

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



(Creada por Ley N°. 25265)



ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

UNIDAD DE POSGRADO

TESIS

**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE
LAVADORAS POR EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN
EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y/O SANITARIA**

PRESENTADO POR:

Bach. José Carlos AYUQUE ROJAS

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERÍA**

MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

HUANCAVELICA, PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA
(Creado por Ley N° 25265)



ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA
UNIDAD DE POSGRADO

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Ante el Jurado conformado por los docentes: **Dr. William Hermínio SALAS CONTRERAS**, **Dra. María del Carmen DURAN MAYTA**, **Mg. Mabel Yesica ESCOBAR SOLDEVILLA**

Asesor: Mg. Pedro Antonio PALOMINO PASTRANA

De conformidad al Reglamento Único de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, aprobado mediante Resolución N° 330-2019-CU-UNH, y modificado con Resolución N° 552-2021-CU-UNH, y la Directiva de la Sustentación Síncrona de Tesis de los Estudiantes de Maestría y Doctorado de las Unidades de Posgrado de las Facultades Integrantes de la Universidad Nacional de Huancavelica en el Marco al estado de emergencia covid 19, aprobado mediante Resolución Directoral N° 340-2020-EPG-R/UNH.

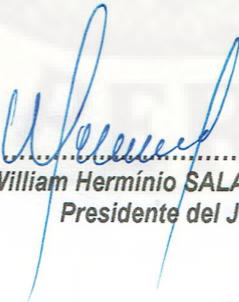
El candidato al **GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERIA; MENCIÓN EN ECOLOGIA Y GESTIÓN AMBIENTAL.**

Don, **José Carlos AYUQUE ROJAS**, procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado "**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LAVADORAS POR EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN LA CIUDAD DE HUANCABELICA**".

Luego de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

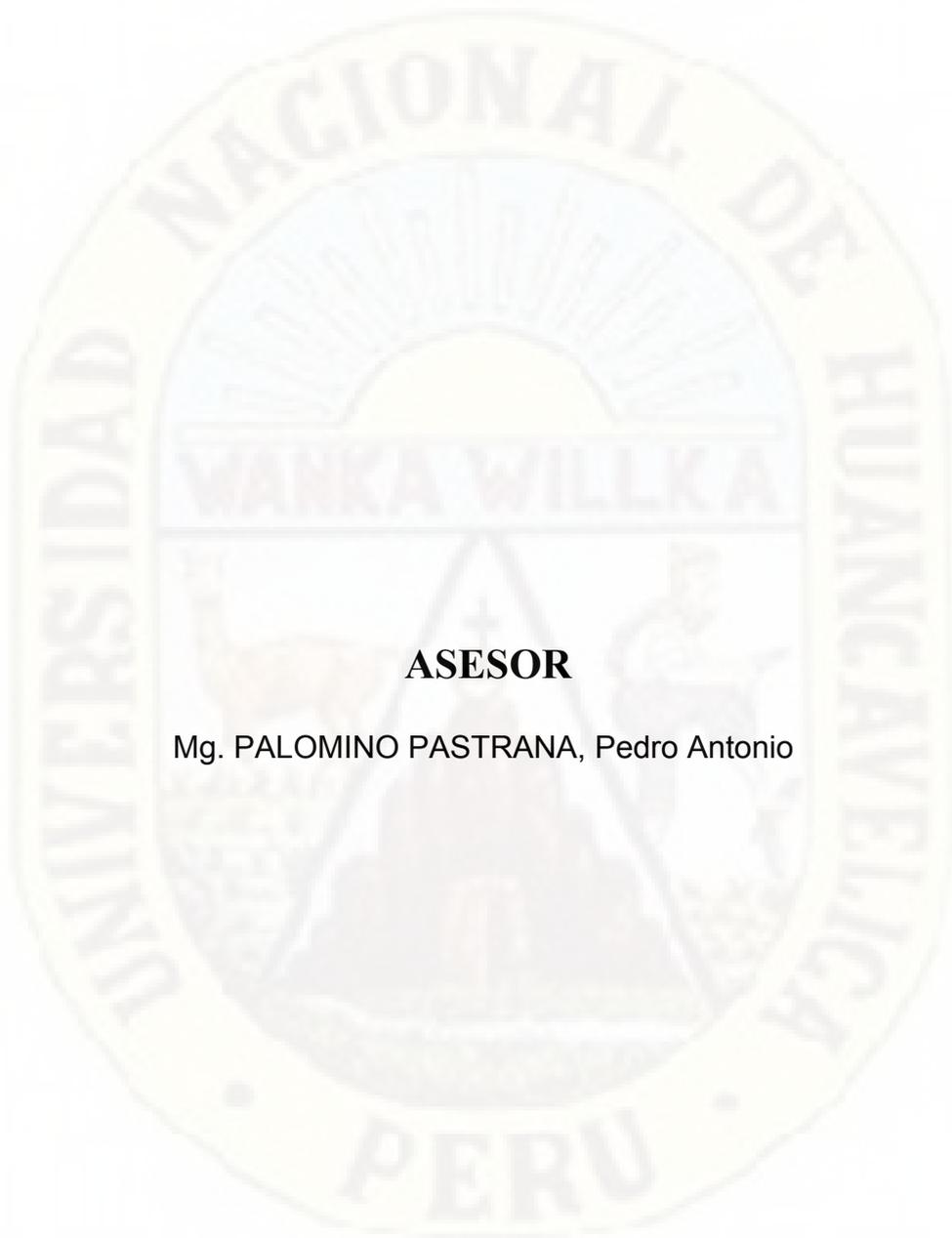
Con el calificado **APROBADO POR UNANIMIDAD**

Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los veintinueve días del mes de enero del año 2022.


.....
Dr. William Hermínio SALAS CONTRERAS
Presidente del Jurado.


.....
Dra. María del Carmen DURAN MAYTA
Secretario del Jurado


.....
Mg. Mabel Yesica ESCOBAR SOLDEVILLA
Vocal del Jurado



ASESOR

Mg. PALOMINO PASTRANA, Pedro Antonio

DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios por haberme dado la oportunidad de seguir con mis estudios de postgrado y adquirir nuevos conocimientos para poder mejorar como profesional y como persona. En particular agradecer a mis padres, hermanos, familiares y amigos quienes me enseñaron el valor de todo, acompañándome en el proceso de mi formación profesional. También agradecer a los encargados del laboratorio de la universidad nacional de Huancavelica, asesores, tutores y docentes quienes aportaron con sus conocimientos para tener una mejor educación.

José Carlos

RESUMEN

La tesis fue titulada tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras por el método de electrocoagulación en la ciudad de Huancavelica, en la que se planteó como objetivo general: Evaluar el grado de influencia del método de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica, para lo cual se empleó la siguiente metodología: la investigación fue de tipo aplicada, nivel explicativo, el método de investigación fue científico, diseño pretest y posttest con un solo grupo, la técnica fue la observación experimental y el instrumento utilizado fue la ficha de registro de datos, la población fue las aguas residuales de las lavanderías ASOCIACION TAKSANA WASI y RAYSA NALINY QUISPALAYA ENRIQUEZ de la ciudad de Huancavelica, la muestra se conformó por 3 litros de agua residual por tratamiento por cada lavandería, en donde el muestreo fue muestreo no probabilístico (no aleatoria) de tipo intencional, según los resultados el tiempo de retención y la intensidad de corriente en la cámara de electrocoagulación influyen significativamente en la reducción de la demanda química de oxígeno, teniendo un valor inicial de DQO de 1308.00 mg/l y se redujo hasta 366.50 mg/l en la lavandería 1. En la lavandería 2 se obtuvo un valor inicial de DQO de 1333.50 mg/l reduciendo hasta 348.50 mg/l cumpliendo con los VMA acorde al Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. En los parámetros Ph y temperatura las variables tiempo de retención e intensidad de corriente no tienen un nivel de significancia relevante.

Palabras claves: Electrocoagulación, Tratamiento y Agua, demanda química de oxígeno.

ABSTRACT

The thesis was titled treatment of wastewater from washing machines by the electrocoagulation method in the city of Huancavelica, in which the general objective was: To evaluate the degree of influence of the electrocoagulation method on the treatment of wastewater from washing machines in the city of Huancavelica, for which the following methodology was used: the research was of an applied type, explanatory level, the research method was scientific, pretest and posttest design with a single group, the technique was experimental observation and the instrument used was the data record sheet, the population was the wastewater from the ASOCIACION TAKSANA WASI and RAYSA NALINY QUISPIALAYA ENRIQUEZ laundries in the city of Huancavelica, the sample was made up of 3 liters of wastewater per treatment for each laundry, where the The sampling was non-probabilistic (non-random) intentional sampling, according to the results the time or retention and the intensity of current in the electrocoagulation chamber significantly influence the reduction of the chemical oxygen demand, having an initial COD value of 1308.00 mg / l and it was reduced to 366.50 mg / l in the laundry 1. In the Laundry 2, an initial COD value of 1333.50 mg / l was obtained, reducing it to 348.50 mg / l, complying with the VMA according to Supreme Decree No. 010-2019-HOUSING. In the parameters Ph and temperature, the variables retention time and current intensity do not have a relevant level of significance.

