# UNIVERSIDAD DE LAMBAYEQUE

## FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

**TESIS**

# ANALISIS DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO ELECTROQUIMICO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR JAEN, CAJAMARCA, 2017

**PRESENTADA PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**Autores:**

**Alaya Esparraga, Sarita Rebeca.**

**Barboza Elera, Edwin Alexander**

**Asesor:**

**Dr. Rodríguez Vega Juan Luis**

**Línea de Investigación:**

**Contaminación Ambiental y Biotecnología**

**Chiclayo – Perú**

**2018**

**FIRMA DEL ASESOR Y JURADOS DE TESIS**

**Dr. Juan Luis Rodríguez Vega**
**ASESOR**

**Mg. Luis Fernando Terán Bazán**
**PRESIDENTE**

**Mg. Enrique Santos Nauca Torres**
**SECRETARIO**

**Dr. Juan Luis Rodríguez Vega**
**VOCAL**

# DEDICATORIA

A Dios, le dedico el presente logro por haberme dado la vida para estar presente en este momento y poder disfrutar de esta meta cumplida y por haberme dado la dicha de ser en este momento la persona que soy. A mis Padres, Maritza Elera y Cecilio Barboza, por ser mí apoyo incondicional y modelos a seguir. Por brindarme Educación, Respeto, Fortaleza y Humildad. Por enseñarme que en la vida se deben tener metas para cumplir y nunca caer ante la adversidad. Mamá y Papá, les dedico este logro con todo mi Amor, porque son lo más importante en mi vida y espero que estén alegres por el segundo triunfo, los amo muchísimo.
(Edwin Alexander Barboza Elera)

A Dios por darme sabiduría y por guiar mis pasos siempre por el buen camino y me ha colmado de salud para permitirme lograr esta meta. A mis Abuelos por siempre estar presente en todos los momentos de mi vida y por inculcarme todos sus valores para ser quien soy en la vida. A mis padres José Aurán Alaya y Luz Marilú Esparraga; por ser mi apoyo incondicional durante toda mi vida y por guiarme siempre por el buen camino y estar siempre allí cuando los he necesitado. A mi compañero de tesis, Edwin Alexander, por llenarse de paciencia, durante todo este tiempo que se tomó la investigación y brindarme su apoyo incondicional en todo momento.
(Sarita Rebeca Alaya Esparraga)

# AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Lambayeque por todos los recuerdos que de ahora en adelante podremos tener como ex alumnos y futuros profesionales.

A la Universidad Nacional de Jaén por abrirnos sus puertas para la realización de los análisis de esta investigación y poner a nuestra disposición todos los implementos y materiales que necesitamos para llevar a cabo este informe de proyecto.

A nuestro asesor, el Doctor Luis Rodríguez Vega por dedicarnos su tiempo y sabios conocimientos para la culminación exitosa de esta tesis, ya que sin su ayuda no hubiera sido posible llevarlo a cabo.

Al Ingeniero Luis Alberto Lumbre Racchumi por habernos facilitado todos los implementos para llevar a cabo el proyecto.

A nuestro amigo el Biólogo Jean Karlo Ruiz Hu Jefe del Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Jaén; por facilitarnos información.

Edwin Alexander Barboza Elera y Sarita Rebeca Alaya Esparraga.

# CONTENIDO

RESUMEN ..... 14
I. INTRODUCCIÓN ..... 16
II. MARCO DE TEÓRICO ..... 19
2.1. Antecedentes bibliográficos ..... 19
2.2. Bases teórico-cientificas ..... 21
2.2.1. Aguas residuales ..... 21
2.2.2. Normativa Peruana. ..... 25
2.2.3. La electroquímica: ..... 28
2.3. Definición de términos básicos ..... 34
2.4. Hipótesis ..... 35
III. MATERIALES Y MÉTODOS ..... 35
3.1. Variables y operacionalización de variables ..... 35
*3.1.1.* Variables ..... 35
Variable unica ..... 35
3.1.2. Operacionalización de variables ..... 36
3.2. Tipo de estudio y diseño de investigación ..... 36
3.2.1. Tipo de estudio ..... 36
3.2.2. Diseño ..... 37
3.3. Población y muestra en estudio ..... 37
3.3.1. Población ..... 37
3.3.2. Muestra de estudio ..... 37
3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos. ..... 38
3.4.1. Técnicas de recolección de datos ..... 38
3.4.2. Cuadros para la recolección de datos estadísticos. ..... 39
3.4.3. Fases de la investigación. ..... 40
3.5. Procesamiento de datos y análisis estadístico ..... 46
IV. RESULTADOS ..... 46

4.1. Resultados relacionados con la identificacion de las características del tratamiento electroquímico. ..... 46
4.2. Resultados relacionados con la eficiencia del proceso ..... 52
V. DISCUSIÓN ..... 56
VI. CONCLUSIONES ..... 59
VII. RECOMENDACIONES ..... 59
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 60
IX. ANEXO PANEL FOTOGRAFICO ..... 65

# INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Componentes y variables físicas, químicas y biológicas que tienen las aguas residuales ..... 23
Tabla 2: Procesos unitarios según la etapa de tratamiento ..... 24
Tabla 3: Categoría 1: población y recreacional ..... 27
Tabla 4: Categoría 2: actividades de extracción y cultivo marino costeras y continentales ..... 27
Tabla 5: Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales ..... 28
Tabla 6: Categoría 4: conservación del ambiente acuático ..... 28
Tabla 7: Cuadro para recoger datos antes y después del proceso. ..... 38
Tabla 8: Condiciones de voltaje y tiempo para ensayos ..... 39
Tabla 9: Condiciones sin voltaje ..... 40
Tabla 10: Información sobre la cubeta electroquímica ..... 46
Tabla 11: Características iniciales del agua residual antes de agregarle 5 voltios ..... 47
Tabla 12: Características iniciales del agua residual antes de agregarle 8 voltios ..... 48
Tabla 13: Características iniciales del agua residual antes de agregarle 12 voltios ..... 48
Tabla 14: Resultado de los ensayos v1 con un tiempo de 10 min. ..... 49
Tabla 15: Resultado de los ensayos v1 con un tiempo de 20 min. ..... 49
Tabla 16: Resultado de los ensayos v1 con un tiempo de 40 min. ..... 49
Tabla 17: Resultado de los ensayos v2 con un tiempo de 10 min ..... 50
Tabla 18: Resultado de los ensayos v2 con un tiempo de 20 min. ..... 50
Tabla 19: Resultado de los ensayos v2 con un tiempo de 40 min ..... 50
Tabla 20: Resultado de los ensayos v3 con un tiempo de 10 min. ..... 51
Tabla 21: Resultado de los ensayos v3 con un tiempo de 20 min. ..... 51
Tabla 22: Resultado de los ensayos v3 con un tiempo de 40 min. ..... 51
Tabla 23: Promedio del resultado con v1 ..... 52
Tabla 24: Promedio del resultado con v2 ..... 53
Tabla 25: Promedio del resultado con v3 ..... 55

# INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Determinación del ph ..... 41
Figura 2: Determinación de la conductibilidad y temperatura..... 42
Figura 3: Determinación de coliformes totales ..... 43
Figura 4: Determinación de coliformes termotolerantes ..... 44
Figura 5: Diseño del de un prototipo electroquímico ..... 45
Figura 6: Funcionamiento del proceso electroquímico. ..... 47
Figura 7: Promedio de coliformes totales después de la aplicación proceso electroquímico usando v1 con diferentes tiempos. ..... 52
Figura 8: Promedio de coliformes termotolerantes después de la aplicación proceso electroquímico usando v1 con diferentes tiempos. ..... 53
Figura 9: Promedio de coliformes totales después de la aplicación proceso electroquímico usando v2 con diferentes tiempos. ..... 54
Figura 10: Promedio de coliformes termotolerantes después de la aplicación proceso electroquímico usando v2 con diferentes tiempos. ..... 54
Figura 11: Promedio de coliformes totales después de la aplicación proceso electroquímico usando v2 con diferentes tiempos. ..... 55
Figura 12: Promedio de coliformes termotolerantes después de la aplicación proceso electroquímico usando v2 con diferentes tiempos. ..... 56
Figura 13: Estufa de incubación ..... 65
Figura 14: Autoclave ..... 65
Figura 15. Maquina electroquímica ..... 66
Figura 16: Celda electroquímica de cobre y plata ..... 66
Figura 17: Muestras con cultivo preparados termotolerantes..... 66
Figura 18: Muestras con cultivos preparados totales ..... 66
Figura 19: Dejando la muestra en la incubadora..... 66
Figura 20: Preparación de muestras ..... 66
Figura 21: Agua residual después del tratamiento electroquímico ..... 66

## RESUMEN

El presente trabajo tiene por finalidad de establecer la calidad del agua residual antes y después del proceso electroquímico de la provincia de Jaén y su caracterización fisicoquímica y microbiológica se, tomando como base las muestras de acuerdo a la normativa peruana por el método del número más probable para el recuento de coliformes totales y termotolerantes. La presente investigación tiene como objetivo principal determinar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales; a través del tratamiento electroquímico en eliminar la concentración de coliformes totales y termotolerantes de las aguas residuales de la PTAR de Jaén; con la intención de cumplir con la D.S. N° 015 – 2015 – MINAN, Estándares de Calidad Ambiental y de esta manera colaborar con la reutilización del mismo para diferentes fines. Para su desarrollo se empleó al procedimiento electroquímico, que consistió en agregarle corriente eléctrica a 400 ml. de aguas residuales de la PTAR Jaén; mediante una celda de cobre y de plata. Las dimensiones de cada celda fueron de 9.5cmx5cm y un espesor de 0,1cm. Se ha decidido trabajar con tres tipos de voltios (5, 8 y 12); y con los tiempos de (10, 20 y 40 minutos). Las muestras iniciales antes del proceso electroquímico tienen como parámetros al pH entre 7.38 y 7.68, temperatura entre 19.1 ºC y 20.2 ºC, conductividad entre 749 µs/cm y 949 µs/cm, coliformes totales >1600 y coliformes termotolerantes >1600. Se logró reducir menos de 1.8 usando como el método del Numero Más Probable, agregando un voltaje de 12 voltios y una intensidad de corriente de 5 Amperios, en un tiempo de 40 minutos demostrando la eficiencia del proceso electroquímico en la eliminación de las bacterias coliformes totales y termotolerantes.



**Palabras claves:** La electroquímica/ Coliformes termotolerantes/ coliformes totales/ aguas residuales.

# ABSTRACT

The purpose of this work is to establish the quality of wastewater before and after the electrochemical process in the province of Jaén and its physicochemical and microbiological characterization, based on samples according to Peruvian regulations by the most probable number method for the counting of total and thermotolerant coliforms. The main objective of this research is to determine the efficiency of wastewater treatment; through the electrochemical treatment in eliminating the concentration of total and thermotolerant coliforms from the wastewater of the WWTP of Jaén; with the intention of complying with the D.S. N ° 015 - 2015 - MINAN, Environmental Quality Standards and in this way collaborate with the reuse of the same for different purposes. For its development the electrochemical process was used, which consisted of adding electric current to 400 ml. wastewater from the Jaén RWTP; through a copper and silver cell. The dimensions of each cell were 9.5cmx5cm and a thickness of 0.1cm. It has been decided to work with three types of volts (5, 8 and 12); and with the times of (10, 20 and 40 minutes). The initial samples before the electrochemical process have as parameters the pH between 7.38 and 7.68, temperature between 19.1 Cº and 20.2 Cº, conductivity between 749 µs / cm and 949 µs / cm, total coliforms> 1600 and thermotolerant coliforms >1600. It was possible to reduce less than 1.8 with the most probable mining method, adding a voltage of 12 volts and a current intensity of 5 Amps, in a time of 40 minutes demonstrating the efficiency of the electrochemical process in the elimination of total and thermotolerant coliforms.



**Keywords:** Electrochemistry / Thermotolerant coliforms / total coliforms / wastewater.

# I. INTRODUCCIÓN

Una de nuestras grandes interrogantes es conocer la calidad de agua que tenemos y su consumo sobre todo en la agricultura ya que estas podrían estar contaminando los diferentes terrenos de cultivo por encontrarse con una carga bacteriana elevada, uno de los factores de la contaminación es el crecimiento población de los últimos cinco años, el servicio que nos presta la Empresa Prestadora de Servicio (EPS) le resulta insuficiente captar la cantidad real de las aguas vertidas a la PTAR por aparecer diferentes comités de agua lo que hace que estas lagunas colapsen, la provincia de Jaén es una de las trece ciudades que conforman el departamento de Cajamarca, en el Norte del Perú. Tiene una ubicación estratégica e historia. Es la segunda ciudad más poblada del departamento de Cajamarca. Un aspecto relevante, que no se puede dejar de tomar en cuenta, es el relacionado con el aporte de fosforo fecal de las aguas servidas que es que es el orden de 1 a 2 g/hab/d.

