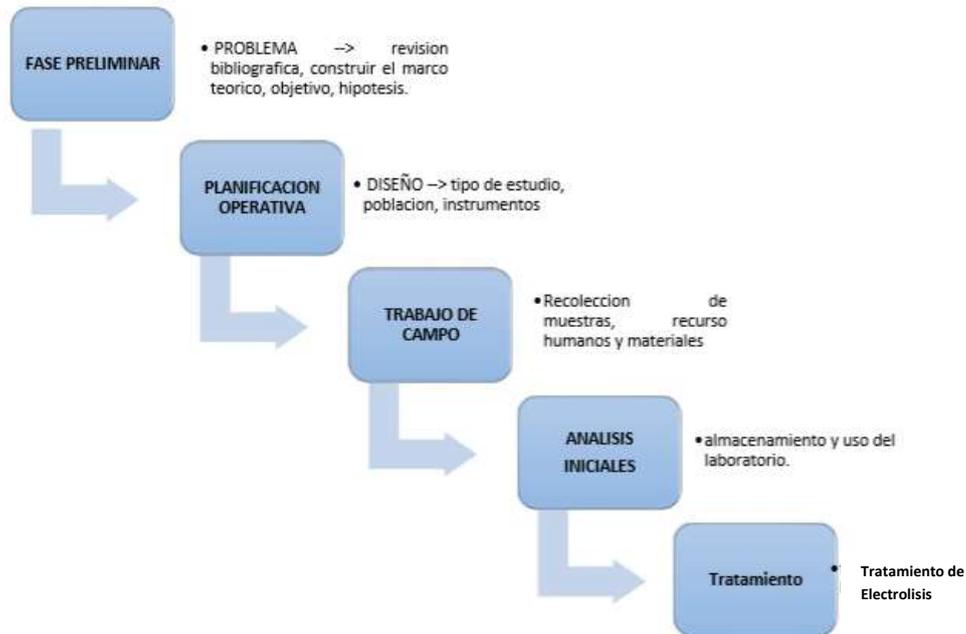
#### 3.2 DISEÑO.

Correlacional.

Como se sustentó en la metodología de la investigación, el proyecto se basa en la recopilación de información buscando el conocimiento de la problemática, relacionando las variables y mostrando estas mediante tablas y gráficos para la medición del relacionamiento planteado. La base de un análisis de tipo experimental en esta investigación se da en el control del amperaje a la hora de aplicar el método de electrolisis si bien es cierto no hay un control de

todas las variables, pero este factor incide mucho en el desarrollo de los resultados de la investigación, estableciendo un control relativo que fundamente su aplicación.

### ESQUEMA N° 02: ESQUEMA DE TRABAJO



Fuente: Elaboración Propia

## 3.3 VARIABLES.

### 3.3.1 Tratamiento de Electrolisis (en aguas contaminadas)

La electrólisis se puede definir como un proceso en el que el paso de la corriente eléctrica a través de una disolución o a través de un electrolito fundido, da como resultado una reacción de oxidación – reducción (redox), no espontánea.

La conductividad eléctrica se lleva a cabo en cubas o celdas electrolíticas, para poder reproducir una reacción de oxidación- reducción, en la electrólisis, proceso que tiene gran interés práctico.

### **3.3.2 Remoción de Nitratos y Solidos Disueltos Totales en Aguas Subterráneas de Fuentes Fijas**

Los nitratos pueden ser producidos tanto por fuentes naturales como antropogénicas, siendo estas últimas las responsables del importante aumento en su concentración observado en los últimos años. Así, los residuos industriales constituyen una fuente importante de nitratos en las aguas, siendo las industrias más contaminantes los mataderos, destilerías, azucareras, industrias de levadura, de almidón, textiles y fertilizantes. Sin embargo, estas emisiones suelen estar bastante controladas y son muy puntuales. Más preocupante es, en la actualidad, la contaminación por nitratos provenientes de la agricultura y ganadería intensiva. En las zonas donde se practica una agricultura intensiva se utilizan enormes cantidades de abonos químicos, a los que se suman los abonos naturales que provienen de los excrementos animales. Estos abonos suelen contener una cantidad importante de compuestos nitrogenados, como los nitratos, que en proporciones adecuadas mejoran el crecimiento de las plantaciones y aumentan su rendimiento. Sin embargo, cuando estos compuestos se encuentran en cantidades demasiado altas para que sean absorbidos por las plantas, se infiltran a través del suelo y alcanzan las aguas subterráneas, contaminando pozos y acuíferos. Análogamente, los excrementos procedentes de animales de granjas también aumentan la concentración de nitratos en el suelo, de donde pueden pasar a los acuíferos que hay bajo ellos.

Para la presente investigación se toma como base la electrolisis como base para separar el remanente que no ha podido ser separado por los medios ya mencionados apelando a la polaridad de carga presente en las partículas en suspensión que poseen cargas aniónicas y catiónicas que facilitan su separación.

Para la presente investigación se toma como principal premisa la electrolisis como base para separar el remanente que no ha podido ser separado por los medios ya mencionados apelando a la polaridad de carga presente en las partículas en suspensión que poseen cargas aniónicas y catiónicas que facilitan su separación.

### **3.4 HIPÓTESIS.**

#### **3.4.1 Hipótesis General.**

El método de electrolisis remueve considerablemente las concentraciones de Nitratos ( $\text{N- NO}_3^-$ ) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea de fuente fija obtenida por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.

#### **3.4.2 Hipótesis Específicos.**

A. Las concentraciones de Nitratos ( $\text{N- NO}_3^-$ ) y Solidos Disueltos Totales (TDS) se encuentran elevados en el agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.

B. El sistema de tratamiento por electrolisis para la remoción de Nitratos ( $\text{N- NO}_3^-$ ) y Solidos Disueltos Totales (TDS) tiene un amperaje ideal de 21 a 23 amperios para el agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.

### **3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

#### **3.5.1 Población.**

Todos los puntos de muestra fija de agua subterránea de la empresa AQUA NOA.

#### **3.5.2 Muestra.**

4 litros tomado en salida del punto fijo comparado con 3 litros tomados al momento de pasar el tratamiento de electrolisis a la salida del Ionizador.

### **3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ACOPIO DE INFORMACIÓN.**

#### **3.6.1 Técnicas.**

- Para el presente trabajo se utilizó como técnica la observación, el cual consiste en observar el cambio que se produce después del tratamiento para tomar información y ser registrada para su posterior análisis.

### 3.6.2 Instrumentos.

- Como instrumento se ha elaborado la ficha de registro de datos de laboratorio el cual se adjunta en los anexos respectivos (VER ANEXO N°05)

### 3.6.3 Validez y Confiabilidad

- Para obtener la validez del presente trabajo se procedió a validarlo por revisión bibliográfica relacionada y el seguimiento que se hizo al presente trabajo en el curso de Proyecto de Investigación III de mi etapa de formación en la facultad, así como la validez dada por la revisión realizada por la universidad según sus procedimientos.
- Respecto a la confiabilidad para el presente trabajo se tendrá como medida de confiabilidad el método de alfa de cronbach el cual nos permitirá estimar la confiabilidad del instrumento.

#### CUADRO N° 03: RESULTADO DE LA PRUEBA ALFA DE CRONBACH

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,709	3

Fuente: Análisis SPSS V.24

- Mostrando un resultado de Alfa= 0.709 que según los resultados la confiabilidad de la Investigación según su proceso es alta esto se fundamenta en el siguiente Cuadro:

**CUADRO N° 04: ESCALA DE INTERPRETACION SEGUN PRUEBA ALFA DE CRONBACH**

Rangos	Magnitud
0,81 a 1,00	Muy Alta
0,61 a 0,80	Alta
0,41 a 0,60	Moderada
0,21 a 0,40	Baja
0,01 a 0,20	Muy Baja

Fuente : Cronbach, Lee J. (1951). «Coefficient alpha and the internal structure of tests». Psychometrika

### 3.6.4 PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

#### 3.6.4.1. Metodología de trabajo

- **Para la toma de muestra:** se tuvieron varias consideraciones en el monitoreo de fuente fija de aguas subterránea: como tipo de muestreo manual por tener un acceso autorizado a las instalaciones en la toma de muestra dentro Empresa AQUA NOA en el distrito de Pachacamac La muestra fue de tipo puntual por ser tomada en el punto fijo captación en tiempos de 5 minutos, en un determinado momento.
- **Para el traslado y almacenamiento de muestra:** Fueron limpiadas los recipientes con abundante agua de grifo y se enjuagaron con agua destilada para estar, debidamente limpias y descartar todo tipo de suciedad que pueda alterar significativamente en los resultado, tapados y rotulados. Se guardó las muestras en un refrigerador a 4°C hasta para ser llevados al laboratorio de la empresa MINLAB S.R. L.
- Dentro de los procesos de exposición estos se desarrollan para la obtención principal de agua alcalina con pH9-9.5 para consumo humano, pero detectando la siguiente situación en el proceso: la alta concentración de Nitratos y Solidos Disueltos Totales en la muestra tomada en punto fijo de agua subterránea para esto se postula la eficiencia de remoción del tratamiento de electrolisis plasmado en el proceso de Ionización dentro del ciclo de producción de Agua Alcalina.

- **Aplicación del Proceso de Electrolisis:** Para llegar a este proceso se procedió a someter al agua a una serie de procedimientos previos al tratamiento de electrolisis



**FIGURA N° 01: TOMA DE MUESTRA DEL AGUA SUBTERRANEA EN PUNTO FIJO**

- Se obtiene la muestra de Agua Subterránea en fuente fija detectando que hay un exceso de nitratos y solidos disueltos totales.



**FIGURA N° 02: TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE 2 m<sup>3</sup> Y BOMBA DE AGUA DE POTENCIA TIPO A**

- Una vez tomada la muestra base de la toma de punto fijo de agua subterránea se bombea a un tanque de almacenamiento de 2 m<sup>3</sup> con un caudal de 1500L/h es aquí donde se deja reposar para por cuatro horas para que los últimos sedimentos decanten (Tiempo de retención hidráulico de 4 horas)



**FIGURA N° 03: FILTROS QUE CONTIENEN CARBON ACTIVADO**

- Una vez concluido el tiempo de retención hidráulico se procede a bombear el agua a unos filtros de carbón activado con un caudal de 1000 L/h con un tiempo de retención hidráulico de una hora.



**FIGURA N° 04: PRIMER MONITOREO DEL AGUA DESPUES DEL FILTRADO**

- Se observa en un análisis con un kit multiparametro que los nitratos y Solidos Disueltos Totales no han disminuido más si otras parametros fisicoquímicos de importancia.



**FIGURA N° 05: IONIZADOR DE AGUA EN DONDE SE DA EL PROCESO DE ELECTROLISIS OBSERVESE EL CONTROLADOR DE AMPERAJE DEL IONIZADOR**

- Una vez pasado por el proceso de filtrado el agua que sigue conteniendo altos valores de Nitratos y Solidos Disueltos Totales con un caudal de bombeo de 1000L/h es llevada a un ionizador (el cual produce la electrolisis gracias a las placas de Titanio y Rutenio) de agua el cual permite remover los nitratos y Solidos Disueltos Totales previo control de amperaje entrante al ionizador (de 7A, 14A y 22A)
- Para corroborar los resultados obtenidos se procede a extraer tres muestras de un litro cada una en diferentes momentos del tratamiento (con tres repeticiones de las mismas) es decir al haberse sometido al ionizador con amperaje de 7 ,14 y 22 Amperios tomadas con un espacio de una semana después de la primera toma para repetir el ciclo del proceso del tratamiento, estas muestras son llevadas al laboratorio MINLAB S.R.L. para la verificación de los parametros a someter a análisis y verificar su verosimilitud

### 3.6.4.2. Metodología de análisis de datos

#### **Diseño completamente al azar (DCA) Análisis de Varianza ANOVA**

- El trabajo estuvo planteado bajo el diseño completo al azar (DCA) siendo tres tratamientos con tres repeticiones y una jarra como unidad experimental, realizándose el análisis de varianza con el objetivo es determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos. Para evaluar los promedios se usó la prueba de contraste de Tukey y para la normalidad se usó la prueba de Fisher.
- Los tratamientos:
- T1: Amperaje de 7A en el ionizador.
- T2: Amperaje de 14A en el ionizador.
- T3: Amperaje de 22A en el ionizador.
- Para el presente trabajo se ha considerado pertinente utilizar el software estadístico MINITAB 18 y Excel 2016 para su procesamiento, cuadros y tablas estadísticos.
- Modelo estadístico lineal fue:

$$y_{ij} = \mu + T_i + u_{ij}$$

Donde:

$y_{ij}$  = efecto de  $i$  – enesimo tratamiento de  $J$  – enesimas repeticiones

$\mu$  = media poblacional

$T_i$  = efecto de  $i$  – enesimo tratamiento

$u_{ij}$  = error experimental

### 3.6.4. Contraste o Comprobación de la hipótesis.

Previa a la comparación de los resultados finales con las hipótesis planeadas, se realizará la comparación de los resultados del análisis estadístico realizado (Diseño completamente al azar (DCA) Análisis de Varianza ANOVA) con los resultados estimados luego de esto se estimó la eficiencia de remoción del método para comprobar la verosimilitud de las hipótesis planteadas.