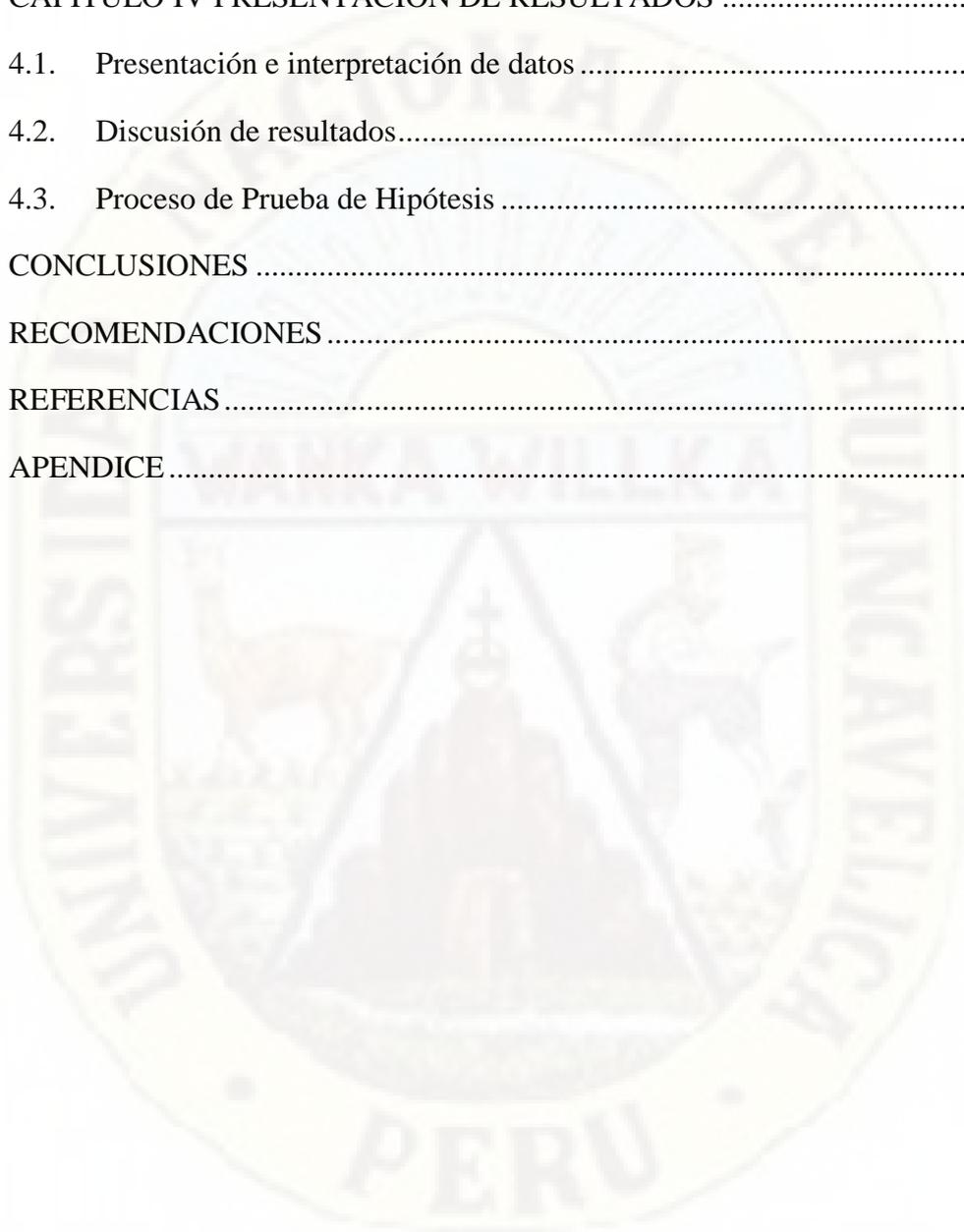
Keywords: Electrocoagulation, Treatment and Water, chemical oxygen demand.

ÍNDICE

PORTADA.....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPITULO I EL PROBLEMA	13
1.1. Planteamiento del Problema.....	13
1.2. Formulación del Problema	14
1.2.1.Problema General	14
1.2.2.Problemas Específicos.....	15
1.3. Objetivos de la investigación:	15
1.3.1.Objetivo General.....	15
1.3.2.Objetivos Específicos	15
1.4. Justificación.....	16
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes de la investigación	17
2.1.1.A nivel internacional	17
2.1.2.A nivel Nacional.....	26
2.1.3.A nivel Local	41
2.2. Bases Teóricas.....	41
2.2.1.Teoría del tratamiento de aguas residuales.....	41

2.2.2. Tratamiento de aguas residuales.....	43
2.2.3. La electrocoagulación.....	44
2.2.4. Reactor para la electrocoagulación.....	50
2.2.5. Selección de placas para la cámara de electrocoagulación.....	53
2.2.6. Operaciones en las celdas de electrocoagulación.....	54
2.2.7. Factores que afectan la electrocoagulación.....	56
2.2.8. Parámetros estudiados.....	59
2.2.9. Normativas relacionadas a efluentes de una PTAR.....	60
2.3. Formulación de hipótesis.....	62
2.3.1. Hipótesis General.....	62
2.3.2. Hipótesis Específicas.....	62
2.4. Definición de términos.....	62
2.5. Identificación de variables.....	64
2.6. Operacionalización de Variables.....	66
CAPITULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	67
3.1. Tipo de Investigación.....	67
3.2. Nivel de Investigación.....	67
3.3. Métodos de Investigación.....	68
3.4. Diseño de Investigación.....	68
3.5. Población, muestra y muestreo.....	69
3.5.1. Población.....	69
3.5.2. Muestra.....	69
3.5.3. Muestreo.....	70
3.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	70
3.6.1. Técnicas.....	70
3.6.2. Instrumentos.....	71
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	74
3.7.1. Técnica de procesamiento de datos.....	74

3.7.2. Análisis de datos.....	78
3.8. Descripción de la prueba de Hipótesis	78
CAPITULO IV PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	80
4.1. Presentación e interpretación de datos	80
4.2. Discusión de resultados.....	88
4.3. Proceso de Prueba de Hipótesis	90
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS.....	105
APENDICE	113



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Estudios según el tipo de contaminante, material y tipo de flujo	54
Tabla 2	Rangos de concentración	61
Tabla 3	VMA para descargas en el sistema de alcantarillado	61
Tabla 4	Resultados obtenidos del tratamiento de las aguas residuales.....	81
Tabla 5	Análisis de varianza de los parámetros en estudio (DQO, Ph y T)	82
Tabla 6	Prueba de medias de DQO (Tuckey)	83
Tabla 7	Prueba de medias de temperatura (Tuckey).....	85
Tabla 8	Prueba de medias del potencial de Hidrogeno (Tuckey).....	86
Tabla 9	Test de normalidad de los parámetros analizados.	91
Tabla 10	Test de levene para homogeneidad de varianzas.	93
Tabla 11	Análisis de varianza de los parámetros (DQO, Ph y T).	97
Tabla 12	Análisis de varianza para Demanda química de oxígeno (DQO).....	97
Tabla 13	Análisis de varianza para temperatura (C°).	98
Tabla 14	Análisis de varianza para potencial de hidrogeno (PH).	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Clasificación de Operaciones Unitarias Típicas en las PTAR.....	44
Figura 2	Interacciones Electrocoagulación/flotación	44
Figura 3	Representación esquemática de una celda Electrocoagulación básica.	46
Figura 4	Reacciones en el proceso de electrocoagulación.	48
Figura 5	Configuración monopolar conectado en paralelo.	51
Figura 6	Configuración monopolar conectado en serie.	52
Figura 7	Configuración bipolar conectado en paralelo.	53
Figura 8	Zonas de una celda de electrocoagulación.	53
Figura 9	Contaminante removido según el material y tipo de flujo.....	54
Figura 10	Digestor DBR-200 (para medir el DQO).	71
Figura 11	colorímetro portátil DR-900 (para medir el DQO).....	72
Figura 12	Multiparámetro	72
Figura 13	Ficha de registro de datos (Cadena de custodia).	73
Figura 14	Pirámide doble de DQO (Lavandería 1 y 2).....	84
Figura 15	Pirámide doble de Temperatura (Lavandería 1 y 2).	85
Figura 16	Pirámide doble del potencial de Hidrogeno (Lavandería 1 y 2).	87
Figura 17	Prueba de normalidad de DQO	92
Figura 18	Prueba de normalidad de Temperatura.....	92
Figura 19	Prueba de normalidad del Potencial de Hidrogeno.	93
Figura 20	Modelo para el planteamiento de la prueba de Hipótesis	94
Figura 21	Prueba ANOVA de la hipótesis general.....	97
Figura 22	Prueba ANOVA de la hipótesis específica 1.....	98
Figura 23	Prueba ANOVA de la hipótesis específica 2.....	99
Figura 24	Prueba ANOVA de la hipótesis específica 3.....	100

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el grado de influencia del método de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica para lo cual se trabajó con una cámara de electrocoagulación donde se manipulo las variables de tiempo e intensidad de corriente eléctrica con la finalidad de tratar las aguas residuales procedentes de dos lavanderías de prendas de las ciudad de Huancavelica.