Nuestro proyecto está dedicado a desarrollar la reducción de carga bacteriana a través de los electrodos y de los iones cobre y plata asimismo que por acciones de diferentes valores del voltaje y tiempo de residencia que nos da un resultado esperado, teniendo en cuenta los parámetros de temperatura, ph y conductividad eléctrica, estos datos se procesaron en el laboratorio de la Biología y Química de la Universidad de Jaén. Otra característica de nuestro proyecto es que al reaccionar la corriente a diferentes voltajes la carga bacteriana disminuía gradualmente, mientras que los residuos que se forman por la electrocoagulación se incrementan dando una mejora en la característica organoléptica así mismo la microbiológica. Es por ello la necesidad de buscar nuevas tecnologías que permitan tratar las aguas residuales de todo tipo y puedan cumplir la normativa ambiental vigente del país “Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua ” D.S. N° 015 – 2015 – MINAN, fundamentad en la ley Nº 28611 Ley General del Ambiente; donde determina que: toda persona tiene derecho irrenunciable a

vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de su vida, mediante la norma garantizara el cuidado del ambiente en sus tres parámetros. Según el ministerio del ambiente; el Perú tiene un Plan Nacional de Acción Ambiental del 2011 al 2021, aprobado con el D.S.Nº 014 – 2011- MINAN; tiene como acción estratégica: asegurar la cobertura total del tratamiento y reuso de las aguas residuales en el ámbito urbano y rural con la meta que hasta el 2021, donde el 100% de las aguas residuales urbanas son tratadas y el 50% de estas, son reusadas, y el 30% de las aguas residuales del ámbito rural son tratadas y reusadas . (MINAN 2011).

Ante la problemática descrita anteriormente, una solución es la electroquímica, 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 u otros adictivos 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 y ambientales de nuestro país. En este sentido la presente investigación pretende utilizar la electroquímica como una tecnología de tratamiento de agua residual proveniente de los domicilios, 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 el riego de cultivos o de parque y jardines. Frente a esta situación problemática descrita, surgió la formulación del problema ¿Cuál es el nivel de eficiencia del proceso electroquímico para el tratamiento de aguas residuales; en la PTAR de la provincia de Jaén, Cajamarca 2017?

Esta caracterización del nivel de eficiencia es materia fundamental de la presente investigación cuyo objetivo general es Determinar la Eficiencia del tratamiento de aguas residuales; a través del tratamiento electroquímico; en la Provincia de Jaén, Departamento Cajamarca y para alcanzar este objetivo se establecieron tres objetivos de carácter específico: conocer la eficiencia del

tratamiento con 5, 8 y 12 voltios, calcular el porcentaje de eliminación de las bacterias Coliformes totales, mediante el proceso electroquímico de la PTAR – Jaén y identificar el porcentaje de eliminación de las bacterias Coliformes termotolerantes, mediante el proceso electroquímico de la PTAR Jaén.

# II. MARCO DE TEÓRICO

## 2.1. Antecedentes bibliográficos

El uso de la electricidad para tratar aguas residuales fue propuesto por primera vez en el Reino Unido en 1889. La electrocoagulación (EC) empleando electrodos de aluminio y hierro fue patentada en Estados Unidos en 1909. (Jaramillo et al., 2005).

(Kobya et al 2003), realizaron trabajos de EC con aguas residuales de textiles usando electrodos de hierro y aluminio. Ellos concluyeron que la demanda química de oxígeno (COD) y la eficiencia de remoción de turbidez están influenciadas por la conductividad y pH de las aguas residuales así como por las variables del proceso: densidad de corriente y tiempo de operación.

(Ghernaout et al 2007), Han estudiado la electrocoagulación como tratamiento de electrodesinfección de dos aguas sintéticas conteniendo cepas de E. Coli y utilizando electrodos de acero corriente, de acero inoxidable y de aluminio, con separación entre placas de 5cm. Observaron que al aumentar la intensidad de corriente de 0,1 A a 1 A, la reducción de la concentración de células de E. Coli medidos en absorbancia fue de 80% a 98% usando electrodos de acero corriente con un tiempo de electrocoagulación de 35 minutos. En relación al pH, encontraron que a pH ácido (pH = 2) la eliminación de la concentración de E. Coli fue de un 29%, a pH neutro fue de 98% y a pH alcalino (pH = 9) fue del 100% con un tiempo de retención de 20 minutos y 1 A, con electrodos de acero corriente. Los resultados han mostrado que, los electrodos de aluminio han sido más eficientes en la destrucción de E. Coli, en comparación con electrodos de acero inoxidable y acero corriente. Solo 30 minutos han sido requeridos para eliminar totalmente las células de E. Coli. La electrocoagulación muestra similares eficiencias en la eliminación de algas y coliformes totales en las aguas superficiales estudiadas.

(Kerwick et al., 2005) En este trabajo se muestran estudios y experiencias sobre el uso de la desinfección electroquímica como

alternativa a la desinfección con cloro. Las experiencias de desinfección electroquímica demostraron ser efectivas sobre Clostridium perfringens, Escherichia coli y Crystoporidium parvum. En el trabajo se describe el equipo utilizado, consistente en una celda electroquímica tipo Zappi con ánodos de platino-niobio y cátodos de acero inoxidable. Las conclusiones de este trabajo son que la desinfección electroquímica es la más efectiva para aguas que contengan cloruros, que la reducción de E. coli y el bacteriofago MS2 en la desinfección electroquímica es de cuatro potencias logarítmicas, y que los posibles fallos de los electrodos en la desinfección electroquímica se corrigen alternando la polaridad.

(Rahmani 2008), estudió la remoción de turbidez en función del tiempo de electrólisis, tipo de electrodo y corriente aplicada. Encontró que en el rango entre 100 – 300 mA es suficiente para obtener una buena eficiencia de remoción de turbidez del agua.

(Guohua Chen, 2004) Este trabajo examina el desarrollo, el diseño y aplicaciones de tecnologías de electroquímica en el tratamiento de agua y aguas residuales. El enfoque especial fue dado a electrodeposición, a electrocoagulación (EC), a electroflotación (EF) y electrooxidación. La electrodeposición es eficaz en la recuperación de metales pesados de aguas residuales. Este es considerado como una tecnología establecida con el desarrollo adicional posible en la mejora de espacio - tiempo. EC ha sido usada para la producción de agua o el tratamiento de agua residual. Este descubrimiento tiene más aplicaciones usando electrodos aluminio, hierro o híbridos de Al / Fe. La separación del lodo floculado del agua tratada puede realizarse usando EF. La tecnología de EF es eficaz para retirar partículas coloidales, aceite y grasa, así como contaminantes orgánicos.

Los estudios electroquímicos demuestran que se pueden disminuir en un 98% la cantidad de carga contaminante de las aguas residuales de una curtiembres sección de tinturado en menos de 20

minutos de reacción, con un sistema constituido por un cátodo de grafito y un ánodo de hierro, aluminio o cobre sometidos a una corriente constante. (Orozco, castro 2006) citado por cordero Manrique 2009

El Gran parte de los ríos y lagunas, así como otros cuerpos receptores de los vertidos acuosos de origen urbano e industriales se encuentran infectados por diversos tipos de bacterias unas más nocivas que otras, siendo causantes de diversas enfermedades. Estudios realizados demuestran que la desinfección electroquímica mediante la técnica de electrocoagulación puede remover una amplia variedad de microorganismos, virus y algas. Los factores de pH, concentración de aluminio, densidad de corriente y tiempo de electrólisis fueron estudiados para la optimización del proceso. La eficiencia de la remoción de microorganismos patógenos fue evaluada utilizando cultivos de 3 tipos de bacterias (i) Escherichia coli; (ii) Pseudomona aureginosa y (iii) Staphylococcus aureus, obteniendo la relación Aluminio-Bacteria para futuros trabajos de investigación. (Gamero, 2011).

## 2.2. Bases teórico-cientificas

### 2.2.1. Aguas residuales

A lo largo de la presente investigación se ha hecho un total énfasis en la contaminación existente en aguas residuales, como también se ha planteado que una solución innovadora a este problema puede ser la electrocoagulación. Pero antes de seguir profundizando el conocimiento sobre este tratamiento es muy conveniente aclarar que las aguas residuales se dividen en dos tipos: aguas residuales urbanas y aguas residuales industriales. Ambas provienen de origen distinto; ya que su origen determina su composición.

#### 2.2.1.1. Planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR).

Las plantas de tratamientos de aguas residuales son unidades de

transformación de los efluentes industriales, domésticos o es decir son unidades de transformación de la materia orgánica.(Trejos Vélez & Agudelo Cardona, 2012). Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Mara, 1976). La naturaleza de estas aguas varía de acuerdo con su procedencia de zonas urbanas, rurales, semi-rurales y zonas dentro de las cuales se presenta enormes variaciones según el tipo de actividad o uso del suelo que se tenga. (BID, 1997). La Quinta Disposición Complementaria de la Resolución Nº 0291-2009-ANA de fecha 01 de Junio del 2009, distingue las definiciones de aguas residuales domésticas y residuales municipales señala que el agua residual doméstica, es el agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

Y el agua residual municipal, es el agua residual doméstico que puede incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado. Al respecto sobre dichas definiciones habría que señalar que en realidad todo residuo es producto de la actividad humana, directa o indirectamente, por lo que es observable que se mencione a otros desechos provenientes de la actividad humana, y de otro lado, no es común que algún municipio cuente con normas que exijan requisitos de los efluentes descargados en las alcantarillas, por lo que en principio se debe detallar a que requisitos se refiere para posteriormente exigir que exista la normatividad pertinente.

Según Metcalf & Eddy (1995) toda comunidad produce residuos tanto líquidos como solidos; la parte liquida de los mismos (aguas residuales) es esencialmente el agua que se desprende la comunidad una que han sido contaminadas durante los diferentes usos para los cuales ha sido

empleada. Los componentes y variables físicas, químicas y biológicas que tienen las aguas residuales, según lo definido por METCALF & EDDY INC, se indican a continuación:

Tabla 1: *Componentes y variables físicas, químicas y biológicas que tienen las aguas residuales*

| **Características** | | **Variables** | **Procedencia** |
|---|---|---|---|
| **Propiedades Físicas** | | Color | Aguas Residuales (AR) domésticas e industriales, desintegración natural de materiales orgánicos. |
| | | Olor | AR en descomposición, vertimientos industriales. |
| | | Sólidos | Aguas de suministro, AR domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas. |
| | | Temperatura | AR domésticas e industriales. |
| **Químicos** | **Orgánicos** | Carbohidratos | AR comerciales e industriales. |
| | | Grasa animal y aceite | AR domésticas, comerciales e industriales. |
| | | Pesticidas | Residuos agrícolas. |
| | | Fenoles | Vertidos industriales |
| | | Proteínas | AR domésticas y comerciales |
| | | Agentes termo activos | Activos AR domésticas e industriales. |
| | | Otros | Desintegración natural de materiales orgánicos |
| | **Inorgánicos** | Alcalinidad | AR domésticas, agua de suministro, infiltración de aguas subterráneas |
| | | Cloruros | Agua de suministro, AR domésticas, infiltración de aguas subterráneas |
| | | Metales pesados | Aguas de suministro, aguas residuales, domésticas e industriales. |
| | | Nitrógeno | AR domésticas y residuos agrícolas. |
| | | PH | Vertimientos industriales |
| | | Fosforo | AR domésticas, industriales, escorrentía residual. |
| | | Azufre | Aguas de suministro, aguas residuales, domésticas e industriales |
| | | Compuestos Tóxicos | Vertidos industriales. |
| **Constituyentes Gaseosos** | | Sulfuro de H | Descomposición de AR domésticas. |
| | | Metano | Descomposición de AR domésticas. |

| | | |
|---|---|---|
| | Oxígeno | Agua de suministro, infiltración del agua superficial. |
| **Constituyentes Biológicos** | Animales | Cursos de Aguas y Plantas de Tratamiento |
| | Plantas | Plantas Cursos de Aguas y Plantas de Tratamiento. |
| | Protistos | AR domésticas, Plantas de Tratamiento. |
| | Virus | AR domésticas. |

FUENTE: METCALF & EDDY INC.