### 3.6.5. Cronograma de Realización de la Investigación.

ACTIVIDADES	Enero - Febrero 2018	Febrero. - Marzo 2018	Marzo – Abril 2018	Abril – Mayo. 2018	Mayo - junio 2018	Junio – julio 2018
Planteamiento del Problema						
Adecuación del Titulo						
Revisión Bibliográfica						
Elaboración de matriz de consistencia						
Recopilación de Información						
Redacción de proyecto						
Presentación de Proyecto						
Obtención de Insumos						
Toma y análisis de Muestras						
Interpretación de Resultados						
Presentación Final del Proyecto						
Sustentación Final						

Fuente : Elaboración propio cronograma tentativo

## CAPITULO IV

### ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Resultados

##### **Análisis de parámetros fisicoquímicos de la muestra de fuente fija de Agua Subterránea**

En la TABLA N° 01, se presenta los resultados obtenidos de la evaluación al agua subterránea de muestra, comparados con el DS N° 04 - 2017- MINAM la cual categoriza el agua de muestra como CATEGORIA 1: A2 y reforzado con los estándares de referencia según SEDAPAL

**TABLA N° 01 : RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUA DE FUENTE FIJA**

Parametro Fisicoquimico	Norma Peruana (*)	AGUA TOMADA EN FUENTE FIJA
		Toma de muestra llevada al área de almacenamiento
Temperatura en °C (**)	25	23.67
pH en unidades de pH	5.5-9.0	7.69
Conductividad en $\mu s.cm^{-1}$	1600	1540
Turbidez en NTU	5	150
Solidos Disueltos Totales (SDT) en $mg.L^{-1}$	1000	1100
Cl <sub>2</sub> residual en $mg.L^{-1}$	5	0.003
Dureza Total en $mg.L^{-1}$	500	393.5
Dureza Calcica en $mg.L^{-1}$	null	109.8
Solidos Suspendidos Totales (SST) en $mg.L^{-1}$	500	673
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en $mg.L^{-1}$ (***)	50	67
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> en $mg.L^{-1}$ (****)	3	3.57
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> en $mg.L^{-1}$	1.5	1.25
Fenoles en $mg.L^{-1}$	null	0.001

\* DECRETO SUPREMO N° 031-2010-SALUD

\*\*\* En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

\*\*\*\* En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>).

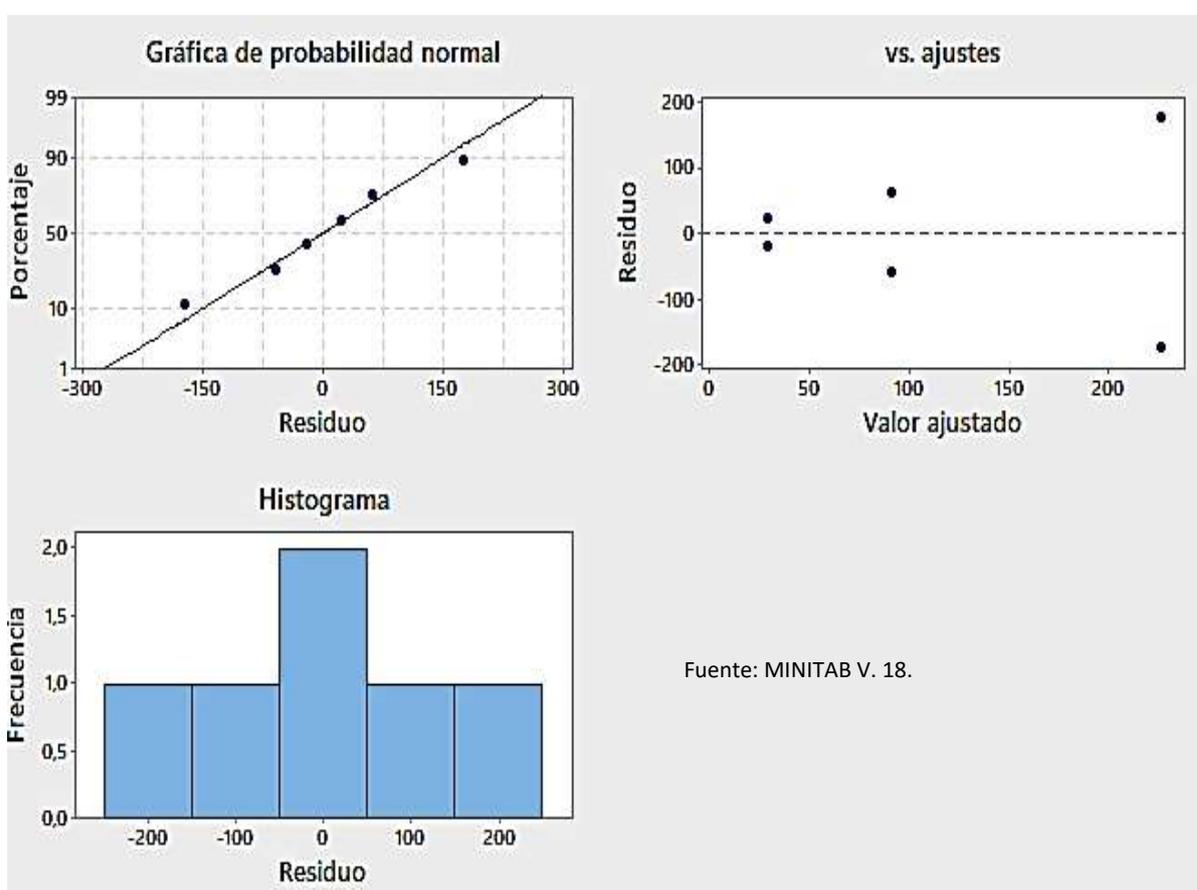
Parametros de color rojo exceden los limites admisibles

En la que se muestra que hay un exceso de nitratos y Solidos Disueltos Totales según lo establecido por el DECRETO SUPREMO N° 031-2010-SALUD : REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

#### 4.2. Análisis Estadístico

Para validar estadísticamente la información se procedió primero a análisis si los resultados obtenidos presentan una distribución normal y se obtuvo que si presentan una distribución normal ajustada a la tendencia lineal (test de Fisher) como se muestra en el siguientes análisis:

#### GRAFICA N° 01: ANALISIS DE NORMALIDAD DE FISHER



Este gráfico me indica que los datos de resultados presentan una distribución normal sin ningún sesgo para poder proceder a tomar dirección en una prueba tipo Tukey para análisis de varianza.

Luego de esto que los datos tienen una distribución normal se procede a realizar la prueba tipo Tukey obteniendo los siguientes resultados:

**Comparaciones en parejas de Tukey**

**Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%**

Factor	N	Media	Agrupación
TRATAMIENTO UNO	2	226	A
TRATAMIENTO DOS	2	90,5	A
TRATAMIENTO TRES	2	28,5	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

De lo anterior se puede inferir que las medias presentan la misma letra de emparejamiento lo que me permite identificar que los tratamientos son significativos pero hay mayor significancia en el tratamiento 3 ya que presenta una media menor a los tratamientos especificados

### 4.3. Resultados del electrolisis como tratamiento

Se realizó ensayos, según información del funcionamiento del equipos se estableció que se bombeara con un caudal de 1000 L/h hacia el ionizador que posee dentro placas de Titanio y Rutenio para facilitar la electrolisis y con esto generar separación anionica y catiónica de iones a su vez se controló el amperaje de entrada del ionizador con un espacio de una semana con las siguientes cargas T1: 7 A, T2: 14 A , T3: 22 A.

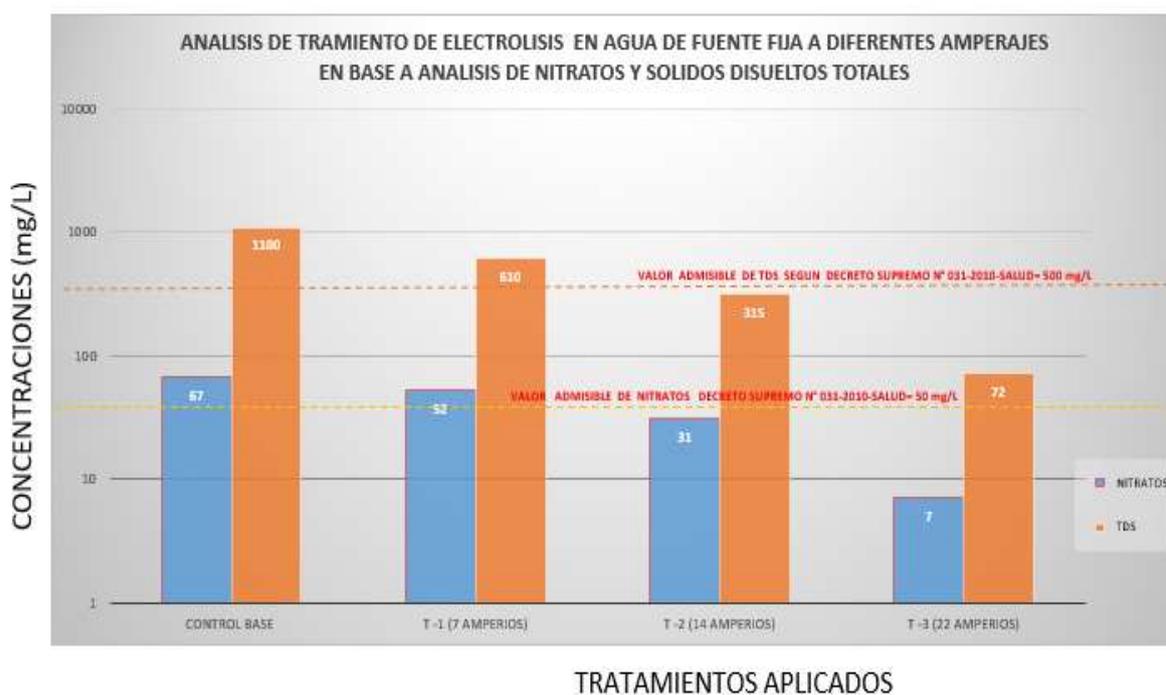
Obteniéndose el siguiente resultado:

**TABLA N° 02 : RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS PARA REMOCION DE NITRATOS Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES CON CONTROL DE AMPERAJE DE IONIZADOR**

TRATAMIENTO			DECRETO SUPREMO N° 031-2010-SALUD	
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	TDS mg/L	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	TDS mg/L
CONTROL BASE	67	1100	50	500
T -1 (7 AMPERIOS)	52	610	50	500
T -2 (14 AMPERIOS)	31	315	50	500
T -3 (22 AMPERIOS)	7	72	50	500
Promedio	30	332.333333		

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorios MINLAB S.R.L.

**GRAFICA N° 02**



Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorios MINLAB S.R.L.