Los humanos están desestabilizando la biosfera global en múltiples frentes. Cada vez tomamos más recursos del entorno, al tiempo que vertemos en él cantidades ingentes de desechos y venenos, lo que provoca cambios en la composición del suelo, del agua y de la atmósfera. Apenas somos conscientes siquiera de las múltiples maneras en que alteramos el delicado equilibrio ecológico formado a lo largo de millones de años (Harari, 2018).

El aumento en los vertidos de aguas residuales sin tratar, junto con la escorrentía de tierras agrícolas y las aguas residuales industriales con tratamiento inadecuado, han llevado al deterioro de la calidad del agua en el mundo. Si las tendencias actuales perduran, la calidad del agua continuará deteriorándose (Ryder, 2017, p. 02).

En la actualidad la ciudad de Huancavelica no tiene una planta de aguas residuales es por ende que se requiere un mayor control de las aguas residuales industriales vertidas en el desagüe. Como consecuencia del vertido sin tratamiento de las aguas residuales industriales al rio Ichu, aumentan su temperatura, afectando a los organismos acuáticos y posteriormente la eliminación de las especies.

La tesis en mención, es una alternativa, técnica de solución de bajo costo a la problemática del tratamiento, Al ejecutar la tesis se llegó a cumplir los valores máximos admisibles referente al parámetro DQO. Ya que la cámara de electrocoagulación funciona como un purificador de las aguas residuales industriales.

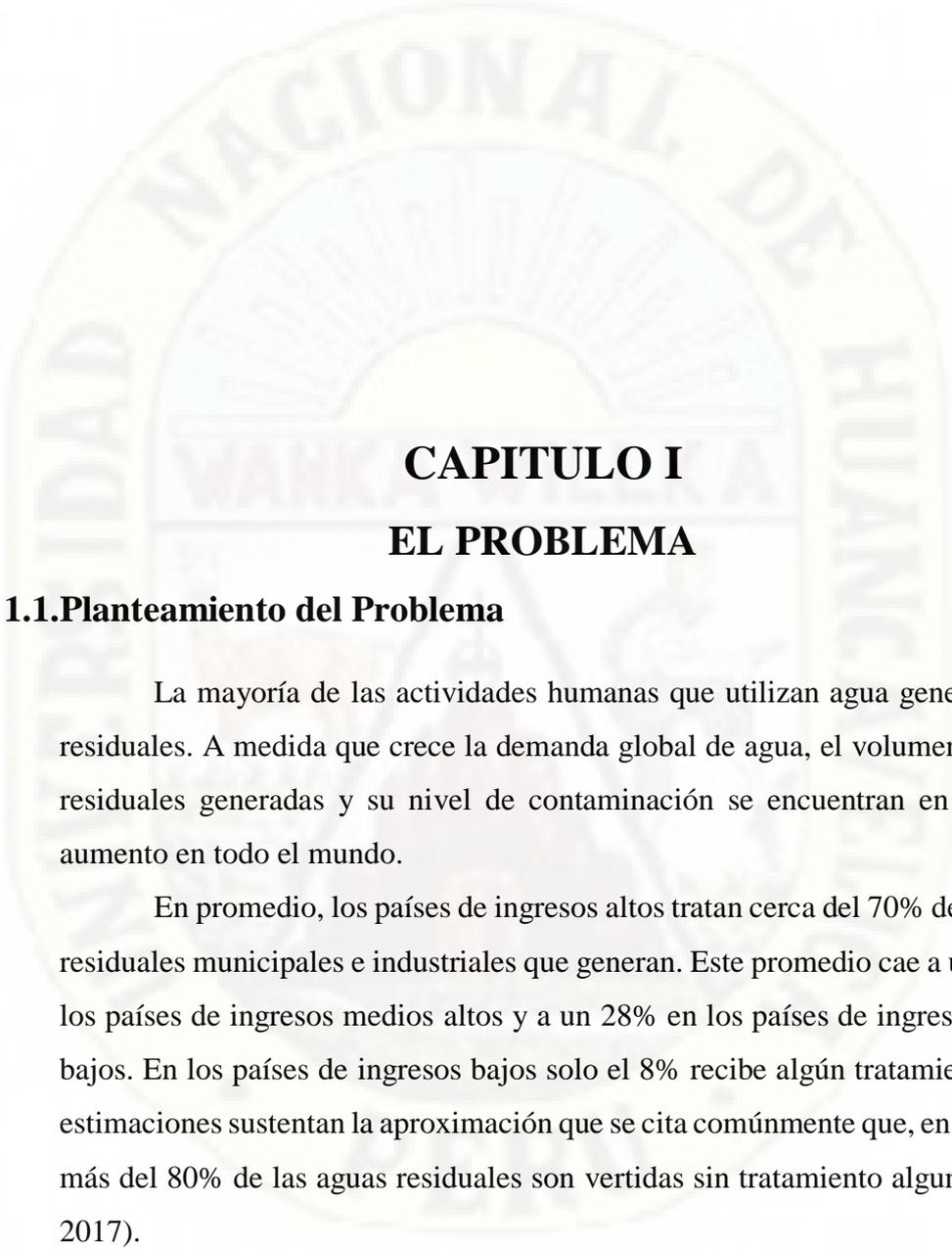
En la actualidad están realizando diversos métodos de tratamiento, para lo cual un método común de ser tratadas es mediante la coagulación, una operación orientada a la desestabilización de los contaminantes del medio acuoso, mediante su interacción con un reactivo (generalmente, sales de Al y de Fe).

Para ello, se utilizó el método de electrocoagulación para el tratamiento de las aguas residuales de lavandería, se trabajó con placas de aluminio como ánodo y cátodo de una celda de electrocoagulación donde se controló el comportamiento de las características fisicoquímicas de la muestra modificando la intensidad de corriente y tiempos de exposición.

El proceso de electrocoagulación es muy similar a un tratamiento químico típico de coagulación, pero utilizando energía eléctrica. Ambos procesos tienen por objetivo la desestabilización de los coloides contenidos en un agua y se diferencian en el modo de adición del reactivo: en coagulación convencional el reactivo se añade como sal y en electrocoagulación se genera a partir de un metal.

El trabajo de investigación está conformado por cuatro capítulos, en el capítulo I se delimita el problema de estudio, formulación de problema, objetivos del problema y justificación. En el capítulo II se desarrolló los antecedentes, bases teóricas, hipótesis y definición operativa de variables. En el capítulo III se desarrolló los materiales y métodos. En el capítulo IV se desarrolló la discusión de resultados, análisis de datos, conclusiones y recomendaciones.

El Autor



CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1.Planteamiento del Problema

La mayoría de las actividades humanas que utilizan agua generan aguas residuales. A medida que crece la demanda global de agua, el volumen de aguas residuales generadas y su nivel de contaminación se encuentran en constante aumento en todo el mundo.

En promedio, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan. Este promedio cae a un 38% en los países de ingresos medios altos y a un 28% en los países de ingresos medios bajos. En los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento. Estas estimaciones sustentan la aproximación que se cita comúnmente que, en el mundo, más del 80% de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento alguno (Ryder, 2017).

De la revisión del estudio efectuado por SUNASS (2008), se desprende que el 70% de las aguas residuales en el Perú no tienen tratamiento de aguas alguno; asimismo, que de las 143 plantas de tratamiento residual que existen en el Perú, solo el 14% cumplen con la normatividad vigente para el cabal funcionamiento de las mismas (Carlos González Taranco & Olivares, 2015).

Los vertimientos que se disponen en los sistemas de alcantarillado sin previo tratamiento muchas veces contribuyen en la contaminación de cuerpos receptores principalmente ríos, mares y lagunas debido a su alta carga contaminante que llevan consigo, las aguas residuales de las lavanderías es uno de los casos que debería tenerse en cuenta por las consecuencias que pueden generar en las redes de distribución de alcantarillado debido a la presencia de contaminantes que contiene.

Actualmente, el Distrito de Huancavelica, no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, ocasionando la contaminación del recurso hídrico, la desaparición de la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos, sumado a ello la contaminación de suelos y el incremento del riesgo de la salud por la proliferación de malos olores producto de la degradación natural de la materia orgánica.

Teniendo en cuenta la descripción actual de las aguas residuales de la ciudad de Huancavelica, una solución pertinente es aplicar el proceso de electrocoagulación como tratamiento para los efluentes de las lavanderías, la cual es una tecnología de muy poca aplicación en el país, que tiene como ventajas no usar coagulantes como el sulfato de aluminio, ferroso o férrico, así como polímeros sintéticos los cuales encarecen los costos del tratamiento. Es por ello que su utilización en el tratamiento de agua se hace necesaria e imprescindible teniendo en cuenta las realidades socio económicas de nuestro país

Se determinó en esta investigación el proceso del método de electrocoagulación usando los electrodos de aluminio (Al), con la finalidad de eliminar los contaminantes del agua procedente de lavadoras para cumplir los Valores Máximos Admisibles (VMA).

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el grado de influencia del método de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica?

1.2.2. Problemas Específicos

1. ¿Cuál es el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en la demanda química de oxígeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica?
2. ¿Cuál es el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en el potencial de hidrogeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica?
3. ¿Cuál es el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en la temperatura del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica?

1.3.Objetivos de la investigación:

1.3.1.Objetivo General

Evaluar el grado de influencia del método de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica.