#### 2.2.1.2. Clasificación del tratamiento de aguas residuales.

Para la reducción de la contaminación de aguas residuales existen procesos físicos, químicos y biológicos, estos de acuerdo a las necesidades del efluente, se pueden utilizar de forma individual o combinados, a continuación haremos una explicación de cada uno de ellos. (Metcalf y Eddy, 1996).

Tabla 2: *Procesos unitarios según la etapa de tratamiento*

| Tipo de tratamiento | Operaciones o procesos unitarios |
|---|---|
| Preliminares | Dilaceración, desbaste, filtración, flotación, remoción por gravedad, tanque Imhoff, filtración por membrana, remoción de grasas y aceites, tamizado grueso y fino y micro tamizado. |
| Primarios | Tamizado, sedimentación primaria. |
| Secundarios | Lodos activados, reactores de lecho fijo, sistemas de lagunaje, sedimentación secundaria, deshidratación. |
| Terciarios | Coagulación química, floculación, sedimentación seguida de filtración y carbón activado. Intercambio iónico, osmosis inversa, electrocoagulación. |

**Fuente:** (Metcalf & Eddy, 1996)

#### 2.2.1.3. Coliformes Fecales

Los coliformes son una familia de bacterias se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. Las bacterias coliformes en su mayoría, se encuentran en abundancia en

la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo, por lo que los lodos residuales presentan una gran cantidad de estas bacterias. (Ortiz et al., 1995)

### 2.2.2. Normativa peruana.

#### 2.2.2.1. Normas de calidad del agua

Las Normas de Calidad de Agua en el país son fijados por el Ministerio del Ambiente MINAM teniendo en cuenta que los límites que se establecen en cada caso, sean factibles de ser alcanzados con los recursos locales disponibles para tal fin**.**

#### 2.2.2.2. Ley de recursos hídricos N° 29338

Promulgado el 30 de Marzo de 2009, en El Titulo III USO DE LOS recursos hídricos, se tiene los siguientes artículos relacionados con el uso de agua:

**Artículo 35:** Clases de usos de agua y orden de prioridad, reconoce las siguientes clases de uso de agua:

**Artículo 36. Uso primario del agua.**

Consiste en la utilización directa y efectiva de la misma, en las fuentes naturales y cauces públicos del agua, con el fin de satisfacer necesidades primarias humanas.

**Artículo 39. Uso poblacional del agua.**

Consiste en la captación del agua de una fuente o red pública, debidamente tratada, con el fin de satisfacer las necesidades humanas básicas.

**Artículo 42. Uso productivo del agua.**

Consiste en la utilización de la misma en procesos de producción o previos a los mismos.

El Reglamento de la Ley Nº 29338, Ley de Recursos Hídricos (Decreto Supremo Nº 001-2010-AG) Aprobado el 24 de marzo 2010 en el artículo 106. 2. sobre la Clasificación de los Cuerpos de Aguas, señala que la Autoridad Nacional del Agua clasifica los cuerpos de agua, tomando como base la implementación progresiva de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (ECA- Agua), de acuerdo con los usos actuales y potenciales a que se destina el agua.

#### 2.2.2.3. Estándares nacionales de calidad ambiental para aguas

Según el Decreto Supremo Nº 015-2015 – MINAM (19 de Diciembre del 2015), se aprobó los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Según el (ECA 2015) – Al agua la clasifica en 4 Categorías:

**Categoría 1:** Poblacional y Recreacional

**Categoría 2:** Actividades de extracción y cultivo Marino Costeras y continentales.

**Categoría 3:** Riego de vegetales y bebida de animales

**Categoría 4**: Conservación del ambiente acuático.

A continuación se detalla los niveles de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua de cada categoría.

**ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA.**

Tabla 3:

*Categoría 1: Población y recreacional*

| PARÁMETRO | | UNIDAD | Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable | | | Aguas superficiales destinadas para recreación | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 |
| | | | Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección | Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional | Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado | Contacto primario | Contacto secundario |
| | | | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR |
| MICROBIOLOGICO | | | | | | | |
| Coliformes Totales (35 – 37 °C) | | NMP/100mL | 50 | 5 000 | 50 000 | 1000 | 4000 |
| Coliformes Termotoleranes (44,5 °C) | | NMP/100mL | 20 | 2 000 | 20 000 | 200 | 1000 |

**NMP/100 mL** Número más probable en 100 mL

Tabla 4

*Categoría 2: Actividades de extracción y cultivo Marino Costeras y continentales.*

| | | Aguas de Mar | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| PARÁMETRO | UNIDAD | Aguas de Mar | | | Agua continental |
| | | Sub Categoría 1 C1 | Sub Categoría 2 C2 | Sub Categoría 3 C3 | Sub Categoría 4 (C4) |
| | | Extracción de cultivos de Moluscos | Extracción de cultivo de otras especies hidrobiológicas | Otras actividades | Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en lagos y lagunas. |
| | | VALOR | VALOR | VALOR | VALOR |
| MICROBIOLOGICO | | | | | |
| Coliformes Termotoleranes (44,5 °C) | NMP/100mL | ≤14 (área Aprobada) (c)<br>≤88 (área restringida) (c) | ≤30 | 1 000 | 200 |

**NMP/100 mL** Número más probable en 100 mL

Tabla 5

*Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales*

| Parámetros | unidad | Parámetros para riego de vegetales | Parámetros para bebidas de animales |
|---|---|---|---|
| | | D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo | D2: Bebida de animales |
| | | Valor | Valor |
| MICROBIOLOGICO | | | |
| Coliformes Totales (35 – 37 ºC) | NMP/100 mL | 1 000 | 5 000 |
| Coliformes Termotoleranes (44,5 °C) | NMP/100 mL | 1 000 | 1 000 |

**NMP/100 mL** Número más probable en 100 mL

*Tabla 6*

*Categoría 4: Conservación del ambiente acuático*

| CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Parámetros | unidades | E: Lagunas y lagos | E2: Ríos | | E3: Ecosistemas marino costero | |
| | | | Costa y Sierra | Selva | Estuarios | Marinos |
| MICROBIOLOGICO | | | | | | |
| Coliformes Termotoleranes (44,5 °C) | NMP/100mL | 1 000 | 2 000 | | 1 000 | 2 000 |

**NMP/100 mL** Número más probable en 100 mL

### 2.2.3. La electroquímica:

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).

(Lee, 2000) Sostiene que cuando se ejecuta un procedimiento electroquímico, se producen simultáneamente seis funciones básicas entre los dos electrodos y en la solución electrolítica: (1) oxidación, (2) reducción, (3) electroforesis, (4) ataque electroquímico, (5) electrólisis, (6) polarización. Normalmente las técnicas de electrocoagulación utilizan las 5 funciones anteriores, y además dicen que otras técnicas con flotación tienen mayor consumo de energía y largos tiempos de tratamientos. Ha descubierto que la sexta función mencionada anteriormente, puede hacer que las moléculas de las impurezas del agua coagulen en tiempos muy cortos (ejemplo 1 minuto), con las ventajas de bajo consumo energía y bajo mantenimiento. 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 y Zumdahl, 2000).

#### 2.2.3.1. 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 y 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 y Masterton, 1997)

Una reacción electroquímica presentada la siguiente ecuación general (Rajeshwar y Ibanez 1997):

$$O + \eta e^- \leftrightarrow R \qquad (1)$$

En donde:

O, es la especie oxidada

R, es la especie reducida

ηe-, 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 y 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 ( Rajeshwar y Ibanez 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 clásicas 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 (Rajeshwar y Ibanez1997).

#### 2.2.3.2. La electrocoagulación.

Es un proceso electroquímico muy utilizado en el tratamiento de aguas residuales, por medio del cual se desestabilizan las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, en los que el hierro y el aluminio son los más utilizados (Arango, 2005). La electrocoagulación es un proceso que implica varios fenómenos

químicos y físicos, usa electrodos para proveer iones al agua residual que se desea tratar (Mollah et al, 2004). En esta técnica el coagulante es generado ‘in situ’ debido a una reacción de oxidación del ánodo y las especies cargadas o metales pesados pueden ser removidos del efluente debido a la reacción entre iones con carga opuesta o debido a la formación de fl óculos de hidróxidos metálicos (Mollah et al, 2001).

En el proceso de electrocoagulación hay generación de coagulantes in situ por la disolución de iones de aluminio o de hierro de los electrodos de aluminio o hierro respectivamente. La generación de iones metálicos tienen lugar en el ánodo y en el cátodo hay liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso las cuales ayudan a la flotación de las partículas floculadas, las mismas que serán retiradas posteriormente (Arango, 2005). La electrocoagulación implica varias etapas (Mollah et al, 2004): (i) Debido a la oxidación del electrodo se presenta la formación de coágulos. (ii) Desestabilización del contaminante, partículas en suspensión y rompimiento de emulsiones. (iii) Para lograr la formación de fl óculos se agrega partículas desestabilizadas. (iv) Remoción del material contaminante por flotación y sedimentación. La electrocoagulación es utilizada en la remoción de contaminantes de muy diversas aguas residuales, tales como las de la industria de galvanoplastia, electro-plateado metálico, fábricas de envasados, industria del papel (desperdicios de molinos de papel), peleterías, molinos de acero, efluentes con contenido de cromo, plomo o mercurio y efluentes con contenido de aceites como los generados por talleres de maquinaria, refinerías, talleres de reparación de autos, transporte, almacenamiento y distribución de aceites, efluentes de la industria alimentaria, lavanderías e industria textil, y finalmente ha sido utilizada en la remoción de los contaminantes de las aguas para consumo humano y residuales domésticas (Arango,2009).

En esta técnica cuando un potencial es aplicado a los electrodos, los cuales son hechos de diferentes metales, especialmente hierro y aluminio, se genera el siguiente proceso: El hierro o aluminio del ánodo

se disuelve dando origen a iones metálicos, los cuales son hidrolizados inmediatamente para formar hidróxidos o polihidróxidos, estas sustancias son excelentes agentes coagulantes. La coagulación ocurre cuando estos cationes (hidróxidos y polihidróxidos) son atraídos por las partículas negativas presentes en la solución. Los contaminantes presentes en el agua residual son tratados por medio de reacciones químicas y precipitación o combinación con material coloidal, para después ser removidos por electroflotación, sedimentación o filtración (Mollah et al, 2004).

Una solución coloidal es una dispersión de un sistema físico compuesto por una fase continua (fluida) y una fase dispersa en forma de partículas (generalmente sólidas),de tamaño intermedio entre microscópicas y macroscópicas, pues no se pueden observar a simple vista pero tienen un tamaño mayor que las moléculas (Zumdahl y Zumdahl, 2000). Esta dispersión de partículas tienen una carga negativa cuando se encuentran en soluciones acuosas, esto se debe a que si dos fases de diferente constitución química entran en contacto, se desarrolla una diferencia de potencial eléctrico entre las dos fases, esto conlleva a que haya una separación de cargas, en donde las cargas negativas están hacia el lado del coloide y las cargas positivas hacia el lado de la interfase y es estable debido a las fuerzas de repulsión que se dan como consecuencia de las interacciones electrostáticas entre coloides vecinos (Zumdahl y Zumdahl, 2000).

Cuando en la electrocoagulación se producen los agentes desestabilizantes in situ, disminuyen o neutralizan las cargas en una suspensión coloidal, formando agregados que pueden ser retirados por medios mecánicos más fácilmente (Zumdahl y Zumdahl, 2000). En la electrocoagulación el agua es hidrolizada, produciendo burbujas de oxígeno en el ánodo y de hidrogeno en el cátodo. Estas burbujas ayudan a que los fl óculos con el contaminante vayan a la superficie, para una fácil separación (Mollah et al, 2004).

#### 2.2.3.3. Factores del proceso de electrocoagulación

Son muchos los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación y algunos de estos factores tienen mayor influencia sobre el proceso. A continuación discutiremos aquellos que se relacionan más directamente con la eficiencia del mismo**.**

**pH.-** El pH inicial de la solución es una variable importante por lo que determina la formación de especies iónicas durante el proceso y evita la adición de sustancias químicas durante el proceso, lo que reduce costos en la operación (Mollah, et al., 2001).

**Densidad de corriente.-** Como las variables eléctricas en el proceso de electrocoagulación son los parámetros que más influyen en la remoción del contaminante de un agua residual y están ligados a factores económicos, se debe prestar mayor atención a su estudio. (Restrepo, 2006).