De la siguiente grafica se puede ver como los valores de Nitratos y Solidos Disueltos Totales han disminuido significativamente y guarda una relación directa con el aumento del amperaje del ionizador es decir a mayor amperaje mayor disminución de Nitratos y Solidos DisueltosTotales presentando una disminución significativa

#### 4.4. Porcentaje de Eficiencia de Tratamiento de Electrolisis en la remoción de Nitratos y Solidos Disueltos Totales

Para calcular la eficiencia se procede a emplear la siguiente formula:

$$\left( \frac{(S_0 - S)}{(S_0 * 100)} \right) * 1000$$

Donde:

$S_0$  : Concentración de nitratos/Solidos Disueltos Totales Inicial

$S$  : Concentración final nitratos/Solidos Disueltos Totales de después del tratamiento

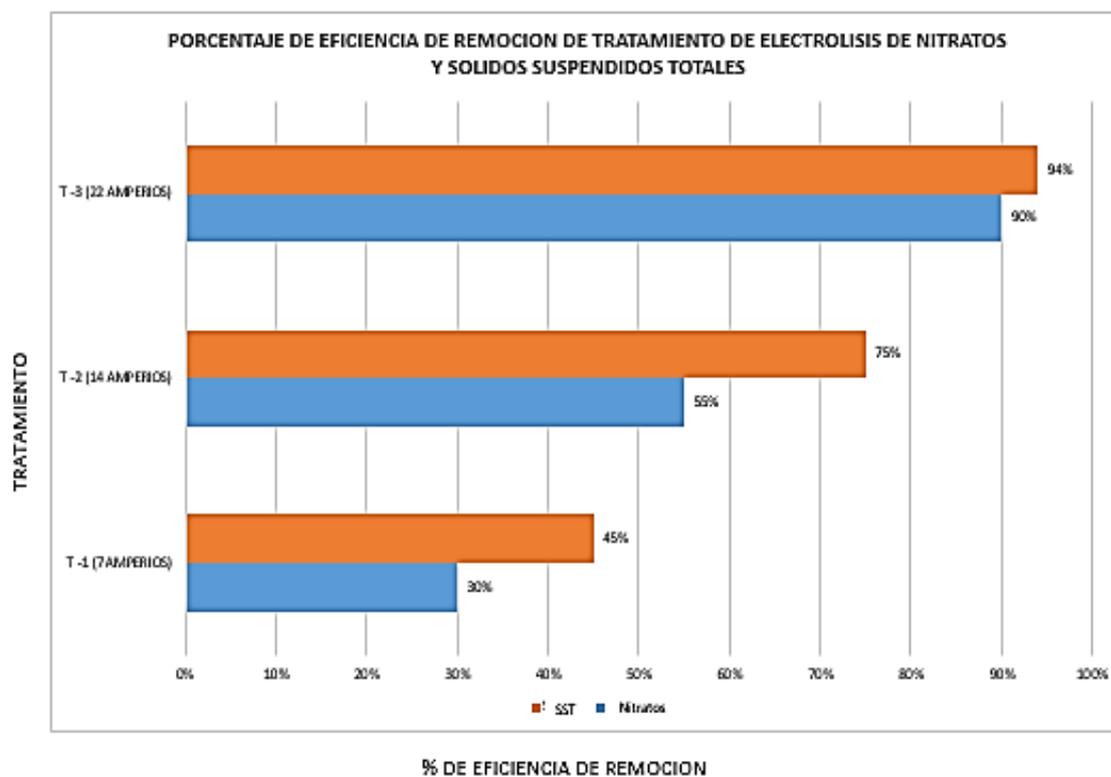
De lo cual se obtiene la siguiente información:

**TABLA N° 03 : PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCION DE NITRATOS Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES EN LOS TRATAMIENTOS**

TRATAMIENTO	EFICIENCIA DE REMOCION (%)	
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SST
	%	%
T -1 (7 AMPERIOS)	30%	45%
T -2 (14 AMPERIOS)	55%	75%
T -3 (22 AMPERIOS)	90%	94%

Fuente: Elaboración propia

GRAFICA N° 03



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica anterior se aprecia que el mayor porcentaje de eficiencia de remoción se da en el tratamiento 3 con un 94% de remoción de nitratos, así como 90% en la remoción de Sólidos Disueltos Totales teniendo en cuenta que se controla el amperaje entrante al ionizador que en este caso es 22 A.

#### 4.5. Discusión de resultados

- Los resultados obtenidos muestran que, con la aplicación del tratamiento de electrolisis con un amperaje controlado de 22 Amperios influye significativamente en la remoción de Nitratos ,y Solidos Disueltos Totales , con lo que demuestra la capacidad del método en la mejora de la calidad del agua , teniéndose como valor inicial de Nitratos 67mg/L y de Solidos Disueltos Totales de 1100mg/L al aplicar el tratamiento de electrolisis con control de amperaje a 22 amperios se obtiene un resultado de : en remoción de nitratos de 7 mg/L y de Solidos Disueltos Totales de 72 mg/L como valores finales , obteniéndose también como eficiencias unos 90 % y 94 % respectivamente.
- El 90 % y 94 % fueron las eficiencia de remoción más altas del tratamiento con electrolisis y control de amperaje de 22 amperios , al comparar nuestros resultados con Gilpavas, E.& Arbeláez, E. & Sierra, L. & White, C. & Oviedo, C. & Restrepo, P. (2008), en su investigación Titulada: “APLICACIÓN DE LA ELECTROQUÍMICA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES” , se obtienen resultados mucho mejores en remoción de Nitratos y Solidos Disueltos Totales pero esto se debe a que en la investigación mencionada no se removía estos compuestos sino metales pesados y se jugaba con el voltaje y no con el amperaje pero es una base para fundamentar las relaciones existentes en los tratamientos con electroquímica.

## 4.6. Análisis económico

TABLA N° 04: MATERIALES

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	P. UNIT (S/.)	TOTAL (S/.)
1	CD	S/.1	S/.1
1 millar	Papel A-4	S/.12	S/.12
1	Memoria USB HP	S/.21	S/.21
1	Laptop Acer	S/.1200	S/.1400
1	Camara	S/.170	S/.170
<b>TOTAL</b>			<b>S/. 1,603</b>

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 05 : SERVICIOS

DESCRIPCION	TOTAL (S/.)
Internet	50
Luz	35
Impresión	20
Transporte	90
Telefonía	40
Análisis en Laboratorios Certificados	2000
<b>TOTAL</b>	<b>S/.2,235</b>

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 06 : PRESUPUESTO

	TOTAL (S/.)
<b>MATERIALES</b>	<b>S/. 1,603</b>
<b>SERVICIOS</b>	<b>S/. 2,235</b>
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 3,838</b>

Fuente: Elaboración Propia

Los costos presupuestados que se muestran son los realizados en el plan de tesis, seguidamente se plantean costos en todo el desarrollo del proyecto los cuales se muestran en el Anexo 9 , los cuales tienen un aumento de 14329 soles ya que en la implementación del tratamiento se recurre a los costos de operación y mantenimiento los cuales hacen más costoso el trabajo en su implementación.

#### 4.7. Contrastación de Hipótesis

En la Tabla N° 07 – Contrastación de Hipótesis VS Resultados se detalla la veracidad de las hipótesis formuladas.

**TABLA N° 07: CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS VS RESULTADOS**

HIPÓTESIS PRINCIPAL	RESULTADOS
<p><b>El método de electrolisis remueve considerablemente las concentraciones de Nitratos (N-NO<sub>3</sub>-) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea de fuente fija obtenida por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.</b></p>	<p>Los resultados obtenidos muestran que, con la aplicación del tratamiento de electrolisis con amperaje controlado influye significativamente en la eficiencia de remoción de Nitratos y Solidos Disueltos Totales , con lo que demuestra la capacidad de remoción que tiene el método en mención , teniéndose como valor inicial en lo que respecta a Nitratos 67 mg/L y en lo respecta a Solidos Disueltos Totales 1100mg/L al aplicar el tratamiento de electrolisis con amperaje controlado de 22 A, se obtiene en lo que respecta a Nitratos un valor de 7mg/L y referente a Solidos Disueltos Totales 72mg/L como valores finales obteniéndose como eficiencia de remoción en Nitratos un 90 %.y en Solidos DisueltosTotales de 94 %. Estos resultados valida la hipótesis demostrando la eficiencia del tratamiento.</p>

## HIPÓTESIS SECUNDARIAS

<p><b>Las concentraciones de Nitratos (N-NO<sub>3</sub>-) y Solidos Disueltos Totales (TDS) se encuentran elevados en el agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.</b></p>	<p>Al realizar los muestreos iniciales efectivamente se comprobó que los niveles iniciales tanto de nitratos como solidos disueltos totales presente elevado valores respecto a la norma aplicada</p>
<p><b>El sistema de tratamiento por electrolisis para la remoción de Nitratos (N-NO<sub>3</sub>-) y Solidos Disueltos Totales (TDS) tiene un amperaje ideal de 21 a 23 amperios para el agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.</b></p>	<p>Se presenta un amperaje ideal de 22 Amperios en el cual el sistema de tratamiento por electrolisis presenta su mayor eficiencia de remoción de Nitratos (N-NO<sub>3</sub>-) y Solidos Disueltos Totales (TDS)</p>

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- 1°. Se evaluó la eficiencia de remoción de nitratos y sólidos disueltos totales aplicando el método de electrolisis con control de amperaje en aguas subterráneas de fuentes fijas por la empresa AQUA NOA -2018, en lo que se obtuvo eficiencia de remoción de nitratos en los tratamientos del T1 con 30% con amperaje en el ionizador de 7 amperios, T2 con 55% con amperaje en el ionizador de 14 amperios y T3 con 90% con un amperaje en el ionizador de 22 amperios también se obtuvo una eficiencia de remoción de sólidos disueltos totales en los tratamientos del T1 con 45 % con amperaje en el ionizador de 7 amperios, T2 con 75 % con amperaje en el ionizador de 14 amperios y T3 con 94% con un amperaje en el ionizador de 22 amperios siendo más eficiente el T3 en la remoción de estos dos parámetros fisicoquímicos.
- 2°. Se determinó el amperaje óptimo en la remoción de nitratos y sólidos disueltos totales que fue en el T3 con 22 amperios en lo que se obtuvo mejor eficiencia de remoción en los parámetros mencionados
- 3°. Se determinó una reducción considerable en concentración de los nitratos y sólidos disueltos totales del agua subterránea de fuente fija en el mejor tratamiento ( T3) en lo que respecta a nitratos paso de una concentración inicial de 67mg/L a 7mg/L y en los que respecta a sólidos disueltos totales de 1100mg/L a 72mg/L esto se presenta en un escenario de ionizador con control de amperaje a 22 amperios

## RECOMENDACIONES

- 1°. Se sugiere realizar nuevos trabajos de investigación con la remoción de otros parámetros aplicando el mismo tratamiento en otras condiciones de trabajo y verificar su eficiencia
- 2°. Se sugiere realizar mayores pruebas con respecto al control de amperaje del ionizador (donde se da el proceso de electrolisis), para así poder tener mayor espectro de variación de amperaje
- 3°. Realizar nuevas investigaciones referentes al tema realizado en esta investigación a fin de que se profundice en temas relacionados con los tratamientos de aguas con métodos electroquímicos ( sea electrolisis, electrocoagulación y electroxidacion)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. **Arango, A. (2005).** La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación, vol. 2, núm. 1, enero-junio, 2005, pp. 49-56, Antioquia, Colombia.
2. **Cifuentes, L. & García, I. & Arriagada, P. & Casas, J. (2009).** The use of electrodialysis for metal separation and water recovery from  $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-Fe}$  solutions. ELSEVIER journal , April 20 2009 from Santiago de Chile
3. **Chapotot, A. & Pourcelly, G. & C. Gavach, C. (1994).** Transport competition between mono-valent and divalent cations through cation-exchange membranes. Journal of Membrane Science 96, pp. 167–181.
4. **Vergara, F. (1984).** Tratamiento de Aguas Industriales. Perú. Editorial Kavi Editores S.A.
5. **Rodier , J. (1976).** Analisis de Aguas. Editorial Omega S.A.
6. **Mendoza,I. (1988).** Tratamiento Químico del Agua en la Industria con seguridad y economía. Editorial LIMPESA
7. **Gilpavas, E. & Arbeláez, E. & Sierra, L.& White, C.& Oviedo, C.& Restrepo, P. (2008).** Aplicación de la Electroquímica en el tratamiento de aguas residuales Abril 24, 2018, de Cuadernos Investigación, Universidad EAFIT- Colombia, sitio web: [publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos\\_investigacion/article/.../1279/1158/](http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos_investigacion/article/.../1279/1158/) , ISSN 1692-0694.
8. **Martínez , F. (2007).** Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. (tesis de doctorado en Ingeniería Química). Universidad de Castilla-La Mancha, España.