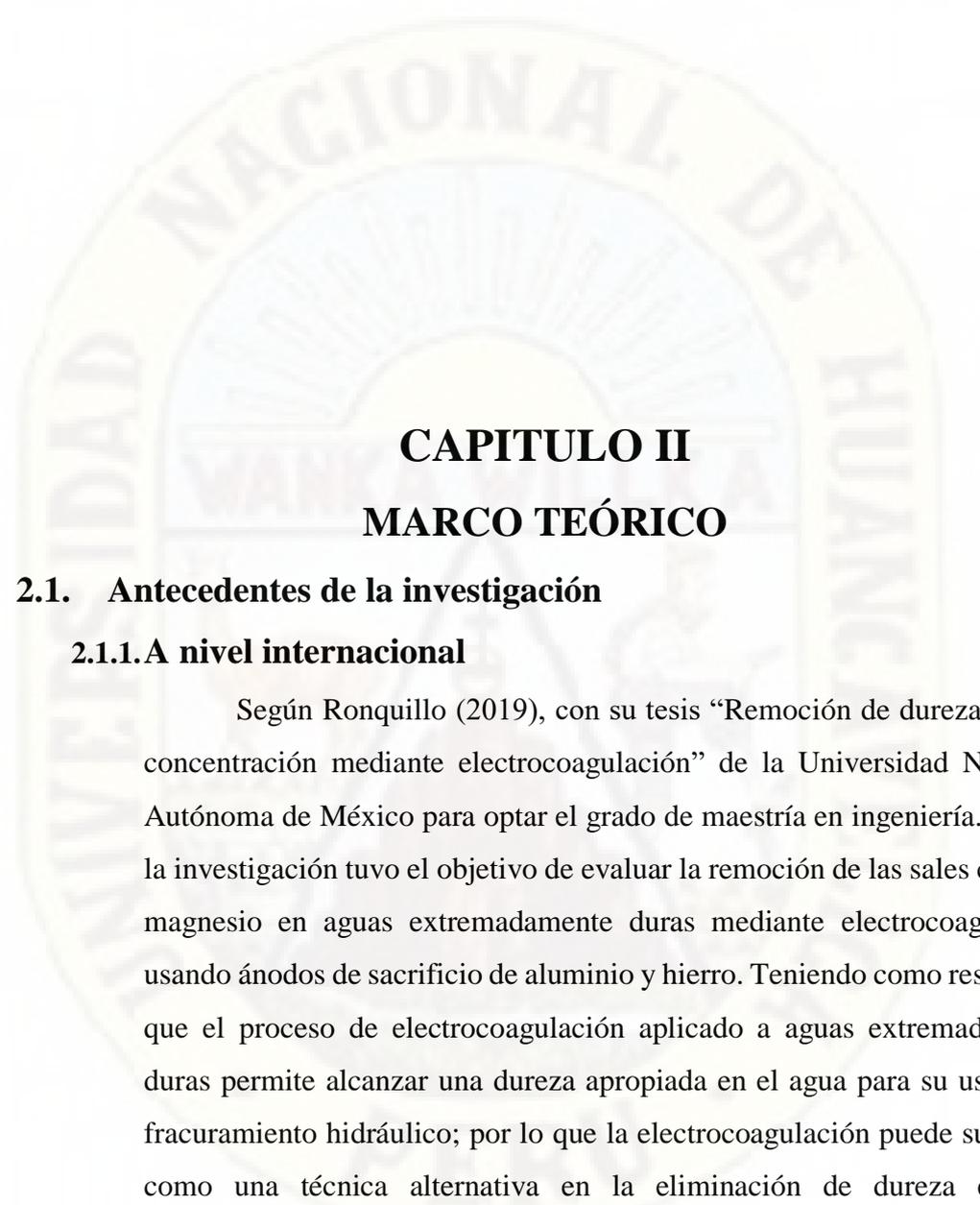
1.3.2.Objetivos Específicos

1. Estimar el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en la demanda química de oxígeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica.
2. Estimar el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en el potencial de hidrogeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica.
3. Estimar el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en la temperatura del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica.

1.4. Justificación

Se espera que el presente trabajo sea utilizado en las empresas de lavandería del ámbito local y nacional, para poder cumplir con los lineamientos establecidos de acuerdo al Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA de Perú que establece los valores máximos admisibles para descarga de efluentes no domésticos. Una de las razones que justifican la presente investigación es:

El agua residual proveniente de lavanderías de la localidad de Huancavelica genera la degradación de las redes de alcantarillado debido a que estas no tienen ningún tipo de tratamiento antes de realizar la descarga a los recolectores. Esta investigación propone el tratamiento del efluente de las lavanderías utilizando el método de electrocoagulación, proceso que aplica los principios de la coagulación floculación en un reactor electrolítico que no emplea coagulantes químicos y utilizaremos cargas eléctricas para desestabilizar las partículas, los separa por medio de un proceso electrolítico facilitando su aglomeración y su respectiva precipitación alcanzando un alto porcentaje de remoción de los contaminantes concurrentes en el efluente.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1.A nivel internacional

Según Ronquillo (2019), con su tesis “Remoción de dureza en alta concentración mediante electrocoagulación” de la Universidad Nacional Autónoma de México para optar el grado de maestría en ingeniería. Donde la investigación tuvo el objetivo de evaluar la remoción de las sales calcio y magnesio en aguas extremadamente duras mediante electrocoagulación usando ánodos de sacrificio de aluminio y hierro. Teniendo como resultados que el proceso de electrocoagulación aplicado a aguas extremadamente duras permite alcanzar una dureza apropiada en el agua para su uso en el fraccionamiento hidráulico; por lo que la electrocoagulación puede sugerirse como una técnica alternativa en la eliminación de dureza en alta concentración. Se determinaron las condiciones de operación óptimas para ambos electrodos y se comprobó que la EC es un método eficaz que permite obtener un buen porcentaje de remoción de dureza total; usando electrodos de aluminio se consiguió una remoción de 61.64% y con electrodos de hierro del 55.70%; estas remociones representan una disminución de 2,466 mg CaCO₃.L-1 y 2,215 mg CaCO₃.L-1, respectivamente, en el agua tratada. Se

concluye que la eficiencia de remoción de dureza con electrodos de aluminio es 6% mayor a la obtenida con los electrodos de hierro.

Según Canto (2018), con su tesis “Modelación hidráulica de reactores de electrocoagulación con flujo vertical bifásico” de la Universidad Nacional Autónoma de México para optar por el grado de doctor en ingeniería. La investigación tuvo como objetivo el estudio del comportamiento hidráulico de reactores de electrocoagulación que trabajen con flujo pistón vertical mixto y a superficie libre. Se tomaron en cuenta las dos fases presentes durante el proceso electroquímico, comparando la respuesta de modelos matemáticos con las de electrodos en la respuesta del sistema. Para cada configuración, se consideró que el flujo de entrada se distribuía proporcionalmente a través de los canales formados por los electrodos, resultando la misma velocidad del agua entre cada uno de ellos. Esta condición fue comparada con los resultados arrojados por el programa utilizado para su modelación numérica. Teniendo como resultado de la experimentación, cada una de las respuestas es impactada de manera significativa por diferentes variables de diseño, por lo cual, el uso de ecuación deberá dirigirse a la variable de interés para el usuario. El diseño de experimentos indica que, para las respuestas, la densidad de corriente y el número de electrodos resultan de mayor impacto, seguidas de la separación de electrodos y número de módulos. Concluyendo que la electrocoagulación resulta, de acuerdo a la bibliografía revisada, una alternativa viable. Pese a que en la remoción de contaminantes se encuentra a la par con la coagulación química, la reducción en los lodos, debido a la reducción de iones, es importante, puesto que el costo de disposición de estos se reduce, impactando de esta manera global el costo total de tratamiento.

De acuerdo a Andaluz (2016), con su tesis “Reducción de materia orgánica e inorgánica presente en agua residual de agroquímicos mediante técnica electroquímica de oxidación avanzada”, para optar el Grado

Académico de Magíster en Gestión Ambiental en la Universidad De Guayaquil, con el objetivo de evaluar la demanda química de oxígeno actual en el agua residual proveniente de la planta de agroquímicos y realizar ensayos experimentales con el equipo piloto de electrocoagulación para disminuir la carga contaminante en aguas residuales de agroquímicos. Resumen: El estudio realizado tiene la finalidad de demostrar que tan eficiente representa el proceso electroquímico al tratar un efluente proveniente de la industria agroquímica. La complejidad de este tipo de efluente se debe a la formación de materia orgánica e inorgánica producida luego del fraccionamiento de los productos, ya sean estos herbicidas, fungicidas e insecticidas, las mismas que generan un agua de estructura difícil de remover. La electrocoagulación es el proceso efectivo para desestabilizar las partículas dispersas en este tipo de agua residual, utilizando una combinación de electrodos de hierro y aluminio (Fe^{+2} y Al^{+3}) estos iones generados son buenos coagulantes y se hidrolizan cerca del ánodo para formar intermediarios que permitan desestabilizar la materia orgánica e inorgánica presentes. Llegando a la conclusión se determinó el tiempo óptimo de remoción a razón de 5 minutos ya que el caudal es de 0,6 L/min a una intensidad de corriente 40 amperios y un potencial de 12,65 voltios. Se logra con estos datos específicos la clarificación del agua residual acompañada de la disminución de la demanda química de oxígeno.