**Conductividad.-** Un incremento en la conductividad eléctrica genera a su vez un incremento en la densidad de corriente. Cuando se mantiene constante el voltaje alimentado a la celda de electrocoagulación y adicionalmente el incremento de la conductividad, manteniendo la densidad de corriente constante, se produce una disminución del voltaje aplicado. (Restrepo, 2006).

**Voltaje.-** El voltaje es directamente proporcional al costo energético y puede variar por factores como la conductividad de la solución, la distancia entre los electrodos, el material y la geometría de los mismos. (Holt, et al. 2005)

**Temperatura.-** A medida que la temperatura aumenta también lo hace la velocidad de reacción, lo cual se pensaría podría ser de beneficio para el proceso, sin embargo, para las reacciones de electrocoagulación un incremento en la temperatura lleva a la dispersión de los agregados formados durante el proceso (Daneshvar, 2004).

**Tiempo.-** El tiempo de residencia, indican algunos autores determina que a mayor valor, mayor es la cantidad de sólidos formados, debido a

que se favorece tanto los procesos de electrodos como la floculación y precipitación de los sólidos. Se producen más gases, que al ascender, llevan las partículas de óxido a la superficie en forma de espuma y a su vez promueve el crecimiento de los fóculos y su posterior precipitación. (Prieto, 2012).

## 2.3. Definición de términos básicos

**Aguas residuales.-** las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias. (Mara, 1976)

**Ánodo.-** Electrodo de un componente que capta electrones, al ser positivo on respecto a otros electrodos. (Caamaño, 2001)

**Cátodo.-** Aquel de los electrodos de un componente que emite o inyecta electrones, siendo normalmente negativo con respecto a otros electrodos (Caamaño, 2001)

**Electrocoagulación.-** La electrocoagulación es un método electroquímico usado para el tratamiento de aguas residuales que ha sido utilizado para remover un amplio número de contaminantes (Holt et al, 2005)

**Electrolisis.-** Reacción química de descomposición realizada mediante el paso de corriente eléctrica continúa por una disolución que contiene electrolitos. La electrolisis se realiza en una cuba electrolítica en cuyo interior se pone el electrolito y dos barras metálicas conectadas a una pila que hacen de electrodos. Al establecerse una diferencia de potencial entre ambos electrodos, los iones de electrolito se desplazan al ánodo o al cátodo, según sea su signo, donde se neutralizaran cediendo o aceptando electrones y cerrando de este modo el circuito. En el electrodo correspondiente la sustancia que ha sido neutralizada. (Caamaño, 2001)

**Electroquímica.-** Estudio de los procesos en los que la energía química se transforma en eléctrica, o viceversa. Son, por consiguiente, objeto de esta ciencia la producción de la energía eléctrica a partir de reacciones y operaciones químicas (energía química), así como los efectos de la

corriente eléctrica en los compuestos químicos. Un ejemplo del primer caso es la producción de electricidad por medio de pilas, y el segundo, la descomposición de los metales por medio de la electrolisis. (Caamaño, 2001)

**Oxidante.-** Sustancia que puede aceptar electrones de otras sustancia oaumentar el número de oxidación de otra sustancia. (Amaya, 2001)

**Plantas de tratamiento de aguas residuales (PETAR).-** Las plantas de tratamientos de aguas residuales son unidades de transformación de los efluentes industriales, domésticos o es decir son unidades de transformación de la materia orgánica. (Trejos al et., 2012)

**Reductor.-** Sustancia que puede donar electrones a otra sustancia o disminuir los números de oxidación de la misma. (Amaya, 2001)

## 2.4. Hipótesis

El tratamiento de Aguas Residuales a través del proceso electroquímico; en la Provincia de Jaén, Departamento Cajamarca; aplicado es eficiente en un 60%.

# III. MATERIALES Y MÉTODOS

## 3.1. Variables y operacionalización de variables

### *3.1.1.* Variables

**Variable unica**

***Eficiencia del proceso electroquímico.***

Sostiene que cuando se ejecuta un procedimiento electroquímico, se producen simultáneamente seis funciones básicas entre los dos electrodos y en la solución electrolítica: (1) oxidación, (2) reducción, (3) electroforesis, (4) ataque electroquímico, (5) electrólisis, (6) polarización. Normalmente las técnicas de electrocoagulación utilizan las 5 funciones anteriores, y además dicen que otras técnicas con flotación tienen mayor consumo de energía y largos tiempos de tratamientos. Ha descubierto que la sexta función mencionada anteriormente,

puede hacer que las moléculas de las impurezas del agua coagulen en tiempos muy cortos (ejemplo 1 minuto), con las ventajas de bajo consumo energía y bajo mantenimiento. (Lee, 2000).

### 3.1.2. Operacionalización de variables

| T. V | Variable | Definición | Dimensiones | Indicador | Unidad de medida | Escala |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variable Independiente** | Eficiencia Proceso electroquímico | Es una técnica que permite la desinfección de las aguas residuales induciéndole corriente eléctrica en el agua, a través de dos placas metálicas paralelas, siendo el cobre y la plata los metales que hemos decidido usar. | Capacidad de eliminación de bacterias coliformes totales y termotolerantes | Normativa ambiental ECA<br>NMP de bacterias coliformes termotolerantes coliformes y totales | % de bacterias eliminadas<br>Genero bacteriano | Proporción<br>Nominal |

## 3.2. Tipo de estudio y diseño de investigación

### 3.2.1. Tipo de estudio

***Descriptivo.***

La investigación descriptiva es un tipo de estudio que tiene como propósito caracterizar el comportamiento de una variable, categoría u objeto en un contexto en particular.

### 3.2.2. Diseño

***Diseño descriptivo simple.***

Su diseño es:

M ---------- O

Donde M es la muestra y O es la observación o medición de la variable. Se realizó el análisis en de laboratorio en la determinación de Coliformes Totales y Termotolerantes sin proceso electroquímico; y con el proceso electroquímico; las muestras se tomaron a la entrada de la PTAR – Jaén; para realizar los respectivos análisis fisicoquímico y biológico de las aguas residuales de la PTAR –Jaén en la provincia de Jaén Departamento de Cajamarca.

## 3.3. Población y muestra en estudio

### 3.3.1. Población

Se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación. Se realizaron muestreos de aguas residuales en el punto de ingreso de la PTAR de Jaén.

### 3.3.2. Muestra de estudio

La muestra es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico. Durante el transcurso de tres semanas se tomaron 24 muestras de 500 mL de aguas residuales de la PTAR - Jaén, donde 18 pararan por un proceso electroquímico y 6

muestras sin proceso electroquímico, y luego para ser analizadas en el laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Jaén.

## 3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

### 3.4.1. Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos según investigaciones anteriormente realizadas establece que, “una vez que seleccionamos el diseño de investigación apropiado y la muestra adecuada de acuerdo a nuestro problema de estudio, la siguiente etapa consiste en recolectar los datos pertinentes sobre las variables involucradas en la investigación.” (Hernandez, et. 1991), Recolectar los datos implica tres variables estrechamente relacionadas entre sí:

1. Seleccionar un instrumento de medición.
2. Aplicar este instrumento de medición, es decir, medir las variables.
3. Prepara las mediciones obtenidas para que puedan analizarse correctamente.

Según (Gómez, 1998); la elección de técnicas e instrumentos para la recopilación de datos debe estar en función de las características del estudio que se pretende realizar. Existen variadas técnicas que ayudan a recabar información, para el caso de la presente investigación se utilizó un formato de recolección de datos predeterminado y realizado en base a las variables involucradas en el mencionado proceso de electrocoagulación, vale destacar que se basó en la observación directa, ya que este recurso fue empleado en el área física donde se realizó el trabajo experimental. A continuación se presentará el instrumento de recolección de datos utilizado en esta investigación para plasmar toda la información concerniente al proceso efectuado física y experimentalmente, lo cual es resultado de la observación directa, como ya fue mencionado anteriormente.

Tabla 7

*Cuadro para recoger datos antes y después del proceso.*

| Cubeta electroquímica | |
|---|---|
| Tipo de muestra | ---------- |
| Fecha | ---------- |
| Volumen tratado | ---------- |
| Voltaje | ---------- |
| Tiempo de operación | ---------- |
| Tiempo de reposo | ---------- |
| Material del ánodo | ---------- |
| Material del cátodo | ---------- |

| Tratamiento electroquímico | Antes del proceso | Después del proceso |
|---|---|---|
| Parámetros fisicoquímicos y biológicos | | |
| Temperatura | T= -----ºC | T= -----ºC |
| pH | pH= ------ | pH= ------ |
| Conductividad | σ= ----- µs/cm | σ= ----- µs/cm |
| Coliformes totales | NMP | NMP |
| Coliformes termotolerantes | NMP | NMP |

### 3.4.2. Cuadros para la recolección de datos estadísticos.

Se analizaron 18 muestras en el primer punto, la cual se le agrego intensidad de corriente eléctrica de 5, 8, y 12 voltios, con una duración de tiempo de 10, 20 y 40 minutos.

Tabla 8

*Condiciones de voltaje y tiempo para ensayos*

| Ensayos | voltaje (V) | Tiempo (minutos) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 10 | 20 | 40 |
| 6 | 5 | M1 | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 | M2 |
| 6 | 8 | M1 | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 | M2 |
| 6 | 12 | M1 | M1 | M1 |
| | | M2 | M2 | M2 |

**Fuente: Elaboración propia**

Se analizaron 06 muestras de aguas residuales de la PTAR Jaén, antes del proceso electroquímico para verificar la eficiencia de la electroquímica.

Tabla 9

*Condiciones sin voltaje*

| Ensayos | voltaje | | |
|---|---|---|---|
| | 5 | 8 | 12 |
| 6 | M1 | M1 | M1 |
| | M2 | M2 | M2 |

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3. Fases de la investigación.

Las fases de desarrollo de la presente investigación fueron todas llevadas a cabo en el Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Jaén (U.N.J.). Se evaluaron las aguas residuales de la PTAR de Jaén, en el punto de ingreso y en el punto de salida.

**Fase I. Construcción de una adaptación aproximada a un reactor electroquímico.**

Para el cumplimiento de esta fase es necesario la realización de diferentes actividades para el acondicionamiento y operación del reactor electroquímico, las cuales se describen a continuación:

Inventario de todos los recursos disponibles con la finalidad de tener conocimiento de todos los materiales posibles con los que se pudiera construir la cubeta electroquímica, evaluándolos desde el punto de vista económico y de mantenimiento.

Se definieron las distintas condiciones de operación de la cubeta electroquímica, que fueron: volumen del reactor, instalando voltajes de

5, 8 y 12 voltios, los análisis se realizaron con tiempos de 10, 20 y 40 minutos.

Inspección del buen funcionamiento de todas las partes, equipos y accesorios de la cubeta electroquímico, evaluando si alguna de las mismas estuviera mal instalada o en mal funcionamiento.

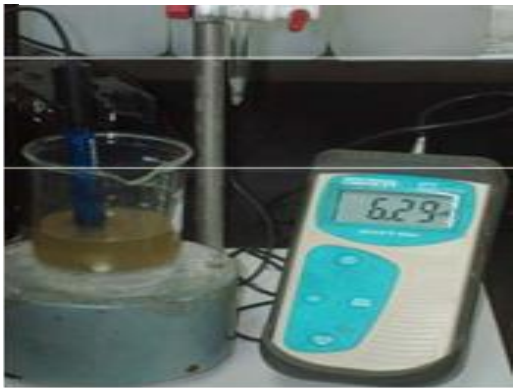
Realización de pruebas de la cubeta electroquímica; para evaluar el buen funcionamiento del mismo.