9. **D.S. N.° 021-2009-VIVIENDA. (2009)** Aprueban valores máximos admisibles (V.M.A.) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento: Vivienda. Perú.
10. **Chohey, H. (1986).** Manual de Calculos de Ingenieria Quimica. Editorial Mc Graw Hill.
11. **Rohm and Hass Company (1988).** Amberlite Ion Exchange Resins Manual. Philadelphia , Pennsylvania.
12. **Gonzales, M. (2018).** Descontaminación y desinfección de aguas residuales mediante tecnología electroquímica. (Tesis de Maestría en Electroquímica). Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. México
13. **Degremont. (1972).** Manual Técnico del Agua.4ª Ed. España.
14. **Dow Chemical Company. (1985).** Water Conditioning Manual Dowex :Ion Exchange resing.
15. **Caviedes,D. & Muñoz,R. & Perdomo, A. & Rodriguez,D. & Sandoval,I.(2015)** Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. una revisión. Revista Ingeniería y Región , pp.73-90.

# ANEXOS

# **ANEXO 1: Matriz De Operacionalización de Variables y de Consistencia de la Investigación**

“APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS Y SU IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NITRATOS Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE FUENTES FIJAS OBTENIDAS POR LA EMPRESA AQUA NOA, PACHACAMAC, 2018”	
Título tentativo	
GONZALES HUAYANAY, Henry Celso	
Apellidos y nombres	
henrygonzales.h@gmail.com	
e-mail	Celular
<b>Situación problemática:</b>	
<p>En este sentido la presente investigación pretende utilizar la electrolisis como una tecnología de tratamiento de agua residual proveniente de la industria, minimizando el empleo de coagulantes sintéticos, reduciendo los impactos ambientales y esperando obtener una mejor calidad de agua tratada ya sea para cumplir la normativa ambiental vigente o para ser reutilizada en sus procesos industriales.</p>	
<b>Problema de investigación</b>	
<p>¿Qué valores se obtendrán al evaluar la eficiencia de remoción de Nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y solidos disueltos totales (TDS) del agua subterránea obtenida en fuente fija tratada por el método de electrolisis por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018?</p>	
<b>Justificación de la investigación</b>	
<p>La gran problemática ambiental que se está dando a raíz de diferentes actividades antrópicas está degradando los recursos naturales por un vertimiento de efluentes sin algún tratamiento, nos vemos en emplear de nuevas alternativas tecnológicas y económicas que nos permitan mitigar contaminantes. Diversos estudios demuestran que la electrolisis y métodos asociados a la separación o encapsulamiento electroquímico dan buenos resultados para la reducción de contaminante, razón que ha propiciado que el presente trabajo de investigación con el interés en el uso de la electrolisis básicamente en aguas subterráneas que serán usadas para procesos de embotellado de aguas embotelladas, esto permitirá evaluar su eficiencia, como determinar si presenta mejora en las características físicoquímicas, básicamente en los parámetros a analizar.</p>	

	Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Ítems
<b>General</b>	¿ En qué medida el sistema de electrolisis removerá las concentraciones de Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea de fuente fija obtenida por la empresa AQUA NOA aplicando el método de electrolisis ubicada en Pachacamac, Lima, 2018?	Evaluar el tratamiento de Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -) y solidos disueltos totales (TDS) mediante el método de electrolisis del agua subterránea utilizada por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima 2018	El método de electrolisis remueve considerablemente las concentraciones de Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea de fuente fija obtenida por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.	X: Tratamiento de Electrolisis (en aguas contaminadas) (Variable Independiente)	Criterios de Diseño	Tiempo de retención hidráulica	h	3
						Caudal de diseño	L/h	2
						Amperaje de operación del ionizador	A	1
				Y: Remoción de Nitratos y Solidos Disueltos Totales en Aguas Subterráneas de Fuentes Fijas. (Variable dependiente)	Eficiencia del tratamiento para la remoción de nitratos y solidos disueltos totales	Concentración de nitratos en el agua (inicial-final)	mg/L	6
						Concentración de solidos disueltos totales (inicial-final)	mg/L	5
						Eficiencia de remoción	%	4
						solidos disueltos	mg/L	11
						Color	Pt/Co	10
						conductividad	ms/cm	8
						DBO	mg/L	9
pH	unidad	7						

	Problemas	Objetivos	Hipótesis
<b>Específicos</b>	1	¿Cuáles serán las concentraciones de Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea obtenida de fuente fija obtenidas por la empresa AQUA NOA aplicando el método de electrolisis ubicada en Pachacamac, Lima, 2018?	Determinar las concentraciones de Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA aplicando el método de electrolisis ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.
	2	En cuanto reducirá las concentraciones de Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -) y Solidos Disueltos Totales (TDS) si se incrementan progresivamente los amperajes en el sistema de tratamiento por electrolisis del agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018?	Determinar el amperaje ideal de trabajo en el sistema de tratamiento por electrolisis para la remoción de Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.

## **ANEXO 2: Evidencias fotográficas**

:



Equipos para funcionamiento del ionizador en donde se realizará el proceso de electrolisis



Toma de las primeras muestras del agua subterránea en punto fijo para empezar el tratamiento iniciando con la limpieza del punto



Ionizador donde se realizará el tratamiento de electrolisis con control de amperaje



Pre monitoreo del agua después de pasada por el tratamiento para su posterior embalado para envío a laboratorio



Pre monitoreo del agua después de pasada por el tratamiento para su posterior embalado para envío a laboratorio



Recopilado de muestras de agua ya tratada para su envío a laboratorio



Verificación de parámetros de campos tomados al momento de muestrear el agua en el proceso



Preparación de analítica de muestras para su envío al laboratorio especializado

## **ANEXO 3: Cadena de custodia inicial**

# CADENA DE CUSTODIA INICIAL

Código Número de Custodia			Nombre de la Empresa			
Institución			RUC			Distrito
Teléfono		Fax	Dirección		Provincia	Departamento

Código de Laboratorio	Código de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Tipo de muestra	Tipo de envase		Coordenadas UTM (WGS84)	Tipo de muestra		Parámetros Físico - Químico				Observaciones
					V	P		S	C	SST	DBO	DQO	Turbidez	

Entregado				Recibido				
Nombres y Apellidos	Firma	Institución/empresa		Nombres y Apellidos	Firma	Institución/empresa	Fecha	Hora

Fuente: Ficha adaptada al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales

## **ANEXO 4: Cadena de custodia Final**



## **ANEXO 5: Modelo de Ficha de Registro de Observación de datos de Laboratorio**

## Ficha de Recolección de Datos

Nombre del Operador:

Hora :

Fecha:

Número de Prueba:

Condiciones de la prueba:

Tiempo de Retención Hidráulica (H):

Concentración de Carga orgánica ( $\text{Kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ):

Parámetro	Valor de prueba
Temperatura °C	
pH (Unidad de pH)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	
Tiempo de Arranque del sistema (d)	

**ANEXO 6: Resultados de Análisis de laboratorio muestra inicial y en puntos después del tratamiento de electrolisis en los laboratorios de la empresa MINLAB S.R.L.**







## INFORME DE ENSAYO N° AM-067.18

### RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA PARA CALIDAD PACHACAMAC SECTOR PICAPIEDRA

Emitido en Lima, el 15 de Julio del 2018

XX

Nombre del Solicitante : Gonzales Huayanay Henry Celso  
 Dirección de la Empresa : AQUA NOA  
 Asunto : Parametros de Calidad de Agua –expuesto a tratamiento de electrolisis con regulación de 22 Amperios  
 Numero de Puntos de muestra : 1  
 Fecha de Recepción : 13/07/2018  
 Fecha de Realización del Ensayo : Del 13-07-2018 Hasta 14-07-2018

XX

### RESULTADOS DE LABORATORIO

Parametro Fisicoquimico	Norma Peruana (*)	AGUA TOMADA EN FUENTE FIJA Toma de muestra llevada al area de almacenamiento
Temperatura en °C (**)	Δ 3	20.16
pH en unidades de pH	5.5-9.0	9.005
Conductividad en $\mu s \cdot cm^{-1}$	1600	250
Turbidez en NTU	100	50
Solidos Disueltos Totales (SDT) en $mg \cdot L^{-1}$	1000	72
Cl <sub>2</sub> residual en $mg \cdot L^{-1}$	null	0
Dureza Total en $mg \cdot L^{-1}$	null	101
Dureza Calcica en $mg \cdot L^{-1}$	null	115
Solidos Suspendidos Totales (SST) en $mg \cdot L^{-1}$	null (500)(****)	50
N-NO <sub>3</sub> en $mg \cdot L^{-1}$ (***)	50	7
N-NO <sub>2</sub> en $mg \cdot L^{-1}$ (****)	3	0.8
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> en $mg \cdot L^{-1}$	1.5	0.15
Fenoles en $mg \cdot L^{-1}$	null	0

\* DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, CATEGORIA 1 : A 2  
 \*\* Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada  
 \*\*\* En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (N-NO<sub>3</sub>), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub>).  
 \*\*\*\* En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (N-NO<sub>2</sub>), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO<sub>2</sub>).  
 \*\*\*\*\* Dato de referencia según SEDAPAL  
 Parametros de color rojo exceden los límites admisibles



**Ing. Jesús Iglesias Zolezzi**  
**Sub-gerencia de Medio Ambiente**





**Ing. Martin Rivadeneyra Asanza**  
**Jefe de Laboratorio**

**ANEXO 7: Certificado de acreditación del  
laboratorio MINLAB S.R.L.**

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en ejercicio de las atribuciones conferidas por Ley N° 30234, Ley de Creación del INACAL, y conforme al Reglamento de Organización y Funciones del INACAL, aprobado por DS N° 004-2015-PRODUCE y modificado por DS N° 008-2014-PRODUCE, **OTORGA** la presente Renovación de la Acreditación a:

## **MINERALS OF LABORATORIES S.R.L. - MINLAB S.R.L.**

En su calidad de Laboratorio de Ensayo

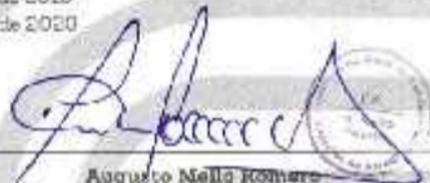
Con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, para el alcance de la acreditación concedido en el formato DA-acr-OSP-177, facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial.