Según Pérez (2015), en el trabajo de investigación denominado “Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos electroquímicos”, de la Universidad Central Del Ecuador. El objetivo de la investigación fue disminuir los niveles de contaminación de los efluentes procedentes de actividades realizadas en la industria textil – Lavanderías de Jeans; Mediante electrocoagulación y electrofenton al realizar el control de los siguientes parámetros: Color, Demanda Química de Oxígeno, pH, Turbidez, Sólidos suspendidos, y Hierro. Resumen: Se sometió el efluente a electrocoagulación en un reactor electroquímico de laboratorio, definiendo

como variables operacionales el pH, potencial, densidad de corriente (ρ) y tiempo. Se obtuvo el mejor porcentaje de remoción de DQO, variable tomada como respuesta, a las siguientes condiciones: pH 5, potencial 15 V, ρ 160 A/m² y tiempo 30 minutos. A estas condiciones por electrocoagulación se trataron dos muestras, Ef1 menos y Ef2 más contaminadas; y mediante el control de los parámetros indicados se determinó que el tratamiento de Ef1 cumple con la norma y que el de Ef2 no; por lo que se la trató mediante dos procesos de electrofenton: 1) con H₂O₂ y 2) con sales de hierro, logrando los mejores resultados con dosificaciones de 150 ppm y 50 ppm respectivamente y una modificación del pH entre 2-3 para los dos casos. Concluyendo que dichos procesos electroquímicos son tratamientos aplicables para estos efluentes industriales, logrando valores permisibles de descarga de acuerdo a la norma y obteniendo porcentajes de remoción de DQO: 86 % aplicando electrocoagulación, 99% con el proceso 1 de electrofenton y de 93% con el otro.

Según Monsalve & Cardona (2015), en el trabajo de investigación denominado “Electrocoagulación para reúso de aguas residuales del proceso de impresión en la industria papelera” de la Facultad De Ingeniería Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. El objetivo principal de esta tesis, se enfoca en la reducción de color, no obstante, se realizará la caracterización completa de las aguas tratadas para así determinar su uso potencial. Teniendo como resultado que en el proceso de electrocoagulación hay cinco variables que intervienen directamente en los resultados de remoción de color y DQO y estos son: el tipo de electrodos, la densidad de corriente (10, 20, 30 y 40 A/m²), la solución electrolítica (efluente), pH (6.5) y el tiempo de exposición. De las cinco variables anteriores permanecieron constantes el efluente y su volumen ya que esta agua en específico es la que se quiere tratar y el pH no tuvo cambios significativos por lo que también se consideró constante. Sin embargo, para esta investigación los focos de atención en cuanto a desempeño es el tipo de electrodo (Aluminio o hierro),

la densidad de corriente y el tiempo de exposición. Se concluyó que los procesos con los dos ánodos son viables técnicamente, no obstante, el aluminio es más eficiente, logrando resultados superiores en un 66% del tiempo optimo encontrado con la placa de hierro, además de remover 10 puntos porcentuales más de DQO (72%). Sin embargo, el proceso de electrocoagulación empleando el hierro como electrodo, es una buena alternativa si el objetivo es solo la remoción de color.

Según Rodríguez (2014), en el trabajo de investigación denominado “Evaluación de reactores de electrocoagulación para el tratamiento de agua de purga de torres de enfriamiento”, de la Universidad Nacional Autónoma de México para optar por el grado de maestría en ingeniería. Donde la investigación tuvo el objetivo de diseñar y evaluar a escala laboratorio un dispositivo experimental basado en el proceso de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio de diferente geometría para la remoción de sílice presente en agua de purga de torres de enfriamiento de refinería. Como resultados tuvimos que los parámetros analíticos utilizados en la reducción y porcentaje de remoción de sílice, dureza total y alcalinidad utilizando un reactor de electrocoagulación con electrodos de aluminio en forma rectangular (placas) a condiciones de pH de 7.5 (neutro), 9 (moderadamente básico) y 6(moderadamente ácido). Mostraron que a las condiciones de Ph de 7.5, con un tiempo de electrólisis de 10 minutos intensidad de corriente de 2 A, es posible remover 95% de sílice presente en agua de purga de torres de enfriamiento a límites de concentraciones de sílice de 7 mg/L Mientras que para un tiempo de electrolisis de 8 minutos con una intensidad de corriente de 3 A, es posible remover hasta el 93.7% de sílice a límites de concentraciones de sílice de 8.9 mg/L. Ajustándose a las especificaciones de calidad de agua para reúso en torres de enfriamiento. Además, se calculó la dosis de coagulante de aluminio de 7.6 mM-Al/L para una intensidad de corriente de 2 A, mientras que 9.1 mM-Al/L se obtuvo para una intensidad de corriente de 3 A. En conclusión, la eficiencia del reactor de electrocoagulación depende en gran medida del área anódica, la

transferencia de masa y electrones, intensidad de corriente, así como la naturaleza del agua de purga a tratar. No obstante, el reactor de electrocoagulación tipo flujo pistón que utiliza electrodos en forma de hélice circular, permitió porcentajes de remoción de sílice de 96.4% trabajando con una intensidad de corriente de 3 A (4.27 V), y con la adición de cloruro de sodio permite obtener un menor costo de operación.

Según Salán (2013), en el trabajo de investigación denominado “Diseño de la planta de tratamiento para aguas residuales de la lavandería y tintorería jav-tex del cantón pelileo.”, en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo - Ecuador. Donde la investigación tuvo por objetivo diseñar una planta de tratamiento para aguas residuales en la Lavandería y Tintorería JAV-TEX del cantón Pelileo. Resumen: Mediante el método experimental, se empezó por el reconocimiento de los procesos desarrollados en la planta, y posteriormente realizar un diagnóstico, donde se tomó muestras y datos, para esto necesitamos de recipientes, termómetro y cronómetro, con el método deductivo partimos del diseño y terminamos describiendo cada etapa del tratamiento. Al caracterizar el agua residual proveniente de las etapas de Lavandería y Tintorería JAV-TEX, los resultados fueron, 1200 mg/L de Demanda Química de Oxígeno, 703 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno, 2 ml/L Sólidos Sedimentales, 224 de Sólidos en suspensión, 244 Unidad Nefelométrica De Turbidez, 0,030 mg/L Fenoles, 1,50 mg/L Tensoactivos, que fueron analizados y tratados con el fin de disminuir la contaminación, porque no cumple con los límites de descarga establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental. Concluyendo que los parámetros analizados permitieron determinar los componentes de la planta de tratamiento, el mismo que constará de: rejillas, tanque homogeneizador, agitador de paletas, tanque sedimentador, para tener un efluente que cumpla con los parámetros de acuerdo a los límites establecidos, por la normativa vigente.

De acuerdo a Pérez (2012), con su tesis “ Revisión bibliográfica del método de electrocoagulación en el tratamiento fisicoquímico de aguas residuales “ en la Universidad Nacional Autónoma de México para obtener el título de química. El objetivo es mostrar cómo la complejidad de la electrocoagulación puede ser reducida usando un enfoque reducido. Fenómenos relevantes, métodos de caracterización y herramientas son destacados en cada zona. La información presentada en la intersección entre los círculos se representa el conocimiento que enlazan las áreas fundamentales. Como resultados del comportamiento con el hecho de que el coagulante precursor (cationes de aluminio, por ejemplo) continuamente son alimentos por el ánodo de corrosión. Los cationes de aluminio son hidrolizados en una forma capaz de agregarse al contaminante que es removido de la solución por sedimentación y/o flotación. Concluye que el agua es un recurso indispensable para los seres vivos, pero para México y para todos los mundos, el agua es un elemento escaso. La demanda de agua aumenta día con día, aumentando su contaminación y escaseando el agua de calidad para su uso. El problema de la escasez del agua ya es a nivel mundial; se tiene una gran cantidad de aguas residuales de diferentes procedencias, siendo en México la industria autoabastecida y las termoeléctricas las mayores generadoras de aguas residuales industriales.