**Fase II. Caracterización de los parámetros biológicos y fisicoquímicos del efluente antes del tratamiento electroquímico.**

Para el cumplimiento de esta fase fue necesaria la determinación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos a evaluar en las aguas residuales de la PTAR – Jaén, la recolección de muestras de agua, se realizó en frascos de vidrio previamente esterilizados con capacidad de 500 mL, donde un frascos de vidrio de aguas residuales se necesitó para llenar la cubeta electroquímica, que fue diseñada con una capacidad de 400 mL. Para dichos análisis se tomaron las muestras en el punto de ingreso de la PTAR; donde se recogió un total de 24 muestras durante tres semanas. Dichos parámetros fueron:

**pH:** Para realizar la medición del pH de una muestra de agua se introdujo el pH – metro digital. (Figura 12)

*Figura 1*: Determinación del pH

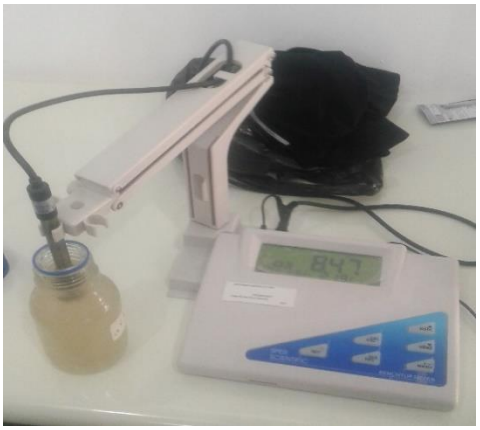



Fuente: Laboratorio de Ingeniería Química, UNJ.

**Conductividad.** Para realizar la medición de la conductividad de agua

se introdujo la celda conductimétrica en una muestra de agua contenida en un vaso de precipitado o en el envase de polietileno. Los resultados de las muestras de agua se expresan en microsiemens/centímetro (µS/cm). (Figu

*Figura 2*: Determinación de la conductibilidad y temperatura



Fuente: Laboratorio de Ingeniería Química, UNJ.

**Temperatura** Se midió con un equipo portatil de medición de temperatura y conductividad una vez finalizado el proceso de electrocoagulación de manera tal que se pudiera observar algún incremento en la misma. Se expresó en grados centígrados (°C). (Figura 2).

**Determinación de coliformes totales**

**A. Prueba presuntiva**

1. Tomar una batería con 15 tubos de ensayo distribuidos de 5 en 5
2. Los primero 5 tubos (contienen Caldo Lauril Sulfato doble concentración) inocular con pipeta esterilizada, 10 ml de la muestra de agua a ser analizada en cada tubo. (Dilución 1:1)
3. En los 10 tubos restantes (contienen Caldo Lauril Sulfato simple concentración), inocular en los 5 primeros, 1 ml de la muestra (Dilución 1:10) y en los 5 últimos tubos, inocular 0,1 ml de la muestra, en cada tubo. (Dilución 1:100)

4. Homogenizar y rotular los tubos
5. Incubar a 35 ±0.5°C durante 24/48 horas
6. Si al cabo de 24/48 horas, haya turbidez y formación de gas dentro de la campana de Durham, significa que la prueba presuntiva ha sido positiva. En este caso hacer la prueba confirmativa.

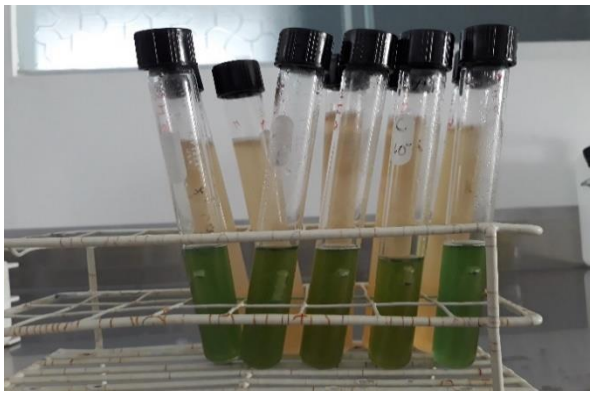
**B. Prueba Confirmativa**

1. Tomar el número de tubos de la Prueba Presuntiva que resultaron positivo (turbidez y gas) en las 3 diluciones 1:1; 1:10 y 1:100
2. Tomar igual número de tubos conteniendo el medio de cultivo Verde brillante bilis a 2%
3. Con el asa de platina previamente flameada y fría, retirar de cada tubo positivo una porción de muestra e inocular en el tubo correspondiente conteniendo el medio verde brillante (trasplante)
4. Homogenizar y rotular los tubos
5. Incubar a 35 ±0.5°C durante 24/48 horas
6. Si al final del periodo de 24/48 horas haya turbidez y formación de gas dentro de la campana de Durham, la prueba es considerada positiva.

**Expresión de resultados:**

Los resultados se expresan en NMP (Número Más Probable) de Coliformes Totales /100 ml de muestra y para determinarlo se verifica la combinación formada por el número de tubos positivos que presentaron las diluciones 1:1;1:10 y 1:100 en la Prueba confirmativa, según Estándar Methods 9221 B. Estándar Total Coliform Fermentation Technique, June 2003.

*Figura 3:* Determinación de coliformes totales



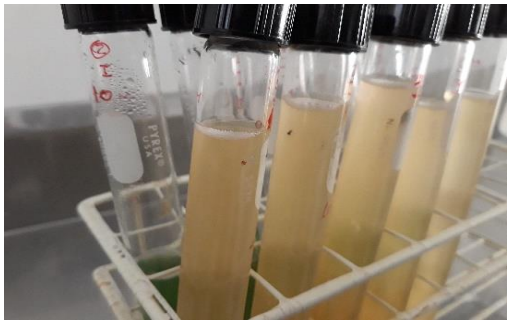
Fuente: Laboratorio de Ingeniería Química, UNJ.

**Determinación de coliformes termotolerantes**

**Método de los tubos múltiples (TM)**

1. Tomar todos los tubos de la prueba presuntiva que resultaron positivos (turbidez y gas) y todos los tubos negativos en que hubo crecimiento luego de 48 horas , en las diluciones (1:1; 1:10 y 1:100)
2. Transferir , con asa de platina flameada y fría, una porción para los tubos de ensayo conteniendo el medio EC
3. Mezclar y dejar todos los tubos en baño de agua durante 30 minutos
4. Incubar en baño María a 44,5 ±0.5°C durante 24±2 horas
5. Si al fin de 24 horas o menos haya turbidez y formación de gas, hay indicación de la presencia de coliformes termotolerantes.

*Figura 4:* Determinación de coliformes termotolerantes



Fuente: Laboratorio de Ingeniería Química, UNJ.

**Expresión de resultados:**

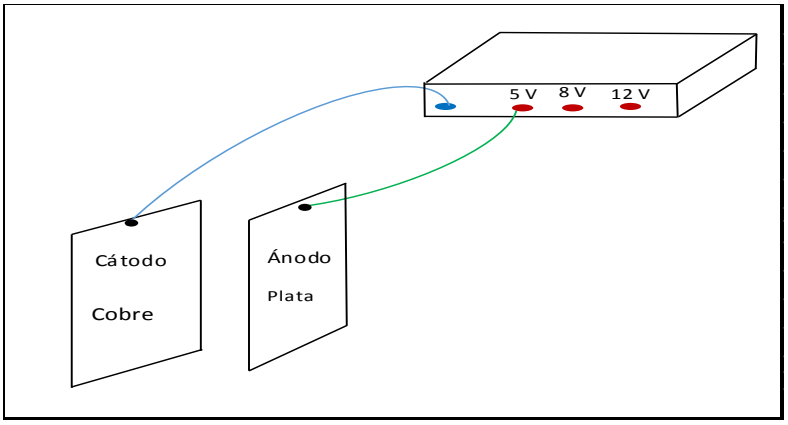
Los resultados se expresan en NMP (Número Más Probable) de

Coliformes Termotolerantes/100 ml de muestra y para determinarlo se verifica la combinación formada por el número de tubos positivos que presentaron las diluciones 1:1;1:10 y 1:100 en la Prueba presuntiva, según Estándar Methods 9221 B. Estándar Total Coliform Fermentation Technique, June 2003.

**Fase III: Evaluación de los parámetros de Control del Proceso electroquímico.**

Se analizaron las muestras de aguas residuales en el punto de punto de entrada de la PTAR de Jaén. Para la construcción de la cubeta electroquímica se tomó en cuenta la utilización de una fuente de poder regulable de 5v, 8v y 12v y con amperajes de 2A, 3A y 5A; respectivamente. Además Para realizar este estudio en la eliminación de bacterias en especial las Coliformes totales y Coliformes termotolerantes asistida mediante el proceso electroquímico para las aguas residuales de la de la PTAR – Jaén, departamento de Cajamarca, se elaboró una jarra electroquímica; con capacidad de 750 mL, los materiales que se utilizaron fueron: 01 celda de Plata y 01 celda de cobre; las cuales han sido compartidas por 3.5 centímetros. La celda de cobre y de plata tienen medidas de 9.5cmx5cm y un espesor de 0,1cm, teniendo un área total de 0.175cm² cada celda. La corriente eléctrica se suministra mediante una fuente de alimentación (corriente eléctrica). Se establecieron tiempos de operación de 10, 20 y 40 minutos.

*Figura 5:* Diseño del de un prototipo electroquímico




Fuente: elaboración propia.

**Fase IV: Caracterización de los parámetros biológicos y fisicoquímicos del efluente después del tratamiento con el proceso electroquímico.**

Para el cumplimiento de esta fase de la investigación se caracterizaron los mismos parámetros biológicos y fisicoquímicos analizados en la fase III, con la diferencia que en esta fase del proyecto se trabajó luego de aplicar el proceso electroquímico.

### 3.5. Procesamiento de datos y análisis estadístico

El método general es el cuantitativo. Los datos recogidos serán presentados y analizados en: Cuadros, gráficos de barras, matrices de información, fotografías etc. Asimismo, los datos serán analizados utilizando como herramienta a la estadística descriptiva; se empleará porcentajes, asimismo se utilizará el computador y el programa aplicativo OFFICE 2016-EXCEL, para la diagramación de barras, circular y otros.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Resultados relacionados con la identificacion de las características del tratamiento electroquímico.

**Fase I. Construcción de una adaptación aproximada a un reactor electroquímico.**

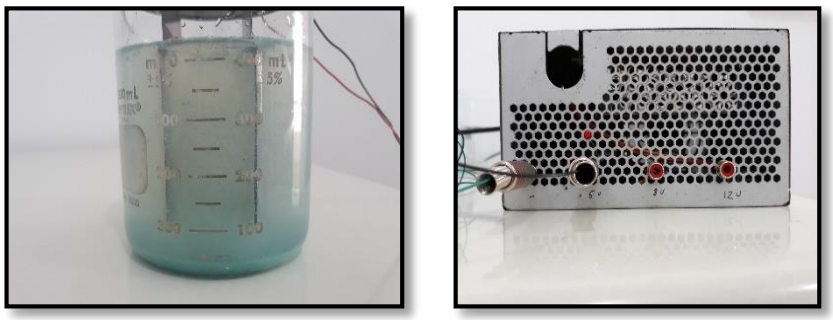
Se utilizó como reactor piloto para ejecutar las pruebas electroquímicas, un recipiente de vidrio circular con las siguientes especificaciones.

Tabla 10

*Información sobre la cubeta electroquímica*

| Cubeta electroquímica | |
|---|---|
| Tipo de muestra | Aguas residuales |
| Fecha | 08/10/18 |
| Volumen tratado | 400 mL |
| Voltajes | 5v, 8v, 12v |
| Tiempo de operación | 10 min, 20min, 40 min |
| Tiempo de reposo | 10 min |
| Material del ánodo | Plata |
| Material del cátodo | Cobre |

Figura 6: Funcionamiento del proceso electroquímico.



**Fase II. Caracterización de los parámetros biológicos y fisicoquímicos del efluente antes del tratamiento electroquímico.**

Los resultados obtenidos corresponden a las evaluaciones previas y análisis aplicados al efluente antes de ejecutar el proceso electroquímico. Se realizaron un total de 6 muestras antes de someterlos a los voltajes de 5v, 8v y 12v. Los resultados correspondientes a cada ensayo presentan diferencias, debiéndose esto a la toma de muestras en distintos tiempos.

*Tabla 11*

*Características iniciales del agua residual antes de agregarle 5 voltios*

| Ensayos | pH | Tº | Conduct. | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7.56 | 19.4 | 749 | >1 600 | >1 600 |
| 2 | 7.36 | 19.1 | 855 | >1 600 | >1 600 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

*Características iniciales del agua residual antes de agregarle 8 voltios*

| Ensayos | pH | Tº | Conduct. | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7.38 | 20.2 | 949 | >1 600 | >1 600 |
| 2 | 7.68 | 19.4 | 855 | >1 600 | >1 600 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13

*Características iniciales del agua residual antes de agregarle 12 voltios*

| Ensayos | pH | Tº | Conduct. | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7.47 | 19.3 | 829 | >16 00 | >16 00 |
| 2 | 7.26 | 20.1 | 851 | >16 00 | >16 00 |

Fuente: Elaboración propia

Los cuadros números 11, 12 y 13 demuestran que las aguas residuales de la PTAR - Jaén, tienen un alto contenido de bacterias coliformes totales y termotolerantes que son >16 00 en el NMP.