**Sede Acreditada:** Jr. España N° 931, distrito de La Perla, Provincia Constitucional del Callao.

Fecha de Renovación: 13 de febrero de 2016

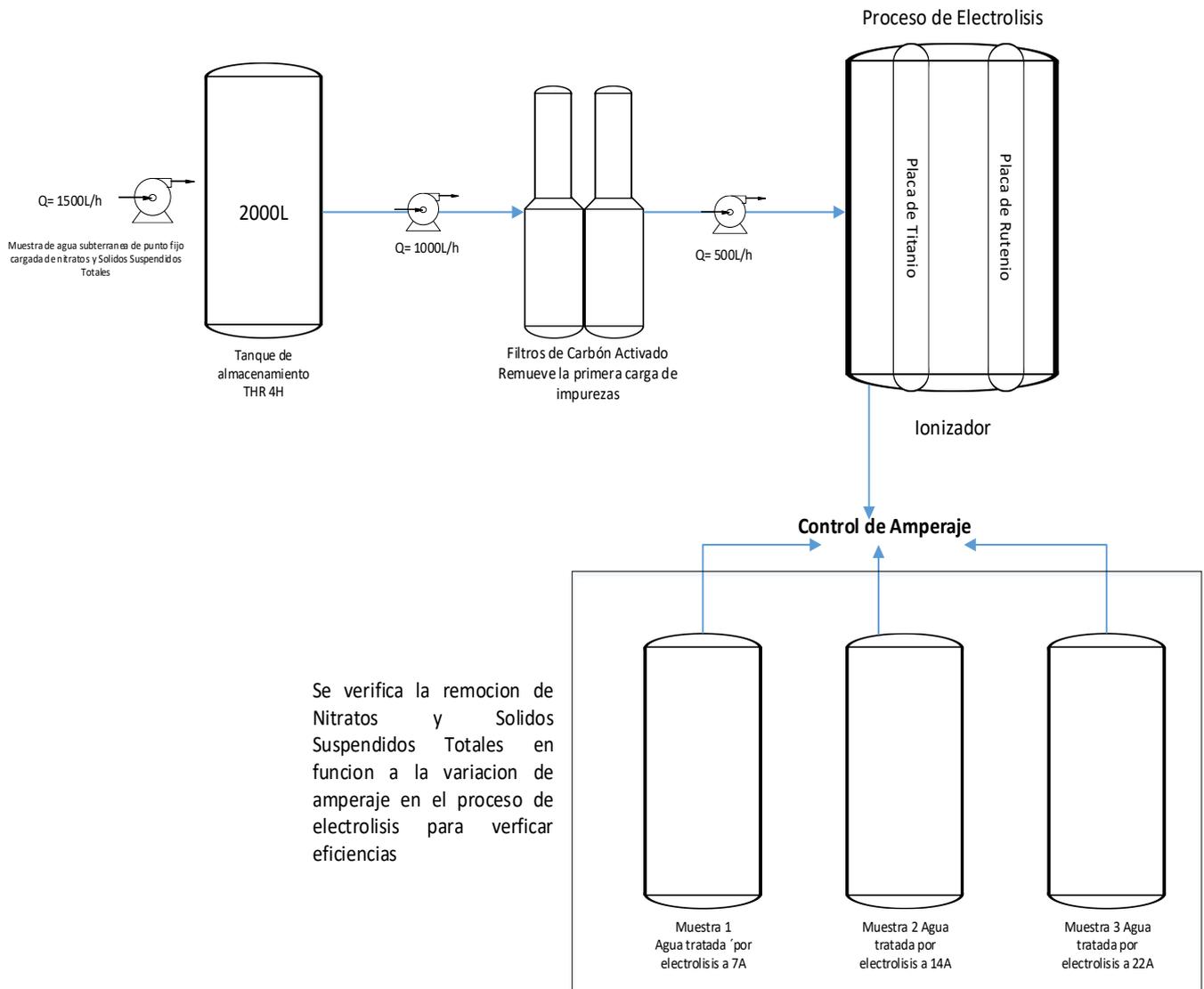
Fecha de Vencimiento: 13 de febrero de 2020

Registro N° LE-03E  
Fecha de emisión: 11 de mayo de 2016  
DA-acr-01P-C2M Ver. 00



**Augusto Nello Romero**  
Director - Dirección de Acreditación

## **ANEXO 8: Diagrama de flujo del proceso realizado en la tesis**



## **ANEXO 9: Presupuesto de la implementación del proceso**

## Presupuesto

**Presupuesto** "APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS Y SU IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NITRATOS Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE FUENTES FIJAS OBTENIDAS POR LA EMPRESA AQUA NOA, PACHACAMAC, 2018

**Subpresupuesto** IMPLEMENTACION DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO AGUAS SUBTERRANEAS POR ELECTROLISIS

**Cliente** MODELO

**Lugar** LIMA - LIMA - PACHACAMAC

Costo al: 15/04/2019

Items	Descripción	Und.	Metrado	Precio Unitario (S/.)	Parcial (S/.)
<b>1.0</b>	<b>TANQUES DE ALMACENAMIENTO-TUBERIAS, LLAVES DE DISTRIBUCION (VALVULAS) DE PVC</b>				
<b>1.1</b>	<b>TANQUES DE ALMACEAMIIENTO</b>				
	Tanques de plastico de 2000 L de volumen	4	8000	1,000.00	4,000.00
<b>1.2</b>	<b>TUBERIAS</b>				
	Tuberías de PVC de dos pulgadas	m	12.00	40.00	480.00
<b>1.3</b>	<b>LLAVES DE DISTRIBUCION</b>				
	Llaves de distribución de PVC de dos pulgadas	unid	3.00	49.00	147.00
	Cajas de Registros	unid	2.00	35.00	70.00
	Operarios de Trabajo y asistente técnico del ionizador	unid	8.00	40.00	320.00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>5017.00</b>
<b>2.0</b>	<b>LABORATORIO</b>				
<b>2.1</b>	<b>ANALISIS DE CALIDAD DEL AGUA</b>				
	Toma de muestra para monitoreo	unid	11.00	200.00	2,200.00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>2,200.00</b>
<b>3.0</b>	<b>ASISTENCIA TECNICA O CONSULTORIA TECNICA</b>	Gbl	2.00	4,000.00	8,000.00
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>8,000.00</b>

<b>4.0</b>	<b>TALLERES Y CAPACITACIONES</b>	Gbl	3.00	750.00	2,250.00
	<b>SUBTOTAL</b>				2,250.00
<b>5.0</b>	<b>TRIPTICO Y DIFUSION</b>	unid	100.00	7.00	700.00
	<b>SUBTOTALES</b>				
<b>1.0</b>	<b>ESTRUCTURA : TANQUES DE ALMACENAMIENTO TUBERIAS LLAVES DE DISTRIBUCION (VALVULAS)</b>				5,017.00
<b>2.0</b>	<b>LABORATORIO</b>				2,200.00
<b>3.0</b>	<b>ASISTENCIA TECNICA O CONSULTORIA TECNICA</b>				8,000.00
<b>4.0</b>	<b>TALLERES Y CAPACITACIONES</b>				2,250.00
<b>5.0</b>	<b>TRIPTICO Y DIFUSION</b>				700.00
	<b>TOTAL GENERAL *</b>				18,167.00
	* Los precios no incluyen IGV				



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS Y SU IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NITRATOS Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE FUENTES FIJAS OBTENIDAS POR LA EMPRESA AQUA NOA, PACHACAMAC, 2018”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**HENRRY CELSO GONZALES HUAYANAY**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

# CONTENIDO

**CAPITULO I : PLANTEAMIENTO DEL  
PROBLEMA**

**CAPITULO II : MARCO TEÓRICO -  
CONCEPTUAL**

**CAPITULO III : FUNDAMENTOS  
METODOLÓGICOS**

**CAPITULO IV : ANÁLISIS Y ORGANIZACIONES DE  
RESULTADOS**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

# INTRODUCCIÓN

La preservación del medio ambiente no solo consiste en el vertimiento de desperdicios indeseables, sino también en el cuidado y ahorro del recurso hídrico.

El agua es uno de los recursos naturales de gran importancia e indispensable para la vida de cada ser vivo, teniendo en cuenta que el 70% de este recurso cubre la mayor parte de la superficie terrestre.

En los últimos años el desarrollo industrial en nuestro país ha incrementado, generando la mayor demanda de producción y el consumo del recurso hídrico para el proceso y elaboración de sus productos y/o derivados, sin embargo el crecimiento de los efluentes de las Industrias es un daño potencial ambiental, teniendo en cuenta que el 70% de los restos de residuos y sustancias tóxicas generadas en la producción se vierten directamente al mar, río u otro cuerpo receptor sin ningún tipo de tratamiento previo, generando un impacto negativo.

La extracción de agua para uso industrial, a pesar de su volumen relativamente pequeño, se ha convertido en un factor importante tanto por la gran competencia con otros usuarios por el abastecimiento de agua, como por la cantidad y diversidad de contaminantes que descarga.

Se evidencia que en Pachacamac la contaminación de acuíferos se manifiesta por la mala praxis al momento de fertilizar el suelo y al fumigar los cultivos creando un excesivo aumento en los Sólidos Disueltos en las fuentes mencionadas



# CAPITULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

	Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Ítems
General	¿ en que medida el sistema de electrolisis removerá las concentraciones de Nitratos (N-NO3-) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea de fuente fija obtenida por la empresa AQUA NOA aplicando el método de electrolisis ubicada en Pachacamac, Lima, 2018?	Evaluar el tratamiento de Nitratos (N-NO3-) y solidos disueltos totales (TDS) mediante el método de electrolisis del agua subterránea utilizada por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018	El método de electrolisis remueve considerablemente las concentraciones de Nitratos (N-NO3-) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea de fuente fija obtenida por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.	X: Tratamiento de Electrolisis (en aguas contaminadas) (Variable Independiente)	Características de Diseño	Tiempo de retención hidráulica	h	3
						Caudal de diseño	L/h	2
						Amperaje de operación del ionizador	A	1
				Y: Remoción de Nitratos y Solidos Disueltos Totales en Aguas Subterráneas de Fuentes Fijas. (Variable dependiente)	Eficiencia del tratamiento para la remoción de nitratos y solidos disueltos totales	Concentración de nitratos en el agua (inicial-final)	mg/L	6
						Concentración de solidos disueltos totales (inicial-final)	mg/L	5
						Eficiencia de remoción	%	4
						solidos disueltos	mg/L	11
						Color	Pt/Co	10
						conductividad	ms/cm	8
						DBO	mg/L	9
pH	unidad	7						
Problemas		Objetivos		Hipótesis				
Específicos	1	¿Cuáles serán las concentraciones de Nitratos (N-NO3-) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea obtenida de fuente fija obtenidas por la empresa AQUA NOA aplicando el método de electrolisis ubicada en Pachacamac, Lima, 2018?	Determinar las concentraciones de Nitratos (N-NO3-) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA aplicando el método de electrolisis ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.	Las concentraciones de Nitratos (N-NO3-) y Solidos Disueltos Totales (TDS) se encuentran elevados en el agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.				
	2	En cuanto reducirá las concentraciones de Nitratos (N-NO3-) y Solidos Disueltos Totales (TDS) si se incrementan progresivamente los amperajes en el sistema de tratamiento por electrolisis del agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018?	Determinar el amperaje ideal de trabajo en el sistema de tratamiento por electrolisis para la remoción de Nitratos (N-NO3-) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.	El sistema de tratamiento por electrolisis para la remoción de Nitratos (N-NO3-) y Solidos Disueltos Totales (TDS) tiene un amperaje ideal de 21 a 23 amperios para el agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.				

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

## JUSTIFICACIÓN

- ▶ La gran problemática ambiental que se está dando a raíz de diferentes actividades antrópicas está degradando los recursos naturales por un vertimiento de efluentes sin algún tratamiento, nos vemos en emplear de nuevas alternativas tecnológicas y económicas que nos permitan mitigar contaminantes. Diversos estudios demuestran que la electrolisis y métodos asociados a la separación o encapsulamiento electroquímico dan buenos resultados para la reducción de contaminante, razón que ha propiciado que el presente trabajo de investigación con el interés en el uso de la electrolisis básicamente en aguas subterráneas que serán usadas para procesos de distribución de aguas embotelladas, esto permitirá evaluar su eficiencia, como determinar si presenta mejora en las características físicoquímicas, básicamente en los parámetros a analizar.