Según Hernández (2011), en el trabajo de investigación que desarrollaron, titulado “Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento y depuración de las aguas mediante electrocoagulación”, en la universidad Politécnica de Madrid para optar el grado de Doctor. En donde el objetivo de la investigación fue la de buscar un sistema, que siendo sencillo y ocupando poco espacio, pueda aplicarse a las aguas de salida de una depuradora o aguas normales circulando por corrientes fluviales alcanzando calidad para distintos usos. Así se investiga sobre la posibilidad de utilizar el proceso de electrocoagulación sobre distintos parámetros considerados en la normativa sobre la reutilización de las aguas “Real decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que establece el régimen

jurídico de la reutilización de las aguas depuradas “. Resumen: Se establece tres fases de investigación. En la primera trabajando en sistema discontinuo, sistema batch, la segunda como una planta de laboratorio en discontinuo, para investigar sobre los parámetros que intervienen en el proyecto, utilizando los resultados en el diseño y construcción de una planta real, 144 L/h, ensayando en la tercera parte sobre la eficacia del proceso de electrocoagulación en cumplimiento de las normas actuales de reutilización, en relación con la reducción de parámetros físico químicos de las aguas (SS, turbidez, nitrógeno y fosforo), así como la reducción de la contaminación biológica de las aguas (E. coli, legionella, presencia de parásitos como nematodos y tenía), analizando el consumo energético del proceso. Se ha reducido la falta de coincidencia entre las experiencias en sistemas discontinuos y continuos del proceso, y se han establecido los parámetros fundamentales para el diseño de la planta piloto, teniendo en cuenta la influencia de la escala. Se han establecido como parámetros fundamentales: Uno de los parámetros básicos de diseño a escala piloto, que se han considerado, es la relación de superficie electrolítica sobre el volumen de la disolución o del reactor, a escala laboratorio (A/V), que es una medida del potencial para la liberación de coagulante y burbujas a un sistema (sobre una base volumétrica). La densidad de corriente, definida como la corriente por un área activa de electrodo, es otro parámetro de diseño de escala utilizado. El electrocoagulador se construyó en metacrilato con unas dimensiones internas de 27,5 x 49,5 x 49,5. En una primera serie de experimentos se establecerían 4 placas de electrodo, 2 cátodos y 2 ánodos de aluminio, y 3 placas intermedias de acero. De la misma forma se trabajó en la segunda línea, pero con placas de hierro. Las dimensiones de las placas de aluminio fueron de 250 x 500 x 1.5mm, las placas de hierro de 250 x 500 x 1.00mm. y el espacio entre electrodos se conectaron a una fuente de alimentación, que tiene una salida variable entre 300V y 10V. La experimentación realizada concluye sobre los buenos resultados de la aplicación del sistema de electrocoagulación, en relación con el grado de cumplimiento respecto a las normativas actuales de reutilización. Los resultados garantizan las

posibilidades del proceso en la eliminación de la turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), DQO y fosfatos en fosforo total, así como en la eliminación de microorganismos.

Según Pinzón (2010), en el trabajo de investigación denominado “Propuesta técnica a escala piloto para la remoción de color de origen textil, por medio de electrocoagulación para favorecer el proceso de potabilización de agua, en una planta de tratamiento de aguas”, en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Donde la investigación tuvo por objetivo determinar la viabilidad técnica de utilizar la electrocoagulación para eliminar contaminación de colorantes de origen textil del río Xayá, el cual se utiliza en la distribución de agua potable para la ciudad de Guatemala. Se discuten las ventajas y desventajas que tiene este método, planteando el diseño y operación del reactor. Llegando a la conclusión que la electrocoagulación es un método viable técnicamente para eliminación de turbiedad, color y microorganismos en aguas residuales industriales textiles, también se determinó que el método de electrocoagulación remueve, con un 90% de confiabilidad, más del 98% de turbiedad y de color del agua contaminada con colorantes de origen textil. Estos datos corresponden a este tipo específico de diseño

De acuerdo a Martínez (2007), con su tesis “Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional”. Universidad de Castilla - La Mancha, Facultad de Ciencias Químicas, Ciudad Real, concluye que, en el estudio de los procesos de coagulación convencional y electroquímica de los tres tipos de aguas residuales estudiadas en esta tesis, se ha encontrado que las principales variables de operación son la concentración de aluminio y el pH. No existen diferencias significativas entre los resultados alcanzados mediante los procesos convencional y electroquímico, en modo operación continuo, cuando ambos operan en condiciones similares de concentración de aluminio y pH, en estado estacionario. Así, los resultados experimentales

obtenidos, pueden explicarse en base a las especies de aluminio generadas en el sistema, y a los mecanismos de coagulación previamente propuestos en bibliografía. El modo de operación (continuo o discontinuo) influye de manera significativa en los resultados de los procesos de coagulación convencional y electroquímica. Este hecho se justifica en base a posibles diferencias en la especiación del aluminio cuando la dosificación se produce de forma instantánea o progresiva. Por este motivo, los ampliamente utilizados ensayos de jarra (jar test) pueden no ser una metodología óptima para la determinación de las mejores condiciones de coagulación.

2.1.2. A nivel Nacional

Según Mantari & Maravi (2020), con su tesis “Influencia del voltaje y del tiempo de residencia en la desnitrificación de aguas residuales por electrocoagulación, utilizando electrodos de aluminio” de la Universidad Nacional del Centro del Perú para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico del Gas Natural y Energía, con el objetivo de Establecer el voltaje óptimo en el proceso de desvitricación de aguas residuales por electrocoagulación, utilizando electrodos de aluminio. Como resultado tenemos que la coagulación crea una capa de lodo que atrapa y une las partículas coloidales que no se han completado. Los óxidos sólidos, hidróxidos y oxhidróxidos proporcionan superficies activas para la adsorción de las especies contaminantes. La electrocoagulación se ha empleado con éxito en la eliminación de metales, partículas suspendidas, minerales arcillosos, tintes orgánicos y aceites y grasas de una variedad de efluentes industriales. En este proceso, se aplica un potencial a los ánodos metálicos, típicamente fabricados de hierro o aluminio. Como conclusión se analizó el voltaje y tiempo en el proceso de desnitrificación de aguas residuales sintéticas por electrocoagulación con electrodos de aluminio, observándose que el valor de p fue de 0,000 menor al valor de significancia ($p < 0,05$), lo que indica que el voltaje y tiempo influyeron significativamente en el proceso de desnitrificación de aguas residuales por electrocoagulación,

además, según el coeficiente de determinación (R) hallado en el análisis de varianza el tiempo y el voltaje explicaron en un 99,41 % la variabilidad observada en el porcentaje de desnitrificación, ajustándose a un modelo de regresión lineal, es entonces que bajo la influencia del voltaje y tiempo se logró alcanzar un mayor porcentaje promedio de desnitrificación de 83,509 % cuando el voltaje óptimo fue de 6 V y el tiempo de residencia óptimo fue de 45 minutos.

Según Aguilar & Palian (2020), con su tesis “Influencia de la densidad de corriente y del tiempo de residencia en la remoción de fosfatos de una solución sintética por electrocoagulación, utilizando electrodos de aluminio a nivel laboratorio” para optar el título profesional de ingeniero químico del gas natural y energía en la Universidad Nacional del Centro del Perú de la Facultad de Ingeniería Química, con el objetivo determinar la Influencia de la densidad de corriente y del tiempo de residencia en la remoción de fosfatos de una solución sintética por electrocoagulación, utilizando electrodos de aluminio a nivel laboratorio. Los resultados obtenidos en la investigación se evidencia un nivel de correlación positiva ya que se logró determinar la densidad de corriente y tiempo de residencia optima a 1,32 mA/cm² y 10 min respectivamente, datos que al ser comparados con lo encontrado por Aguilar (2015) en exploración “Estimación de la eficacia de una celda de electrocoagulación en el tratamiento de agua a nivel laboratorio”, concluyó que se obtuvo un 87% de eliminación optima de DQO. La intensidad de corriente optima es 5 A, tiempo óptimo en el proceso es de 15 minutos y un pH oriundo del efluente es de 7,12. La Conclusión: se determinó que la Influencia de la densidad de corriente y del tiempo de residencia en la remoción de fosfatos de una solución sintética por electrocoagulación, utilizando electrodos de aluminio a nivel laboratorio, no es significativa, de acuerdo con el estudio de la varianza.

Según Cuba (2020), en el trabajo de investigación denominado “Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales - ate vitarte” para optar el grado académico de Magíster en Gestión Integrada en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con el objetivo de evaluar el método de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras para la reutilización en riego de vegetales del condominio Jardines de Santa Clara de Ate Vitarte y objetivos específicos: Caracterizar cualitativamente las aguas residuales provenientes de lavadoras para fijar los variables de operación en el tratamiento de electrocoagulación. Determinar los principales parámetros más adecuados (pH, Intensidad de corriente, tiempo y distancia de electrodos) para el tratamiento del agua residual proveniente de lavadoras en el proceso de electrocoagulación y determinar la eficiencia del tratamiento en el módulo de electrocoagulación en aguas provenientes de lavadoras. Se llegó a las siguientes conclusiones: se evaluó que el método de electrocoagulación es un diseño con una celda electroquímica tipo bach, con electrodos de aluminio y acero inoxidable (aleación de acero) teniendo una capacidad promedio de 10 Litros de agua, que se utilizó para regar los vegetales del condominio Jardines de Santa Clara de ate Vitarte cumpliendo con las normativas de las ECAS de la categoría 3 para riego de vegetales. Se caracterizó cualitativamente los parámetros de pH, Color, Temperatura, Conductividad eléctrica, aceite y grasas, solidos totales suspendidos, turbiedad y demanda química de oxígeno, que se estableció para optimizar el diseño de investigación las condiciones de operación de pH (5, 7.5 y 10), distancia entre electrodos (1, 1.5 y 2 cm), flujo de corriente (3, 5 y 8 amperios) y un tiempo de (10, 15 y 20 minutos). Se evaluó que en las mejores condiciones de operación para la reducción de los contaminantes, fue el experimento número 5 con un pH = 7,5; intensidad de 5 amperios, distancia de 2 cm y un tiempo de permanencia de un promedio de 15 min por último se determinó que los factores principales que contribuye a la buena eficiencia del módulo de

electrocoagulación, según los resultados obtenidos para el tiempo de 15 minutos, intensidad 5 amperios, distancia 2 centímetros y pH 7.5, según la tabla 20 dieron resultados como 99.02% en remoción de turbiedad, 90.83% en DQO y 95.93% en SST. Logrando optimizar los parámetros de la celda de electrocoagulación.