**Fase III: Evaluación de los parámetros de Control del Proceso electroquímico.**

Se le aplicaron al proceso distintas cantidades de corriente continua que fueron 5v, 8v y 12v; para el ánodo y catado; con distintos intervalos de tiempo de 10 minutos, 20 minutos y 40 minutos. Se consideró una separación de electrodos de una distancia de 3.5 centímetros.

**Fase IV: Caracterización de los parámetros biológicos y fisicoquímicos del efluente después del tratamiento con el proceso electroquímico con 5, 8 y 12 voltios.**

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a los resultados del proceso electroquímico aplicado a las aguas residuales de la PTAR Jaén; se agregó corriente eléctrica de 5, 8 y 12 voltios. Los resultados correspondientes a cada ensayo se presentaran en forma de Gráficas en función de la remoción de bacterias versus el tiempo.

- ✓ **Tratamiento electroquímico con 5 voltios en los tiempos de 10, 20 y 40 minutos.**

Se procedió a realizar el proceso electroquímico, agregándole 5 voltios de corriente eléctrica a 400 mL de agua residual de la PTAR; usando una placas de plata y cobre con una separación de 3.5 centímetros y con una intensidad de corriente de 2 Amperios; en los tiempos de 10, 20 y 40 minutos, obteniendo las tablas 14,15 y 16.

Tabla 14

*Resultado de los ensayos V1 con un tiempo de 10 min.*

| Ensayo | Voltaje | pH | Tº | Conduct. | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5V | 7.59 | 19.5 | 735 | >1 600 | >1 600 |
| 2 | 5V | 7.41 | 19.4 | 845 | >1 600 | >1 600 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 15

*Resultado de los ensayos V1 con un tiempo de 20 min.*

| Ensayo | Voltaje | pH | Tº | Conduct. | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5V | 7.60 | 19.6 | 732 | >1 600 | >1 600 |
| 2 | 5V | 7.42 | 19.5 | 840 | >1 600 | >1 600 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 16

*Resultado de los ensayos V1 con un tiempo de 40 min.*

| *Ensayo* | *Voltaje* | *pH* | *Tº* | *Conduct.* | *Coliformes totales* | *Coliformes termotolerantes* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5V | 7.62 | 19.5 | 728 | >1 600 | >1 600 |
| 2 | 5V | 7.46 | 19.5 | 835 | >1 600 | >1 600 |

Fuente: elaboración propia

Se puede apreciar que el comportamiento de la temperatura durante la aplicación del proceso electroquímico con tiempos de 10, 20 y 40 minutos, no presenta una variación de temperatura notable, ya que la máxima variación de temperatura que ha sufrido es de 0.4. Por otra parte, durante

la aplicación del proceso electroquímico la conductibilidad no ha logrado una variación notable. Vale destacar que en la aplicación del proceso de electroquímico a este efluente no ocurrió alguna perdida de muestra por evaporación.

**Tratamiento electroquímico con 8 voltios en los tiempos de 10, 20 y 40 minutos.**

Se procedió a realizar el proceso electroquímico, agregándole 8 voltios de corriente eléctrica a 400 mL de agua residual de la PTAR; usando una placas de plata y cobre con una separación de 3.5 centímetros y con una intensidad de corriente de 3 Amperios; en los tiempos de 10, 20 y 40 minutos, obteniendo las tablas 17, 18 y 19.

Tabla 17

*Resultado de los ensayos V2 con un tiempo de 10 min*

| Ensayo | Voltaje | pH | Tº | Conduct. | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8V | 7.40 | 20.3 | 940 | >1 600 | 1600 |
| 2 | 8V | 6.69 | 19.5 | 845 | >1 600 | 920 |

*Fuente: elaboración propia*

Tabla 18

*Resultado de los ensayos V2 con un tiempo de 20 min.*

| Ensayo | Voltaje | pH | Tº | Conduct. | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8V | 7.45 | 20.4 | 925 | 1 600 | 540 |
| 2 | 8V | 7.05 | 19.6 | 830 | 920 | 920 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 19

*Resultado de los ensayos V2 con un tiempo de 40 min*

| Ensayo | Voltaje | pH | Tº | Conduct. | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 8V | 7.55 | 20.6 | 905 | 920 | 280 |
| 2 | 8V | 7.15 | 19.9 | 815 | 920 | 430 |

**Fuente: elaboración propia**

**Tratamiento electroquímico con 12 voltios en los tiempos de 10, 20 y 40 minutos.**

Se procedió a realizar el proceso electroquímico, agregándole 12 voltios de corriente eléctrica a 400 mL de agua residual de la PTAR; usando una placas de plata y cobre con una separación de 3.5 centímetros y con una intensidad de corriente de 5 Amperios; en los tiempos de 10, 20 y 40 minutos, obteniendo de las tablas 20, 21 y 22.

Tabla 20

*Resultado de los ensayos V3 con un tiempo de 10 min.*

| Ensayo | Voltaje | pH | Tº | Conduct. | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12V | 7.54 | 19.5 | 700 | 9.1 | <1.8 |
| 2 | 12V | 7.30 | 20.2 | 710 | 6.8 | <1.8 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 21

*Resultado de los ensayos V3 con un tiempo de 20 min.*

| Ensayo | Voltaje | pH | Tº | Conduct. | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12V | 7.60 | 19.9 | 450 | 4 | <1.8 |
| 2 | 12V | 7.36 | 20.5 | 460 | 4.5 | <1.8 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 22

*Resultado de los ensayos V3 con un tiempo de 40 min.*

| Ensayo | Voltaje | pH | Tº | Conduct. | Coliformes totales | Coliformes termotolerantes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12V | 7.70 | 20.2 | 160 | <1.8 | <1.8 |
| 2 | 12V | 7.46 | 20.8 | 150 | <1.8 | <1.8 |

Fuente: elaboración propia

.

## 4.2. Resultados relacionados con la eficiencia del proceso

Tabla 23

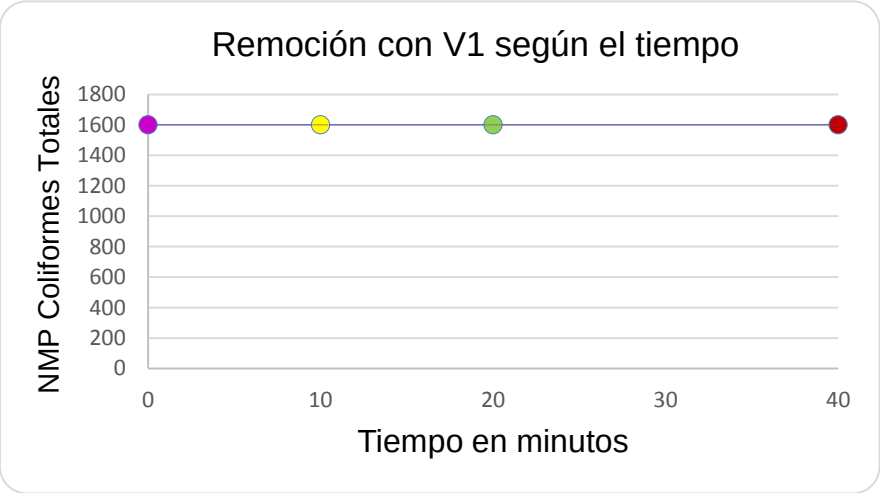
*Promedio del resultado con V1*

| Parámetros Biológicos | Antes del proceso | 2 Amperios | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 10 minutos | 20 minutos | 40 minutos |
| Coliformes totales | >1 600 | >16 000 | >1 600 | >1 600 |
| Coliformes termotolerantes | >1 600 | >16 000 | >1 600 | >1 600 |

Fuente: elaboración propia

De los datos obtenidos de las tablas 13, 14 y 15; se elaboró un promedio para verificar la eficiencia del proceso electroquímico con un voltaje de 5 voltios y una intensidad de 2 amperios, donde se puede observar un resultado desfavorable en la eliminación de bacterias.

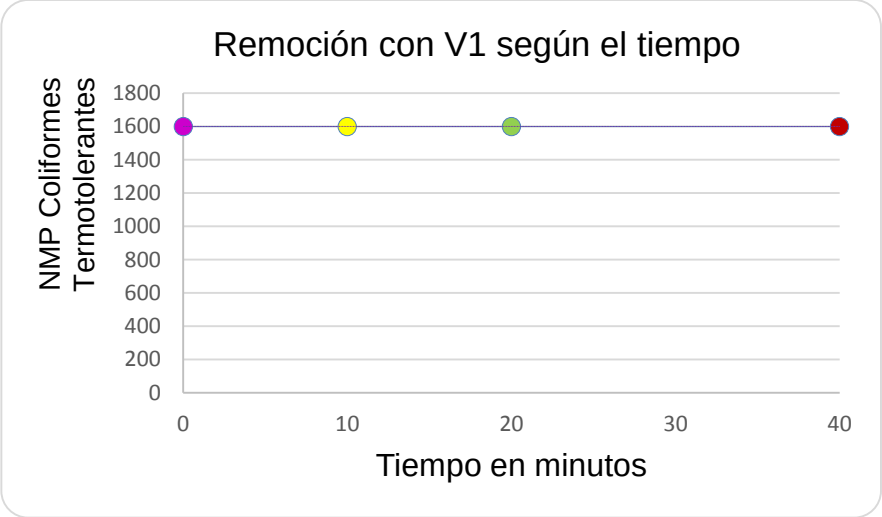
*Figura 7:* Promedio de coliformes totales después de la aplicación proceso electroquímico usando V1 con diferentes tiempos.




Fuente: elaboración propia

En la figura 7 se puede observar que las bacterias coliformes totales no se logró reducir; aunque se disponga más tiempo en tratarlas.

Figura 8: Promedio de coliformes termotolerantes después de la aplicación proceso electroquímico usando V1 con diferentes tiempos.




**Fuente: elaboración propia**

En la figura 8 se puede observar que las bacterias coliformes termotolerantes no se logró reducir al igual que las totales; aunque se disponga más tiempo en tratarlas.

Tabla 24

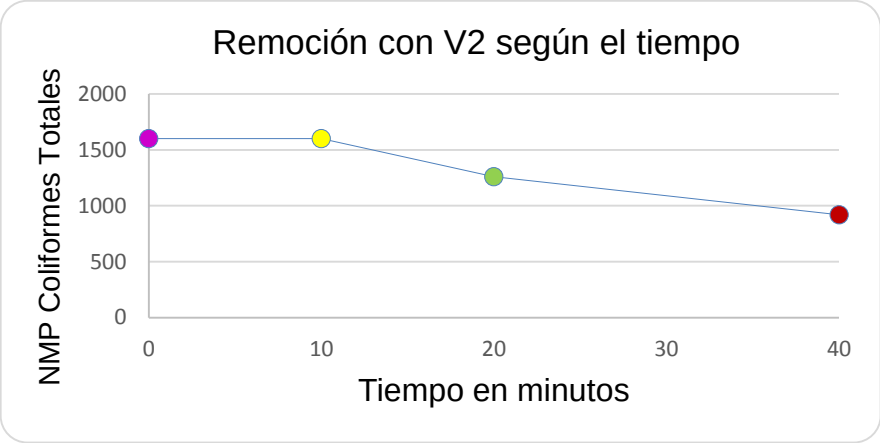
*Promedio del resultado con V2*

| Parámetros Biológicos | Antes del proceso | 3 Amperios | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 10 minutos | 20 minnutos | 40 minutos |
| Coliformes totales | >1 600 | >1 600 | 1 260 | 920 |
| Coliformes termotolerantes | >1 600 | 1260 | 730 | 305 |

**Fuente: elaboración propia**

De los datos obtenidos de las tablas 16, 17 y 18; se elaboró un promedio para verificar la eficiencia del proceso electroquímico con un voltaje de 8 voltios y una intensidad de 3 amperios, donde se puede observar un resultado favorable en la eliminación de bacterias coliformes totales y termotolerantes.