# CAPITULO II : MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

## Marco Referencial

### Antecedentes de la investigación



Según Martínez F (2008), en su tesis doctoral titulada: "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN Y COAGULACIÓN CONVENCIONAL", se pretende evaluar el rendimiento de estas dos tecnologías al tratar aguas residuales industriales. Existen numerosos tipos de aguas y aguas residuales (las aguas de abastecimiento, efluentes industriales consistentes en suspensiones coloidales, aguas residuales contaminadas con macromoléculas orgánicas disueltas o las emulsiones de aceite en agua (O/W)) susceptibles de ser tratadas mediante coagulación, una operación dirigida a la consecución de la desestabilización de los contaminantes mediante su interacción con un reactivo (generalmente, sales de  $Fe_{(III)}$  y de  $Al_{(III)}$ ). Esta operación puede complementar, en el tratamiento de un agua, a operaciones convencionales de separación sólido-líquido (flotación, decantación, etc.). En este contexto, una alternativa novedosa a la adición de disoluciones de sales de  $Fe_{(III)}$  y de  $Al_{(III)}$  es la generación de estos compuestos in situ, mediante la disolución de láminas metálicas de hierro o aluminio. Para ello, se utilizan las planchas de hierro o de aluminio como ánodos de una celda electroquímica, y se controla la velocidad de aparición de estos componentes modificando la intensidad de corriente que se hace circular por la celda. Este proceso se conoce como electrocoagulación y, en principio, sus defensores aseguran que permite un mejor control en la dosificación de reactivos, y un ahorro significativo en los costes de operación.

Para finalizar, es importante comentar que los resultados obtenidos en los estudios experimentales se han abstraído mediante el desarrollo de dos modelos matemáticos. Un primer modelo, simula los resultados obtenidos en las condiciones operativas en las que tiene lugar la electrodisolución de electrodos de aluminio, y considera, para justificar adecuadamente los procesos de corrosión de los electrodos, un patrón de flujo altamente segregado para la descripción fluido dinámica de la celda, y que el pH en la superficie de los electrodos difiere de forma significativa del pH medido en la celda. El segundo modelo, simula los resultados obtenidos en los procesos de coagulación convencional y electroquímica de los tres tipos de aguas residuales estudiadas en la tesis, modelados por medio de aproximaciones de pseudo equilibrio. Para ello, considera una descripción fluidodinámica macroscópica de la celda, las especies de aluminio generadas, y los mecanismos de coagulación predominantes en cada sistema. Ambos modelos han sido validados con los resultados obtenidos en los estudios anteriormente citados, confirmando la validez de las suposiciones utilizadas por los elevados coeficientes de correlación obtenidos.

Para Gülpayas, E. & Arbeláez, E. & Sierra, L. & White, C. & Oviedo, C. & Restrepo, P. (2005), en su investigación titulada: "APLICACIÓN DE LA ELECTROQUÍMICA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES" En este estudio se evaluó la electrocoagulación como tratamiento para aguas residuales del proceso de curtiembre de una curtiembre y de aguas residuales provenientes del proceso de teñido en un floricultivo. Los experimentos se llevaron a cabo en un reactor a escala laboratorio con configuración monopolar con electrodos de hierro y aluminio que operaba de modo discontinuo (batch).

Para el caso del  $Cr^{2+}$ , se realizaron ensayos preliminares con un volumen de muestra de 150 ml, un área de electrodos sumergida de 27  $cm^2$  y un tiempo de residencia de 30 minutos y se determinaron los valores óptimos de la agitación y la separación entre electrodos, encontrándose valores de agitación de 370 rpm y separación entre electrodos de 5 mm. En el diseño de experimentos final se evaluó la concentración inicial de la muestra, el voltaje y el tipo de electrodos. Las condiciones óptimas obtenidas a partir del análisis estadístico fueron 13 voltios, Agitación 382 rpm, electrodos de Al, concentración inicial de la solución 2364,57 ppm y distancia entre electrodos de 5 mm. Con las condiciones óptimas se validó el modelo, tanto para la solución diluida (2364,57 ppm) como para la solución natural (3456,7 ppm) y se evaluó la cinética para la remoción de  $Cr^{2+}$  y remoción de DQO y COT, además de DBO<sub>5</sub> para antes y después del tratamiento. Se trató un volumen de 500 ml de solución durante un tiempo de reacción de 60 minutos. Para la muestra natural se presentó una remoción de  $Cr^{2+}$  del 71,98%, remoción de DQO del 50,67%, remoción de TOC del 19% y un aumento en la biodegradabilidad del agua del 72,88%. La solución diluida presentó una remoción de  $Cr^{2+}$  del 99,76%, remoción de la DQO del 60%, remoción de TOC 51,23% y un aumento en la biodegradabilidad del agua del 77,22%.

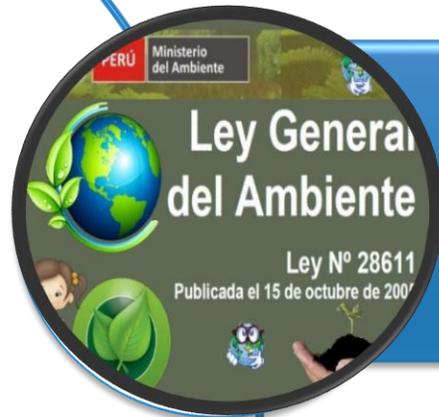
Para las aguas del floricultivo, los ensayos fueron llevados a cabo con un volumen de muestra de 700 ml, agitación de 370 rpm, una separación y área de los electrodos de 5 mm y 62,8  $cm^2$  respectivamente. Los efectos de la conductividad, concentración inicial de la muestra y la corriente, fueron evaluados sobre el porcentaje de remoción de color, DQO, DBO<sub>5</sub> y COT, para un tiempo de residencia de 10 minutos. Debido a que bajo las condiciones evaluadas, los tratamientos con electrodos de hierro presentaron mayores porcentajes de remoción de color (100%) en comparación con los electrodos de aluminio (49,7%), se realizaron los ensayos con las condiciones óptimas de operación utilizando electrodos de hierro, reportando un porcentaje de remoción de DQO de 59,31% y una decoloración del 97,23% para un tiempo de 8 minutos. Adicionalmente, el porcentaje de remoción de COT fue de un 41,81%, para el tiempo de residencia empleado en los ensayos.

### Referencias Teóricas



Para Arango, A. (2005), en su investigación titulada: "LA ELECTROCOAGULACION: UNA ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES" se presenta como uno de los desafíos mayores que enfrenta hoy la humanidad es proporcionar agua limpia a una inmensa mayoría de la población mundial. Por ello, hay una necesidad urgente de desarrollar técnicas innovadoras, más eficaces y económicas para el tratamiento de aguas residuales. La electrocoagulación, una tecnología conocida desde principios del siglo XX, ha evolucionado, siendo eficazmente aplicada en la actualidad para el tratamiento de las aguas residuales de la industria del papel, la minería y la industria de metales pesados. Además, la electrocoagulación se ha aplicado para tratar agua que contiene la pérdida de alimentos, grasas, tintes, partículas suspendidas, entre otros. Desde esta perspectiva, la electrocoagulación se convierte en un proceso electroquímico que puede tener resultados exitosos en su aplicación, optimizando los factores que lo conforman, alcanzando el reto de proteger, conservar y recuperar el recurso hídrico.

# Marco Legal



**LEY N° 28611 LEY GENERAL DEL AMBIENTE.**



**DECRETO SUPREMO N° 031-2010-SALUD :  
REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA  
CONSUMO HUMANO.**

## TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS (EN AGUAS CONTAMINADAS)

La electrólisis se puede definir como un proceso en el que el paso de la corriente eléctrica a través de una disolución o a través de un electrolito fundido, da como resultado una reacción de oxidación – reducción (redox), no espontánea.

La conductividad eléctrica se lleva a cabo en cubas o celdas electrolíticas, para poder reproducir una reacción de oxidación-reducción, en la electrólisis, proceso que tiene gran interés práctico



## MARCO TEÓRICO

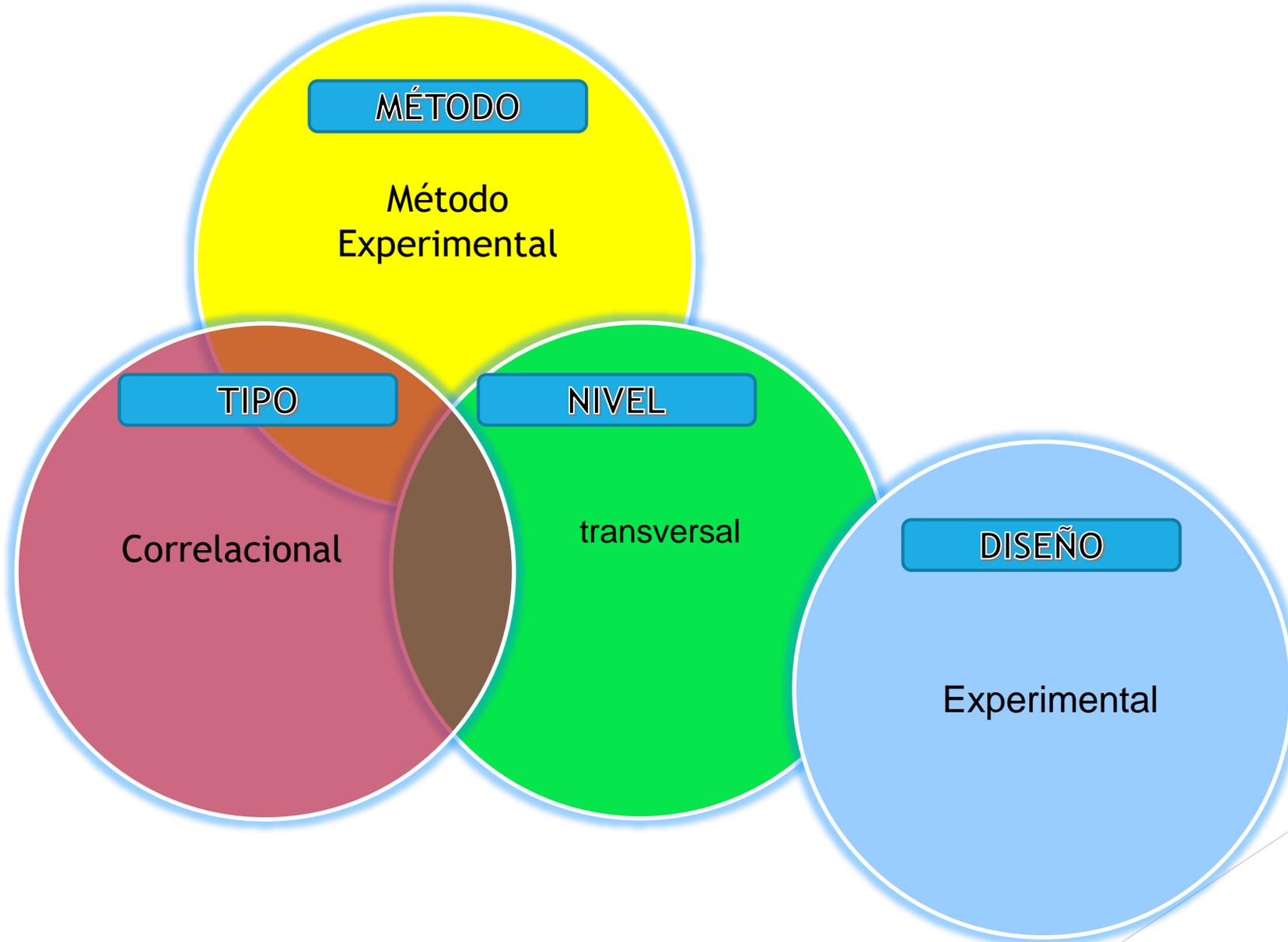


## REMOCIÓN DE NITRATOS Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE FUENTES FIJAS.

Los nitratos y Sólidos Disueltos pueden ser producidos tanto por fuentes naturales como antropogénicas, siendo estas últimas las responsables del importante aumento en su concentración observado en los últimos años. Así, los residuos industriales constituyen una fuente importante de nitratos en las aguas, siendo las industrias más contaminantes los mataderos, destilerías, azucareras, industrias de levadura, de almidón, textiles y fertilizantes. Sin embargo, estas emisiones suelen estar bastante controladas y son muy puntuales.



## CAPITULO III : FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS



# Hipótesis General

El método de electrolisis remueve considerablemente las concentraciones de Nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ) y Solidos Disueltos Totales (TDS) del agua subterránea de fuente fija obtenida por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.

Las concentraciones de Nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ) y Solidos Disueltos Totales (TDS) se encuentran elevados en el agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.