Según Indigoyen (2019), en el trabajo de investigación denominado “Remoción de materia orgánica de aguas residuales de la industria láctea por el método de electrocoagulación, utilizando energía eólica”, de la Universidad Nacional del Centro del Perú para optar el grado académico de doctor en ingeniería química y ambiental. El objetivo de esta investigación fue remover la materia orgánica de las aguas residuales de la industria láctea, variando la densidad de corriente y el tiempo de residencia por el método de electrocoagulación usando energía eólica. El fundamento de la electrocoagulación radica en que al proporcionar corriente eléctrica se producen iones metálicos al disolverse el ánodo. Los resultados obtenidos fueron: 3490 mg/L de DBO, 8900 mg/L de DQO, 1743 mg/L de aceites y grasas. La densidad de corriente óptima del proceso es de 84,81 A/m², con una superficie total de contacto de 0,08253 m² y 7 A. El tiempo de residencia óptimo para el proceso de electrocoagulación de los residuos líquidos de la industria láctea es de 25 minutos, con un espacio entre electrodos de 1 cm. La potencia eléctrica utilizada para realizar en forma óptima el proceso de electrocoagulación, es de 70 W. El proceso se realizó con energía eólica. Los porcentajes de remoción de los parámetros analizados de los residuos líquidos de la industria láctea por el método de electrocoagulación son 97,32% para DBO, 97,81% para DQO, 99,10 % para aceites y grasas. Conclusión: Se determinó a través del análisis de varianza, que las variables involucradas en el proceso (densidad de corriente y tiempo de residencia) y su interacción, son relevantes para la remoción de contaminantes de residuos líquidos de la industria láctea.

Según Gómez (2019), en el trabajo de investigación denominado “Tratamiento de efluentes de lavandería industrial mediante la técnica

electroquímica de electrocoagulación”, Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería donde el objetivo principal fue de mejorar la calidad del agua reduciendo los contaminantes vertidos al alcantarillado doméstico. La caracterización del efluente de lavandería inicial, considerando los parámetros de DQO, SST, fosfato, detergentes y turbidez, presentaron valores de 1592.6, 210, 113.230, 68.876 mg/L y 383 NTU respectivamente. Como resultados cuando se analizó el efecto del tipo de material del ánodo sobre la eficiencia de remoción, alterando la configuración de los ánodos de aluminio por hierro (Al - Fe y Fe - Fe), a la densidad de corriente óptima hallada con electrodos de aluminio ($j = 0.49$ A/dm²) para $t_r = 20, 30$ y 40 min, se encontró que el parámetro más afectado por el material de los ánodos fue la DQO, que incrementó su eficiencia de remoción a valores máximos de 92.5% para (Fe - Fe) a 30 min y 92.4% para (Al - Fe) a 40 min, caso contrario sucedió en los detergentes, pues bajó su eficiencia de remoción respecto a los ánodos de aluminio (Al - Al), alcanzando un 85.4 % para (Al - Fe) y 91.3% para (Fe - Fe) a 30 min. Respecto a las pruebas a flujo continuo, usando ánodos de hierro (Fe - Fe), se logró la mejor respuesta a un caudal de 0.6 L/min con un $j = 0.8$ A/dm²; alcanzando remociones de 97.02, 93.97, 84.45, 49.03 y 81.87% para turbidez, SST, DQO, detergentes y fosfato respectivamente. Por último, se realizó un escalamiento del reactor por lotes a escala industrial, hallando los costos que incurren en la fabricación y operación de mismo. Concluyendo que los porcentajes de remoción al analizar la técnica usando electrodos de aluminio (Al - Al) por lotes, para densidades de corriente (j) de 0.49, 0.62 y 0.74 A/dm², y tiempos de reacción (t_r) de 20, 30 y 40 min, fueron considerables en todos los parámetros estudiados, llegando a alcanzar valores máximos para diferentes condiciones de operación de 72.3, 95.2, 99.8, 96.1 y 98.9% para la DQO, SST, fosfato, detergentes y turbidez respectivamente.

De acuerdo a Figueroa (2019), con su tesis “Equipo de electrocoagulación con electrodos móviles para el tratamiento de aguas de

pozo” de la Universidad Nacional Federico Villarreal para optar el grado académico de maestro en gestión ambiental. El objetivo de la presente investigación fue construir el equipo de electrocoagulación con electrodos móviles para el tratamiento de aguas de pozo. El resultado de esta investigación comparado con la investigación de Jaramillo (2012) en la cual diseñó y construyó un reactor de electrocoagulación para el tratamiento de agua residual de tintura y acabado textil, para tal propósito se utilizó también electrodos, sin embargo la hipótesis de esta investigación concluyó que el resultado del equipo de electrocoagulación en el tratamiento de aguas de pozo es eficiente, sin embargo puede ser discutible una concordancia en razón de tener 119 objetivos distintos y que el equipo de Jaramillo empleó electrodos fijos mientras que en el equipo propuesto de esta investigación funciona con electrodos móviles. La presente investigación concluye: Que el diseño del equipo de electrocoagulación con electrodos móviles presenta ventajas en contraste con el equipo de electrocoagulación convencional en la geometría de los electrodos, la geometría del tanque reactor y en la precisión de las lecturas de la conductividad, pH, y sólidos totales disueltos. Que la construcción del equipo de electrocoagulación con electrodos móviles está justificada plenamente por cuanto se ha comprobado su modificación través de la experimentación científica de la aplicación del equipo en muestras de aguas de pozo obteniéndose como resultado de las pruebas de hipótesis previa verificación de la normalidad y la igualdad de la varianza de los datos aplicadas a la información generada por la experimentación. Se logró la construcción de un equipo de electrocoagulación.

De acuerdo a Condori (2018), con su tesis “Evaluación de la tratabilidad del efluente generado por un laboratorio metalúrgico aplicando la electrocoagulación” de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria la Molina para Optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental donde el objetivo fue evaluar la tratabilidad de los efluentes generados de un laboratorio metalúrgico por medio de la

electrocoagulación, se diseñó un electro coagulador a escala de dimensiones de 40.8 cm de largo, 10.6 cm de ancho y 14 cm de alto con una capacidad de 6.168 L. Se utilizaron 20 placas para cada ensayo de hierro y aluminio y estas placas se conectaron en paralelo con una configuración bipolar a una fuente de corriente continua. Las mejores condiciones para la remoción de los metales (plomo, cadmio y cromo) fueron: material de los electrodos de aluminio, una distancia entre placas de 1 cm y un tiempo de retención de 60 minutos. Los resultados de experimentales correspondientes a la remoción de plomo de los efluentes del laboratorio Alfred H. Knight fueron comparados mediante un análisis estadístico de varianza ANOVA, en donde se verificó la interacción de las variables respecto a la reducción de plomo por medio del tratamiento de electrocoagulación. Concluyendo que la investigación realiza la caracterización del efluente del laboratorio metalúrgico Alfred H. Knight, donde se obtuvo parámetros que sobrepasan los VMA estipulados en el D.S. 001-2015- VIVIENDA, entre estos se encuentra el plomo y el cadmio, a diferencia del cromo que se encontró en valores menores a los VMA, también se obtuvo un pH de 3.2. Las variables óptimas para la remoción de plomo fueron: electrodos de hierro a una distancia de 1 cm y un tiempo de retención de 60 minutos, obteniendo una remoción del 94.67 por ciento, se debe tener en cuenta que este valor no tiene una diferencia significativa con el ensayo realizado en las mismas condiciones, pero con electrodo de aluminio donde se logró una remoción de 94.2 por ciento. El cadmio presentó una mayor remoción utilizando electrodos de aluminio a una distancia de 1.5 cm y un tiempo de remoción de 60 minutos, alcanzando un porcentaje de remoción de 49.54 por ciento. El cromo tuvo una mayor remoción con electrodos de aluminio a una distancia de 1 cm y tiempo de retención de 60 minutos, logrando una remoción del 49.46 por ciento. A diferencia del plomo la remoción de cadmio y cromo fue mucho menor y esto puede ser por el pH del efluente a tratar, ya que se trabajó con aguas de pH 3.2 ácido.

Según Bendezu (2018), en el trabajo de investigación denominado “Uso de la electrocoagulación para reducir la carga de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales AJEPER-HUACHIPA 2017 II” de la Facultad De Ingeniería de la Universidad Cesar Vallejo donde el objetivo principal fue evaluar el uso de la electrocoagulación que reducirá la carga de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales Ajeper – Huachipa 2017 II. La metodología fue experimental y validación de instrumentos se realizó a través del juicio de expertos. Los resultados de los parámetros físicos y químicos obtenidos después del tratamiento muestran una disminución elevada en porcentajes dentro de los valores máximos admisibles. Teniendo un 97 % DQO; 95 % SST; 92% DBO5. los resultados obtenidos antes del tratamiento se encuentran por encima de los límites, excepto el parámetro de DBO5, se llegó a las siguientes conclusiones: el uso de la electrocoagulación disminuyó los contaminantes físicos y químicos del efluente industrial de bebidas, disminuyendo con casi el 90% con comparación a sus medidas iniciales, logrando que el agua tratada se encuentre por debajo de los valores máximos admisibles. Para el diseño de la celda de electrocoagulación se utilizó dos tipos de electrodos hierro y aluminio determinando la disminución de la carga de contaminantes. El uso del hierro tiene un color medio verdoso oscuro, mientras el aluminio es muy eficaz, disminuyendo los parámetros de SST, DQO.