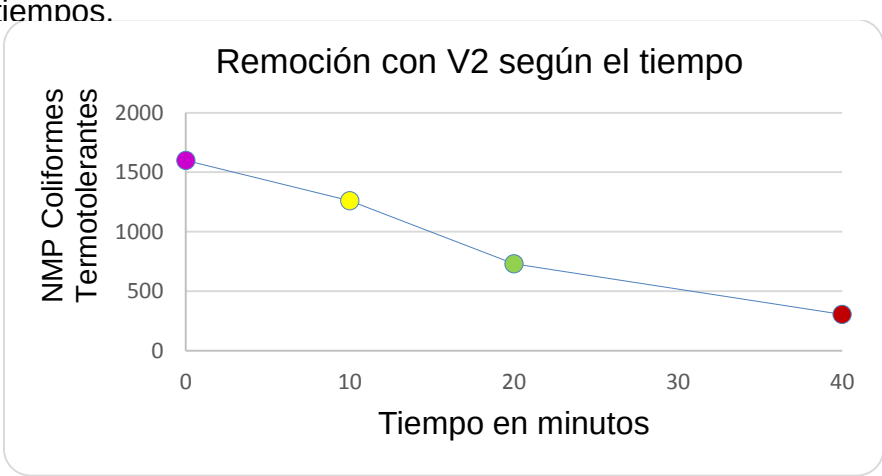
*Figura 9:* Promedio de coliformes totales después de la aplicación proceso electroquímico usando V2 con diferentes tiempos.




Fuente: elaboración propia

En la figura 9 se puede observar que a mayor tiempo que están sometidas las aguas residuales al proceso electroquímico el porcentaje de remoción en más efectiva; ya que en un tiempo de 40 minutos se logra obtener un promedio de 920 en el NMP de las bacterias coliformes totales.

*Figura 10:* Promedio de coliformes termotolerantes después de la aplicación proceso electroquímico usando V2 con diferentes tiempos.




Fuente: elaboración propia

En la figura 10 se puede observar que a mayor tiempo que están sometidas las aguas residuales al proceso electroquímico el porcentaje de remoción en

más efectiva; a comparación de las coliformes totales ya que en un tiempo de 40minutos se logra obtener un promedio de 305 en el NMP de las bacterias coliformes termotolerantes.

Tabla 25

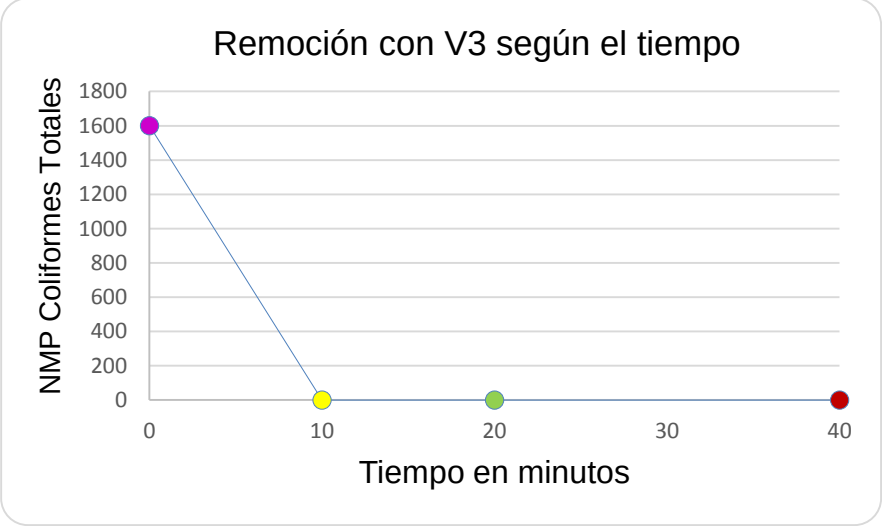
*Promedio del resultado con V3*

| Parámetros Biológicos | Antes del proceso | 5 Amperios | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 10 minutos | 20 minutos | 40 minutos |
| Coliformes totales | >16 000 | 7.9 | 4.3 | <1.8 |
| Coliformes termotolerantes | >16 000 | <1.8 | <1.8 | <1.8 |

**Fuente: elaboración propia**

De los datos obtenidos de las tablas 19, 20 y 21; se elaboró un promedio para verificar la eficiencia del proceso electroquímico con un voltaje de 12 voltios y una intensidad de 5 amperios, donde se puede observar un resultado es muy eficiente en la eliminación de bacterias coliformes totales y termotolerantes.

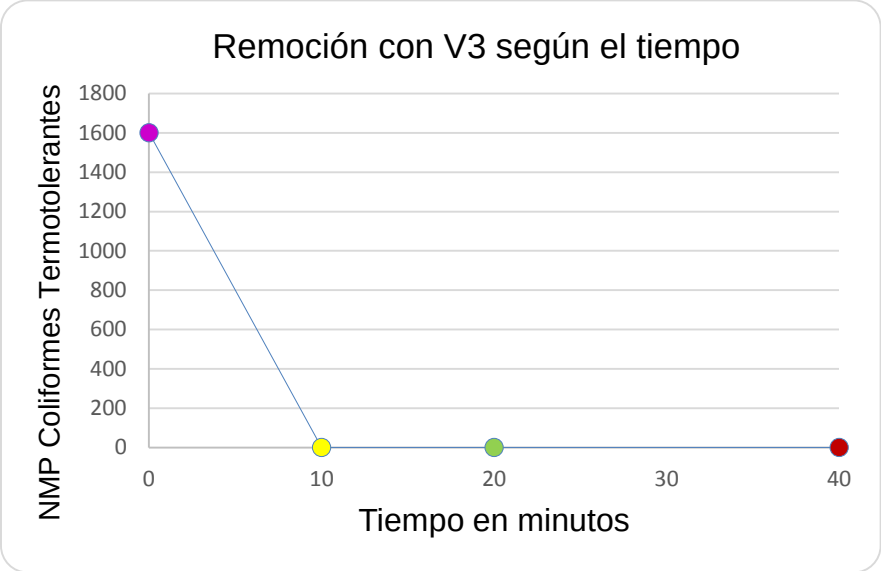
*Figura 11:* Promedio de coliformes totales después de la aplicación proceso electroquímico usando V2 con diferentes tiempos




**Fuente: elaboración propia**

En la figura 11 se puede observar que con tan solo usar 12 voltios y un intensidad de corriente de 5 amperios; en un tiempo de 10 minutos, es suficientemente eficiente para demostrar la eficiencia del proceso electroquímico; ya que en 10 minutos llega a 7.9 en el NMP para las bacterias coliformes totales. Pero si utilizamos un tiempo de 40 minutos los resultados son excepcionales, ya que se logra permanecer <1.8 en el NMP.

*Figura 12:* Promedio de coliformes termotolerantes después de la aplicación proceso electroquímico usando V2 con diferentes tiempos.




Fuente: elaboración propia

En la figura 12 se puede observar que con tan solo usar 12 voltios y un intensidad de corriente de 5 amperios; en un tiempo de 10 minutos, es suficientemente eficiente para demostrar la eficiencia del proceso electroquímico; ya que en 10 minutos llega <1.8 en el NMP y se sigue manteniendo el mismo resultado en el tiempo de 40 minutos.

## V. DISCUSIÓN

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 oxidoreducción. 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 efl uentes gaseosos debido a los bajos costos y las ventajas técnicas que presentan estos métodos (Zumdahl y Zumdahl, 2000). Para el caso de la presente investigación se logró constituir un promedio para verificar la eficiencia del proceso electroquímico aplicándole el voltaje de 5v y una intensidad de 2 amperios, donde se observó un resultado desfavorable en la eliminación de bacterias, lo cual es coincidente con trabajos anteriores (Manrrique, 2009). Al verificar la eficiencia del proceso electroquímico con un voltaje de 8 voltios y una intensidad de 3 amperios, se apreció un resultado favorable en la eliminación de bacterias coliformes totales y termotolerantes, que coincide con los estudios referenciados (Gamero, 2011). Es necesario destacar que como regla encontrada se definió que a mayor tiempo que están sometidas las aguas residuales al proceso electroquímico el porcentaje de remoción en más efectiva lo cual compatibiliza con otros estudios (Chen, 2004); ya que en un tiempo de 40minutos logramos en el laboratorio obtener un promedio de 920 en el NMP de las bacterias coliformes totales, lo cual corrobora investigaciones encontradas al respecto (Rahmani 2008). Se logró estabilizar un proceso de desinfección reglándose que a mayor tiempo que están sometidas las aguas residuales al proceso electroquímico el porcentaje de remoción en más efectiva; a comparación de las coliformes totales ya que en un tiempo de 40minutos se logra obtener un promedio de 305 en el NMP de las bacterias coliformes termotolerantes

lo cual corroboro investigaciones citadas (Kerwick et al., 2005). Al elaborar el promedio para verificar la eficiencia del proceso electroquímico con un voltaje de 12 voltios y una intensidad de 5 amperios, donde se demostró una alta efectividad de dicho proceso en la eliminación de bacterias coliformes totales y termotolerantes, lo cual es compatible con otras investigaciones relacionadas al tema (Ghernaout et al 2007). Esto comprueba que 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 y Masterton, 1997).

Un reactor de electrocoagulación en su forma más simple tiene un ánodo y un cátodo, los cuales están conectados a una fuente de poder externa. Cuando el potencial es aplicado el material del ánodo es oxidado, mientras el material del cátodo es reducido, en este sentido se evidencio además en la presente investigación que con tan solo usar 12 voltios y una intensidad de corriente de 5 amperios; en un tiempo de 10 minutos, es suficientemente eficiente para demostrar la eficiencia del proceso electroquímico; ya que en 10 minutos llega a 7.9 en el NMP para las bacterias coliformes totales. Pero si utilizamos un tiempo de 40 minutos los resultados son excepcionales, ya que se logra permanecer <1.8 en el NMP, esto se considera como la eficiencia del proceso, que comprueba investigaciones sobre la temática (Kobya et al 2003). Se demostró en el laboratorio que con tan solo usar 12 voltios y un intensidad de corriente de 5 amperios; en un tiempo de 10 minutos, es suficiente y logra efectos eficientes del proceso electroquímico; ya que en 10 minutos llega <1.8 en el NMP y se sigue manteniendo el mismo resultado en el tiempo de 40 minutos, lo cual ha sido puesto de manifiesto en investigaciones anteriores (Jaramillo et al., 2005).

## VI. CONCLUSIONES

Se logró conocer que, agregando una intensidad de corriente de 2 amperios, con un voltaje de 5 voltios; y duraciones de tiempo de 10, 20 y 40 minutos, no se logró disminuir los contaminantes biológicos en estudio; ya son mayores a 16 00 NMP de tal modo que al agregar más intensidad de corriente la temperatura va en aumento con una variación de 0.2 ºC hasta 1 ºC, el pH de 0.02 hasta 0.20 y con respecto a los parámetros biológicos en estudio llegan a ser menor a 1.8 NMP.

El porcentaje de eliminación de las bacterias Coliformes termotolerantes usando una placa de cobre y plata con un voltaje de 12 voltios y una intensidad de corriente de 5 amperios, en un tiempo de 40minutos; es alto (100%) logrando disminuir <1.8 NMP, de las bacterias coliformes totales y termotolerantes.

El porcentaje de eliminación de las bacterias Coliformes totales, mediante el proceso electroquímico de la PTAR – Jaén fue al 99% usando una placa de cobre y plata con un voltaje de 12 voltios y una intensidad de corriente de 5 amperios, a tiempos de 10, 20 y 40 minutos; después de un reposo de 10 minutos se logró visualizar la precipitación de flóculos, obteniendo un agua cristalina y sin olor.

## VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los futuros investigadores:

El tipo de reactor utilizado dependerá de las condiciones que quieran aplicarse durante el proceso. Para futuras investigaciones se recomienda diseñar y construir un reactor capaz de manejar un volumen de muestra mayor, así como también que sea de flujo continuo.

Aplicar al proceso utilizando un reactor de mayores dimensiones utilizando más parámetros físicos, químicos y biológicos con los mismos tiempos y amperaje. Pueden modificarse los tipos de electrodos utilizados ya que para la presente investigación solo se utilizaron electrodos de cobre y plata; tal que pueden implementarse otro tipos de

electrodos y evaluar la eficiencia del proceso con estos tipos de electrodos.

Optimizar la separación entre los electrodos. En esta investigación solo se trabajó con una separación de3.5 centímetros entre los electrodos, de manera tal que pueden utilizarse separaciones mayores o menores entre los mismos o incluso menores.