El sistema de tratamiento por electrolisis para la remoción de Nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ) y Solidos Disueltos Totales (TDS) tiene un amperaje ideal de 21 a 23 amperios para el agua subterránea obtenida de fuente fija por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, 2018.

**HIPÓTESIS  
ESPECÍFICAS**



**Muestra**  
Constituida por 4 litros de agua subterránea tomada en punto fijo y 3 litros al momento de pasar al ionizador

**Población**  
Todos los puntos de muestra fija de agua subterránea de la empresa AQUA NOA.

**Muestreo**  
Se muestrea durante quince días para asegurar la variación del amperaje en el ionizador y hacer efectivo el proceso de electrolisis

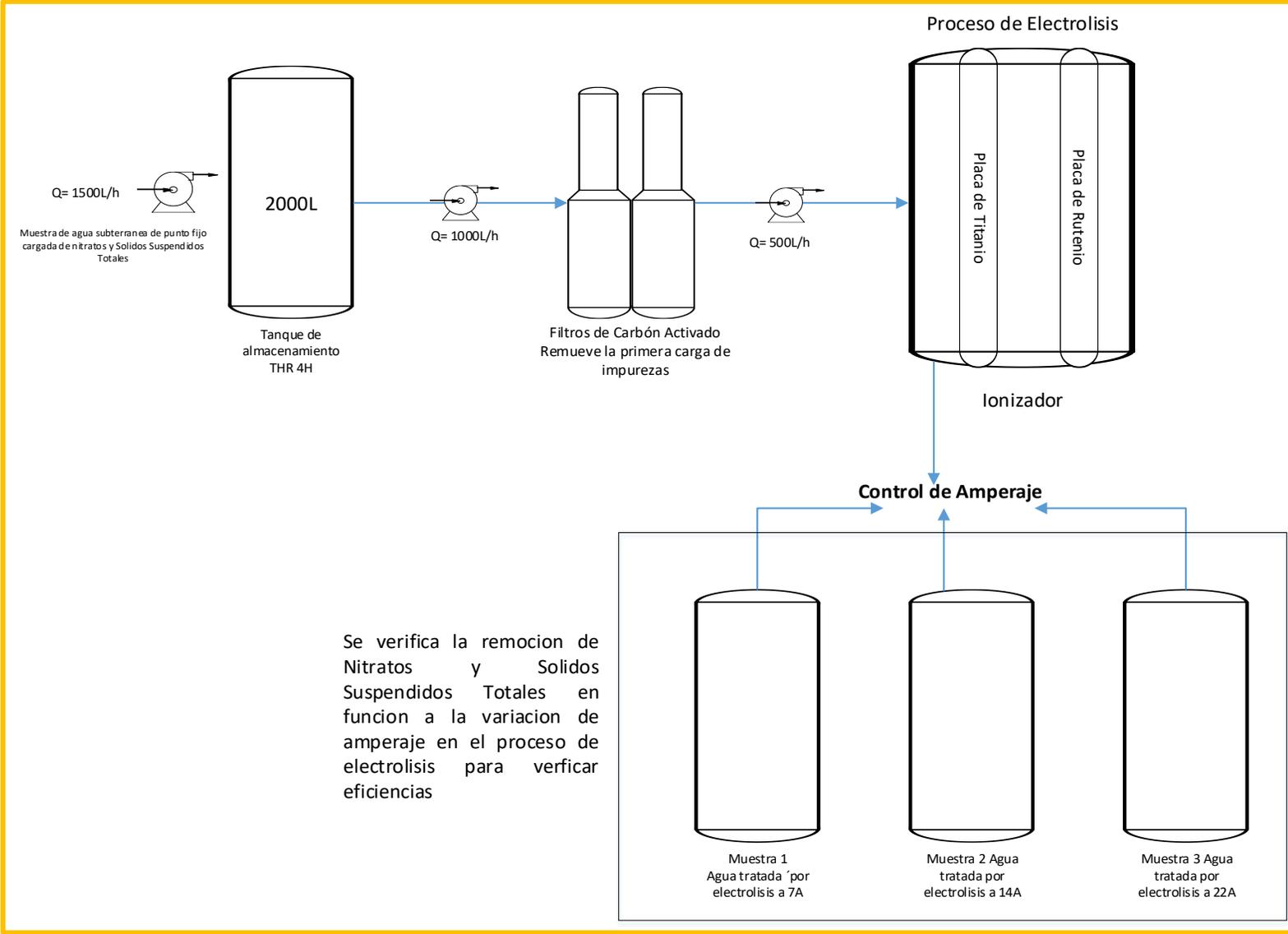
**Variable independiente**  
TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS (EN AGUAS CONTAMINADAS)

**VARIABLES**

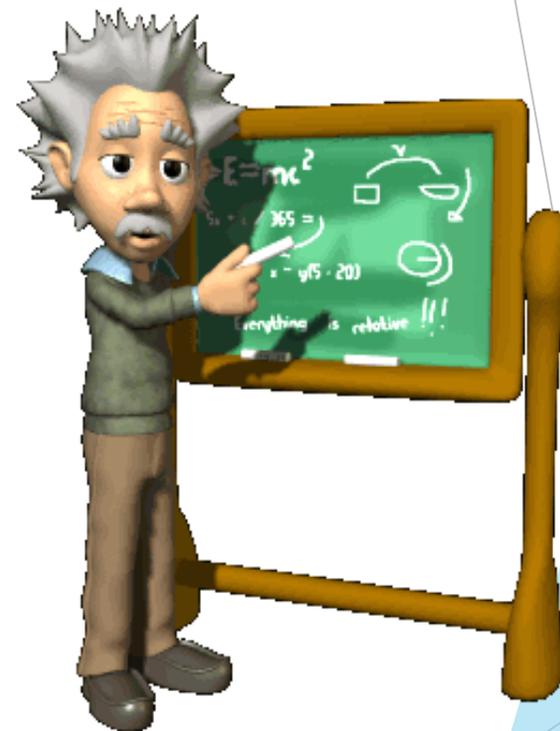
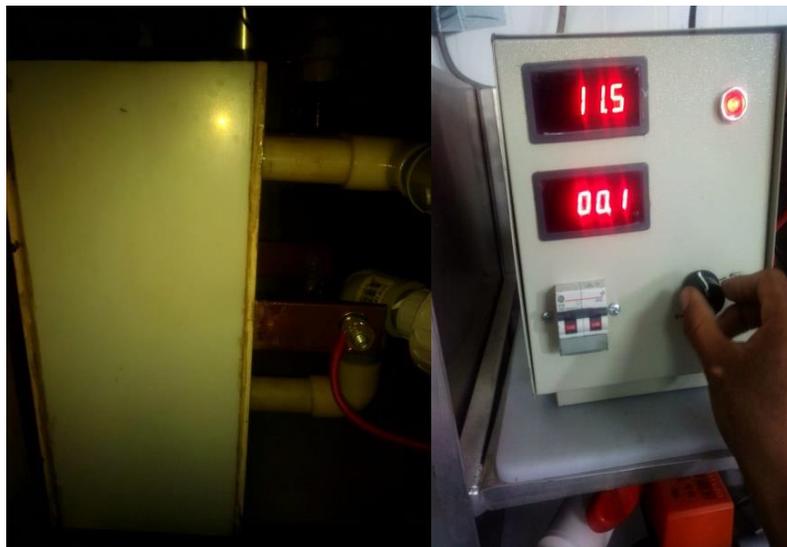


**Variable dependiente.**  
REMOCIÓN DE NITRATOS Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE FUENTES FIJAS.

# CAPITULO IV : ANÁLISIS Y ORGANIZACIONES DE RESULTADOS



# RESULTADOS



# CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

Parametro Fisicoquimico	Norma Peruana (*)	AGUA TOMADA EN FUENTE FIJA
		Toma de muestra llevada al área de almacenamiento
Temperatura en °C (**)	25	23.67
pH en unidades de pH	5.5-9.0	7.69
Conductividad en $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$	1600	1540
Turbidez en NTU	5	150
Solidos Disueltos Totales (SDT) en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1000	1100
$\text{Cl}_2$ residual en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	5	0.003
Dureza Total en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	500	393.5
Dureza Calcica en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	null	109.8
Solidos Suspendidos Totales (SST) en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	500	673
$\text{N}\cdot\text{NO}_3^-$ en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (***)	50	67
$\text{N}\cdot\text{NO}_2^-$ en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (****)	3	3.57
$\text{N}\cdot\text{NH}_4^+$ en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1.5	1.25
Fenoles en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	null	0.001

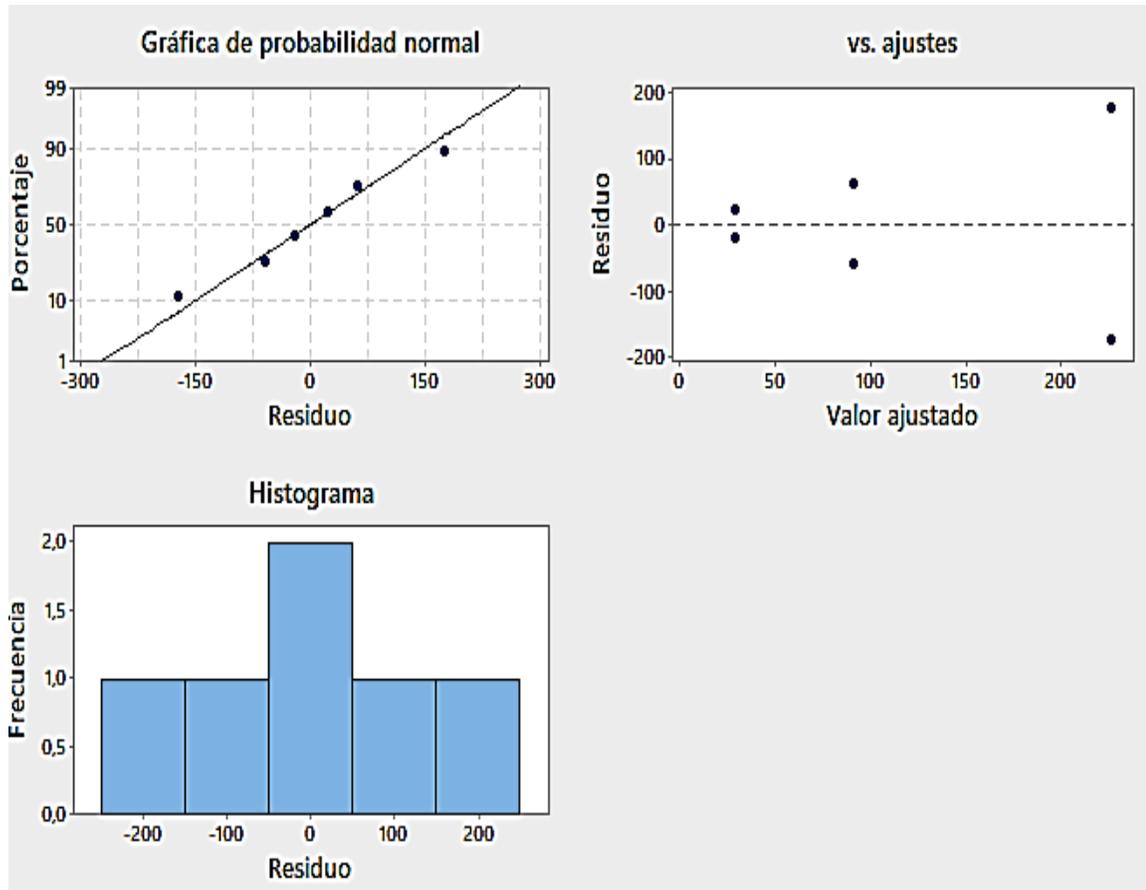
\* DECRETO SUPREMO N° 031-2010-SALUD

\*\*\* En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ( $\text{N}\cdot\text{NO}_3^-$ ), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).

\*\*\*\* En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ( $\text{N}\cdot\text{NO}_2^-$ ), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ).

Parametros de color rojo exceden los limites admisibles

# ANOVA Y AGRUPACION TUKEY PARA LA EFECTIVIDAD EN EL TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS EN NITRATOS Y SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES



## ANALISIS DE NORMALIDAD DE FISHER

### Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

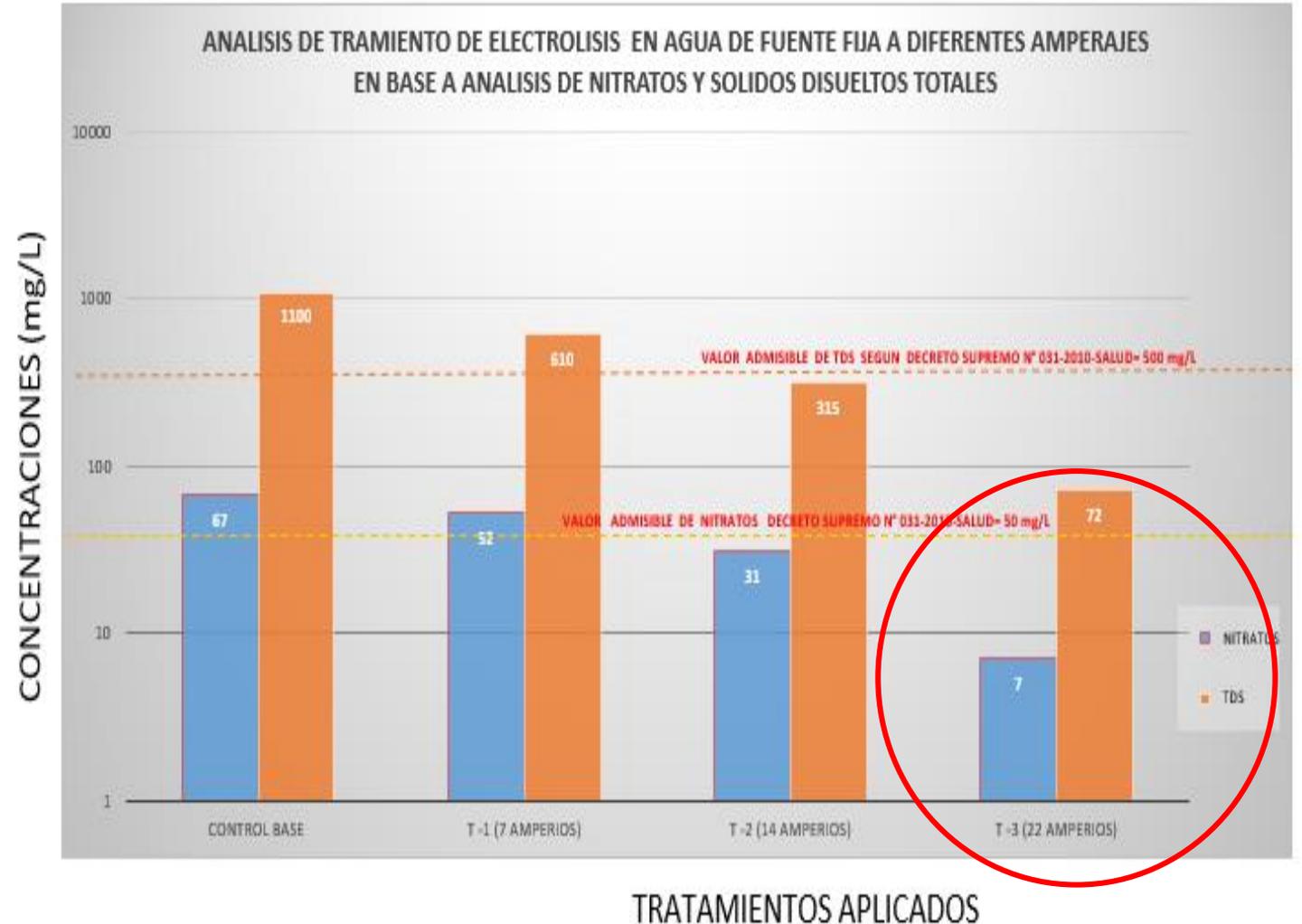
Factor	N	Media	Agrupación
TRATAMIENTO UNO	2	226	A
TRATAMIENTO DOS	2	90,5	A
TRATAMIENTO TRES	2	28,5	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

De lo anterior se puede inferir que las medias presentan la misma letra de emparejamiento lo que me permite identificar que los tratamientos son significativos pero hay mayor significancia en el tratamiento 3 ya que presenta una media menor a los tratamientos especificados

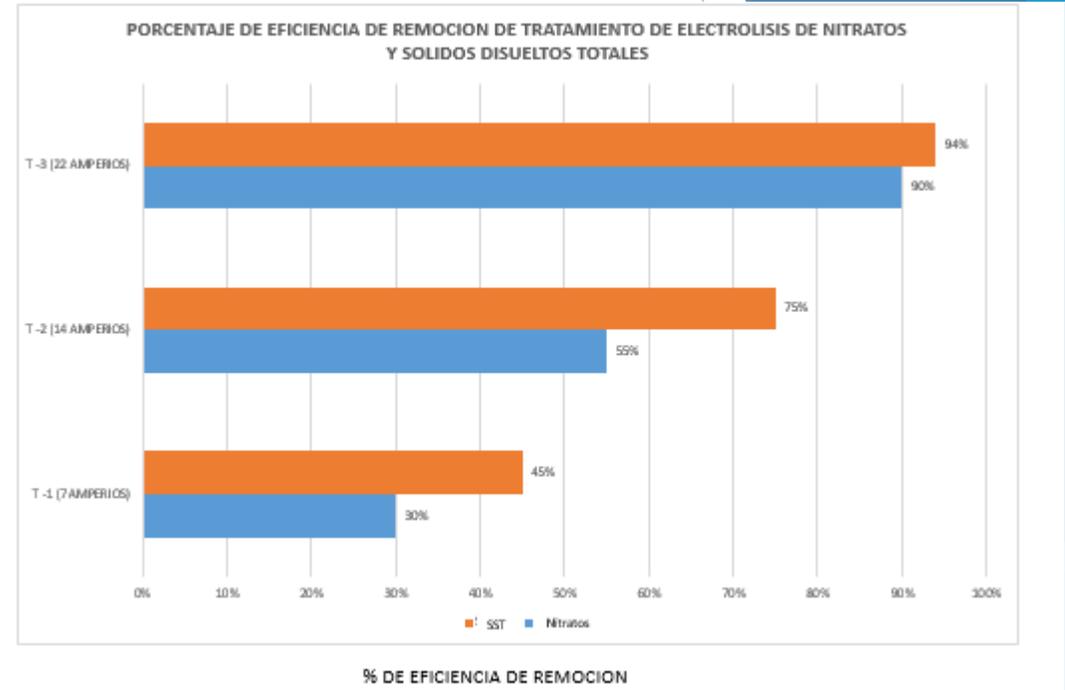
# RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DE ELECTROLISIS PARA REMOCION DE NITRATOS Y SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES CON CONTROL DE AMPERAJE DE IONIZADOR

TRATAMIENTO	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TDS	DECRETO SUPREMO N° 031-2010-SALUD	
	mg/L	mg/L	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	TDS mg/L
CONTROL BASE	67	1100	50	500
T -1 (7 AMPERIOS)	52	610	50	500
T -2 (14 AMPERIOS)	31	315	50	500
T -3 (22 AMPERIOS)	7	72	50	500
Promedio	30	332.333333		



## PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCION DE NITRATOS Y SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LOS TRATAMIENTOS

TRATAMIENTO	EFICIENCIA DE REMOCION (%)	
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TDS
	%	%
T -1 (7 AMPERIOS)	30%	45%
T -2 (14 AMPERIOS)	55%	75%
T -3 (22 AMPERIOS)	90%	94%



# CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS VS RESULTADOS

HIPÓTESIS PRINCIPAL	RESULTADOS	VERDADERO / FALSO
El proceso de Electrolisis aplicado removera eficientemente los Nitratos y Solidos Disueltos Totales Determinar la eficiencia de remoción de Nitratos (N-NO3-) y solidos suspendidos totales (TDS) del agua subterránea obtenida en fuente fija tratada por el método de electrolisis por la empresa AQUA NOA ubicada en Pachacamac, Lima, Lima 2018	Los resultados obtenidos muestran que, con la aplicación del tratamiento de electrolisis con amperaje controlado influye significativamente en la eficiencia de remoción de Nitratos y Solidos Disueltos Totales , con lo que demuestra la capacidad de remoción que tiene el método en mención , teniéndose como valor inicial en lo que respecta a Nitratos 67 mg/L y en lo respecta a Solidos Disueltos Totales 1100mg/L al aplicar el tratamiento de electrolisis con amperaje controlado de 22A, se obtiene en lo que respecta a Nitratos un valor de 7mg/L y referente a Solidos Disueltos Totales 72mg/L como valores finales obteniéndose como eficiencia de remoción en Nitratos un 90 %.y en Solidos Disueltos Totales de 94 %. Estos resultados valida la hipótesis demostrando la eficiencia del tratamiento.	V
<b>HIPÓTESIS SECUNDARIAS</b>		
El amperaje ideal del proceso de electrolisis permitirá alcanzar la máxima remoción de nitratos y solidos suspendidos totales	Se verifica que al usar 22A se remueve 90% y 94% en Nitratos y Solidos Disueltos Totales respectivamente	V
El tratamiento de electrolisis influye significativamente sobre las características fisicoquímicas del agua obtenida de fuentes fijas por la empresa AQUA NOA.	Los parametros fisicoquímicos base disminuyen significativamente debido a que no solo disminuye la concentración de Nitratos y Solidos Disueltos Totales sino también otros como DBO, la DQO ,cargas de Cationes y Aniones en el agua ya que la relación con otros parametros con los estudiados es directa en lo que respecta a la eficiencia de remoción.	V

# CONCLUSIONES



Se evaluó la eficiencia de remoción de nitratos y sólidos disueltos totales aplicando el método de electrolisis con control de amperaje en aguas subterráneas de fuentes fijas por la empresa AQUA NOA -2018, en lo que se obtuvo eficiencia de remoción de nitratos en los tratamientos del T1 con 30% con amperaje en el ionizador de 7 amperios, T2 con 55% con amperaje en el ionizador de 14 amperios y T3 con 90% con un amperaje en el ionizador de 22 amperios también se obtuvo una eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales en los tratamientos del T1 con 45 % con amperaje en el ionizador de 7 amperios, T2 con 75 % con amperaje en el ionizador de 14 amperios y T3 con 94% con un amperaje en el ionizador de 22 amperios siendo más eficiente el T3 en la remoción de estos dos parámetros fisicoquímicos. Esto se fundamenta en la investigación de Gilpavas, E. & Arbeláez, E. & Sierra, L. & White, C. & Oviedo, C. & Restrepo, P. (2008) , teniendo una gran diferencias básicamente en que estos autores fundamentan su eficiencia en base a manejo de voltaje y tipo de celda pero dan una puerta abierta a experimentar con el control de amperaje como base de los tratamientos electroquímicos.



Se determinó el amperaje óptimo en la remoción de nitratos y sólidos suspendidos totales que fue en el T3 con 22 amperios en lo que se obtuvo mejor eficiencia de remoción de nitratos y sólidos suspendidos totales.



Se determinó una reducción considerable en concentración de los nitratos y sólidos suspendidos totales del agua subterránea de fuente fija en el mejor tratamiento ( T3) en lo que respecta a nitratos paso de una concentración inicial de 67mg/L a 7mg/L y en los que respecta a sólidos disueltos totales de 1100mg/L a 380mg/L esto se presenta en un escenario de ionizador con control de amperaje a 22 amperios

## RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar nuevos trabajos de investigación con la remoción de otros parametros aplicando el mismo tratamiento en otras condiciones de trabajo y verificar su eficiencia

Se sugiere realizar mayores pruebas con respecto al control de amperaje del ionizador (donde se da el proceso de electrolisis), para así poder tener mayor espectro de variación de amperaje

Realizar nuevas investigaciones que profundicen el tema realizado en esta investigación a fin de que se profundice en temas relacionados con los tratamientos de aguas con electroquímicas ( sea electrolisis, electrocoagulación y electroxidacion)



**GRACIAS**