Una vez culminado el proceso de electroquímico es necesario aplicar procedimientos posteriores como filtración, sedimentación, entre otros para obtener un agua mucho más limpia, de manera tal que los sólidos suspendidos sean totalmente eliminados y lograr una máxima remoción de los mismos que hayan permanecido en el agua, así como también eliminar materiales disueltos que causen un incremento en el color del efluente a analizar.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Amaya c. y Camilo A. Conceptos Generales de Química. 2001. <http://es.geocities.com/diecam21/pagina1.html>. Fecha de recuperación: 28 de Octubre de 2008.

Arango, A. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación ,1(2), 49-56

BNDES (1998) – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social: Modelagem de desestatização do setor de saneamento básico. Rio de Janeiro, IV volumes. Mimeo.

BID (1997). Manual de caracterización de aguas residuales industriales [versión DX Reader]. Recuperado de https://www.dropbox.com/s/jprb4stsj3rkbgs/MANUAL%20DE

%20CA
RACTERIZACION%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20INDU STRIALES.pdf?Dl=0

Caamaño F., David. Glosario electrotécnico y electrónico.(2001). http://www.natureduca.com/tecnogloselece02.php. Fecha de recuperación: junio del 2017.

Campos, C. G. (2004). Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. Universidad Javeriana - Google Académico.

Chen G. (2004) “Electrochemical technologies in wastewater treatment”. Separation and Purifi cation Technology. Vol 38. pp 11-41.

Cordero, E., Manrique, J. (2009) Evaluación del efecto dela electrocoagulación en la disminución de la carga contaminante en las aguas residuales (tesis grado) pag 29-32. Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.

Cristancho, D., Morales, N. B., Garavito, J. Z., Chávez, A. "Descripción del comportamiento de un prototipo para tratamiento electroquímico de aguas residuales industriales". Revista Academia y Virtualidad Vol. 3(1). 2010. Págs. 125-136.

Daneshvar, N. (2004).” Decolourization of Dye Solution Containing Acid Red 14 by Electrocoagulation with a Comparative Investigation of Different Electrode Connections”. Journal of Hazardous Materials. Vol 112.

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua. (2015)Disponible en: http://www.minam.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=102:estandares-ambientales&catid=22:biodiversidad y http://www.minam.gob.pe/dmdocuments/ds_002_2015_eca_agua.pdf

Galal Gorchev. (1996) Desinfección del agua potable y subproductos de interés para la salud. En: La calidad del agua potable en

America Latina: Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de subproductos de la desinfeccion química, G.F. Craun y R. Castro, eds., págs. 89-100. ILSI Pres: Washington, EUA.

Gamero D.A. (2011). Remoción de microorganismos patógenos de las aguas mediante Electrocoagulación empleando ánodos de Aluminio. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú.

Ghernaout, D., Badis, A., Kellil, A., Ghernaout, B. (2008) Application of electrocaoagulation in Escherichia coli cultura and two surface waters. Science Direct. Desalination. Vol. 219 Issues 1-3. 25, January. p. 118 – 125.Online: linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916407005681

Gleick, P. H. (2000). "El Cambio de Paradigma del Agua. Una Mirada al Desarrollo de los Recursos Hidráulicos en el Siglo Veintiuno." Water International Journal, 25(1), 127-138.

Guimarães J.R, y Nour E.A.A. (2001) Tratando nossos esgotos: processos que imitam a natureza. Quimica Nova na Escola-Cadernos Temáticos, Edición especial-Fevereiro, 19-30.

Guohua Chen, (2004). “Electrochemical technologies in wastewater treatment”. Separation and purification technology (38) p. 11-41.

Holt P.K; GW Barton; CA Mitchell. (2005). “The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology”. Chemosphere. Vol 59. pp 355-367.

Hurley y Masterton. (1997). Chemistry Principles and Reaction. Ed. Saunders Golden Sunburst Series, 3a Edición, pp 498-525.

Jaramillo Páez, C., Jaramillo Giraldo, A., Taborda Ocampo, G. (2005) Construcción de un reactor electroquímico para electrocoagulación como método alternativo en la descontaminación de aguas residuales. Revista Universidad de Caldas (Manizales). Vol. 25. Nº 02. Julio - Diciembre. p. 145-158.

Kerwick M. I., Reddy S. M., Chamberlain A. H. L., Holt D. M. (2005). “Electrochemical disinfection, an environmental acceptable method of drinking water disinfection”. Electrochimica Acta 50, 5270-5277.

Kobya, M., Taner Can, O., Bayramoglu, M. (2003) Treatment of textile wasterwaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. Journal of Hazardous Materials. B100. p. 163 – 178. Disponible en www.elsevier.com/locate/jhasmat

Lee, Ming Shing. (2000) “Tratamiento del agua por medio de electroflotación y electrocoagulación”.

MARSILLI, Alejandro. Tratamiento de Aguas Residuales. Diciembre de 2005. <http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>. Fecha de recuperación: 26 de Octubre de 2008.

Méndez Vega, J., Marchan Peña, J. (2008). Estudio diagnostico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución. SUNASS Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nº 2008 – 14631. Disponible en: http://www.sunass.gob.pe/doc/supervision/diagnostico/diagnostico_situacional_aguas_eps.pdf

Metcalf y Eddy. (1996). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. (3a. ed). México: Mc Graw Hill.

Mollah M. Yousuf; Morkovsky P; Gomes J.A; Kesmez M; Parga J; Cocke D.L. (2004) “Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation”. Journal of Hazardouz Materials. Vol B114. pp 199-210.

Ortiz Hernández, M. L., Gutiérrez Ruiz, M. E., y Sanchez-Salinas, E. (1995). Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del Valle’de Cuernavaca, Estado de Morelos, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 11(2), 105–115.

Oliveira, W.Y, S. Gaglianone, Yassude Y.R.A, Nogami P.S, Pereira B.Y.B, y. Martins J.A, (1978) Técnica de Abastecimiento y Tratamiento de Agua. 2ª Edición Brasil: CETESB, Vol. 1, Cap. 1, págs. 1–28.

PRIETO, F. (2012) Electrocoagulación: una alternativa para depuración de lactosuero residual. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica, 5(3,51-77): diciembre 2012.

Soares, L. C. R., Griesinger, M. O. J., Dachs, N. W., Bittner, M. A., and Tavares, S. (2002). "Inequities in access to and use of drinking water services in Latin America and the Caribbean." Pan American Journal Public Health, 11(6), 386-396.

RAJESHWAR, K y IBANEZ, J. (1997) Environmental Electrochemistry: Fundamentals and Applications in Pollution Abatement. San Diego: Academic Press

Rahmani AR. (2008) Removal of Water Turbidity by the Electrocoagulation Method. J. Res Health Sci Vol. 8. Nº 1. p. 18-24. University of Medical Sciences. Iran. 2008. Disponible en: http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J_pdf/129720080103.pdf

Restrepo, A., Arango, A. y Garcés, G.L. (2006). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. Producción + Limpia, 1 (2), 58-77.

Trejos Vélez, M., y Agudelo Cardona, N. (2012). Propuesta para el aprovehamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “Comestibles La Rosa” como alternativa para le generación de biosolidos.

Zumdahl Steven S. y Zumdahl Susan A. (2000). Chemistry. Ed. Houghton Miffl in Company, New York, 5a Edición, pp. 837-879.

## IX. ANEXO PANEL FOTOGRAFICO

F*igura 13*: Estufa de incubación

*Figura 14:* Autoclave

*Figura 15.* Maquina electroquímica

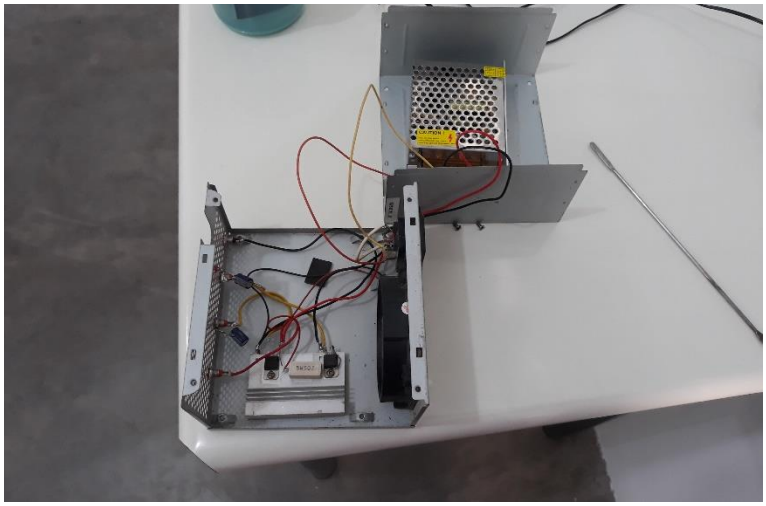


*Figura 16:* Celda electroquímica de cobre y plata

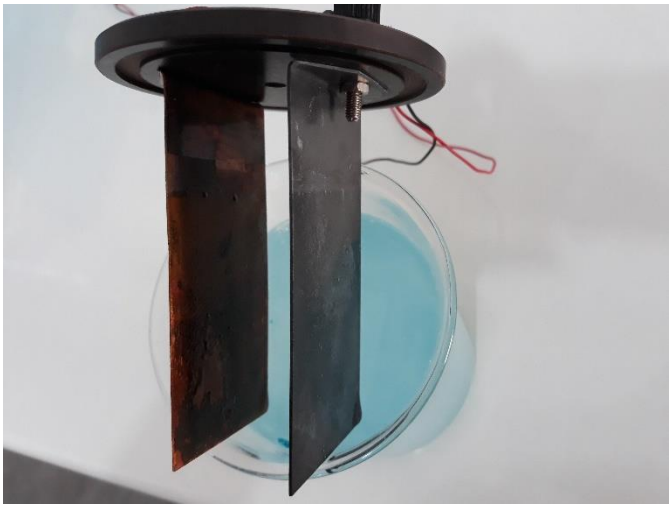


*Figura 17:* Muestras con cultivo preparados termotolerantes

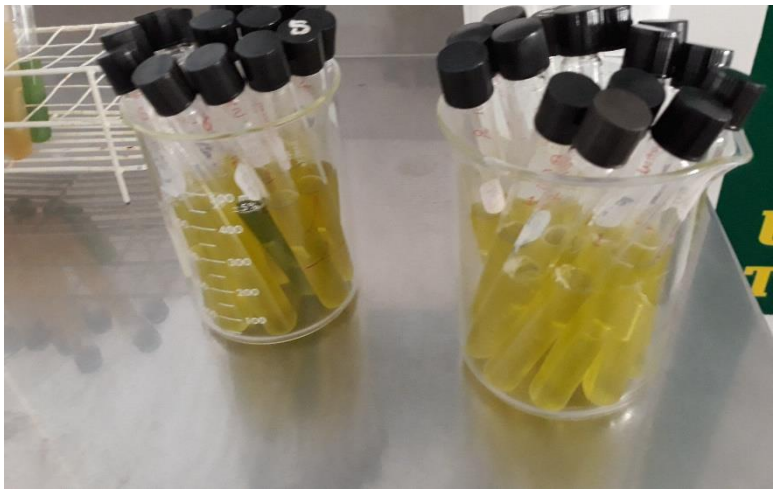


*Figura 18:* Muestras con cultivos preparados totales

*Figura 19: Dejando la muestra en la incubadora*

*Figura 20:* Preparación de muestras

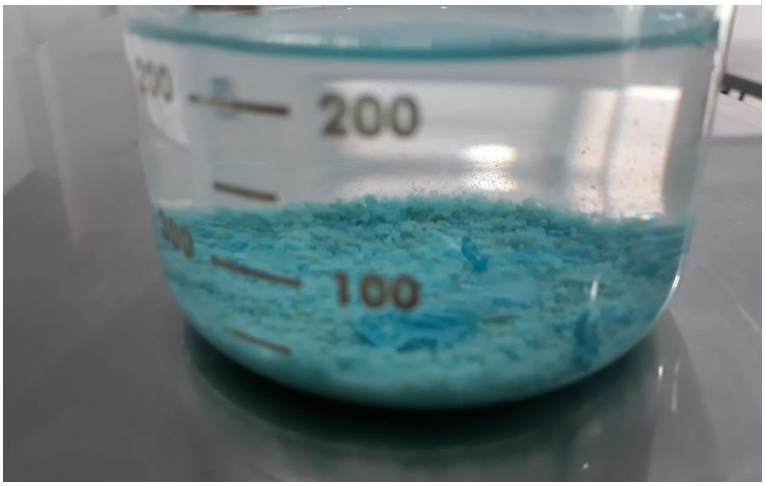



*Figura 21:* Agua residual después del tratamiento electroquímico