Según Hanco (2018), en el trabajo de investigación denominado “Tratamiento de aguas residuales de lavanderías por el proceso de coagulación-floculación y adsorción”, de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Del Altiplano. La investigación tuvo como objetivo principal evaluar la remoción de sólidos en suspensión y detergentes por el proceso de coagulación-floculación con policloruro de aluminio y sulfato de aluminio y adsorción con carbón activado de aguas residuales de lavanderías. Llegando a las siguientes conclusiones: los floculantes policloruro de aluminio y sulfato de aluminio ha permitido

remover sólidos en suspensión de aguas residuales de lavanderías Don Marcelo. Los porcentajes de remoción con policloruro de aluminio es 97,99% reduciendo la concentración de 945 NTU a 19 NTU y con sulfato de aluminio es 94,92% cuya remoción es de 945 NTU a 48 NTU. Además, los detergentes fueron removidos de 2,84 mg/L a 2,37 mg/l con policloruro de aluminio y de 2,84 mg/L a 2,58 mg/L con sulfato de aluminio. Los carbones activados fueron utilizados para la remoción de detergentes de aguas residuales de lavanderías. El porcentaje de remoción de detergentes con carbón activado de cuesco de palma en polvo fue de 93,43% llevados a cabo a pH 6 y tiempo de adsorción de 60 min, la reducción de concentración de detergente fue de 2,37 mg/l a 0,15 mg/L. Así mismo el porcentaje de remoción de detergentes con carbón activado de cáscara de coco en polvo fue de 95,31% a pH 10 y tiempo de adsorción de 60 min, la reducción de concentración de detergente es de 2,58 mg/L a 0,12 mg/L.

De acuerdo a Aquino (2018), con su tesis titulado “Sistema combinado electrocoagulación - filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos” de la Universidad Nacional Agraria la Molina para optar el grado de magíster en ciencias ambientales. El objetivo principal fue construir y evaluar un sistema combinado de electrocoagulación - filtro biológico, para la remoción de carga orgánica del efluente de la planta piloto de leche de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Como Resultados de las evaluaciones demostraron la eficiencia del SBR para trabajar este tipo de efluente, obteniendo los siguientes valores de remoción en el reactor: 79 % para la DQO y 94 % para la DBO. En este estudio realizado por Cárdenas de Flores et al. se aprecia que el tiempo de retención es relativamente alto comparado al proceso de electrocoagulación que es mucho menor. Se concluye que con el sistema combinado de electrocoagulación - filtro biológico con recirculación alcanzó una eficiencia del 90% para la remoción de la DQO, y de la DBO5, con un pH final de 7,37.

Según Campos, Hernández & Trujillo (2017), en el trabajo de investigación que desarrollaron, titulado “Tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial mediante electrofloculación en la ciudad de Lima”, en donde el objetivo principal fue evaluar el proceso para el tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial en la ciudad de Lima mediante electrofloculación para el cumplimiento de los VMA. Resumen: La Tecnología de Electrofloculación se lleva a cabo sometiendo el efluente problema por la corriente eléctrica empleando electrodos de Aluminio y Hierro y se evaluó las siguientes variables: la intensidad de corriente, tiempo de residencia y distancia de electrodos. La investigación llegó a la siguiente conclusión: Evaluamos el proceso de tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial y se ha encontrado que las condiciones óptimas para el proceso son las siguientes: La intensidad de corriente de 10 Amperios, distancia de electrodos de 15 centímetros y un tiempo de residencia de 10 minutos (Verificando el cumplimiento de los VMA).

De acuerdo a Velásquez (2017), con su tesis “Aplicación del método de electrocoagulación al efluente de la planta piloto de leche “la molina” de la facultad de ciencias de la Universidad Nacional Agraria la Molina para optar el título profesional de ingeniero ambiental. La investigación tuvo como objetivo evaluar la mejor remoción por electrocoagulación de los principales contaminantes del efluente de la planta piloto de leche “La Molina”. Los resultados obtenidos con los distintos valores de pH de las pruebas para determinar el tiempo y la corriente. Sin embargo, los valores tan variables de turbidez no permitían atribuir en totalidad la remoción al pH. Mientras más turbio sea el efluente hay mayor posibilidad que la remoción se incremente, debido al efecto barrido que funciona mejor bajo estas condiciones. Puesto que el mejor tiempo y la mejor corriente se encontraban definidos, sólo era necesario variar el pH hasta encontrar aquel en cual se dé la mayor remoción. Se decidió medir dentro del rango de 3,5 a 9,5 cada 1 pH de diferencia, debido a que dentro del rango de 6.5 a 8.5

ocurre la formación de hidróxido de aluminio que es el principal coagulante, los demás valores se tomaron para ver el comportamiento del sistema de electrocoagulación a pH ácidos y alcalinos. Se desarrolló 5 test que consistían en las 7 evaluaciones de pH dentro del rango 3,5 a 9,5. Se utilizó el HCl y el NaOH a 0.5 N como agentes modificadores del pH. Para esta prueba se recolectaron 56 litros del efluente, en 2 baldes 20L y 2 baldes 8L, los 4 baldes tuvieron que ser mezclados en un recipiente más grandes para poder homogenizar la muestra a tratar. Una vez finalizado el tratamiento, se midió el pH de salida debido a que este tiende a ser distinto al pH de entrada. Al igual que en la determinación del tiempo y la corriente se realizó el cambio de las pinzas cocodrilo una vez finalizado un set. La prueba estadística para la determinación del pH de trabajo fue la de Kruskal Wallis usando el programa estadístico minitab 17 en su período de prueba. Se llegó a las siguientes conclusiones: Se caracterizó el efluente de la planta de leche obteniéndose parámetros que sobrepasan la normativa nacional de los VMA. Entre éstos hay que resaltar la DBO5 y DQO que presentaban valores muy altos debidos principalmente a la presencia de suero de leche que tiene una carga orgánica muy elevada. Los SST también superaron los VMA, pero por muy poco. El fósforo total superó los valores internacionales sugeridos por el banco mundial, este parámetro no está considerado dentro de los VMA. Los demás parámetros analizados que fueron aluminio, pH, sólidos sedimentables, N-NH₃, aceites y grasas cumplían con los VMA. Se determinaron los mejores parámetros de funcionamiento para el sistema de electrocoagulación los cuales fueron 30 minutos, 3A y 8.5 pH. Se caracterizó el efluente tras ser tratado por el sistema de electrocoagulación obteniéndose disminución de algunos parámetros. La DBO5 y DQO disminuyeron en concentración, pero no llegaron a cumplir los VMA. Los SST, pH, aceites y grasas disminuyeron hasta cumplir los VMA. El fósforo total se redujo a una concentración que le permitía cumplir los valores sugeridos por el banco mundial. Sin embargo, otros parámetros sufrieron un incremento en sus concentraciones. Los sólidos sedimentables y aluminio pasaron de cumplir los VMA a sobrepasar estos valores. El N-NH₃ se

incrementó, pero este incremento no fue lo suficientemente grande para superar los VMA que ya se cumplían antes del tratamiento.

Según Soncco (2017), en el trabajo de investigación “Proceso de electrocoagulación para la disminución de contaminantes de los efluentes de la empresa textil, chorrillos - 2017” de la Facultad De Ingeniería de la Universidad Cesar Vallejo donde el objetivo fue evaluar la capacidad del proceso de electrocoagulación para la disminución de contaminantes de los efluentes de la empresa Textil, Chorrillos – 2017. Para ello se consideró como población a los efluentes generados por dicha empresa tomándose como muestra 64 litros para así evaluar sus parámetros físicos y químicos antes y después del tratamiento se llevó a cabo con dos tipos de electrodos aluminio y hierro así mismo se trabajó con dos tiempos y dos amperajes obteniendo como resultados que para el parámetro físico de sólidos suspendidos totales se han obtenido resultados muy variables en cada semana. Por otro lado, para el caso de la temperatura, en cada muestreo se ha evidenciado que no existe mucha variación en cuanto al valor obtenido. Se evaluó dos tiempos de 15 y 30 minutos así mismo se tuvo en cuenta dos tipos de amperaje de 3 A/cm cuyos electrodos a evaluar fueron hierro y aluminio. Concluyendo que el uso más eficiente es el de electrodos de aluminio con un tiempo de 30 min; 5 A/cm². ya que en los parámetros químicos se obtuvo una eficiencia alta en la disminución de DBO₅ de 95,99% y para DQO del 99%. Por otro lado, en los parámetros físicos los resultados obtenidos de sólidos suspendidos totales en promedio fueron de 20,5mg/L. Resultando así que los parámetros se encuentran por debajo de los valores máximos admisibles, lo que demuestra que la variación de concentración de los parámetros puede estar directamente relacionada al tiempo e intensidad de corriente.

Según Poma & Quispe (2016), en el trabajo de investigación denominado “Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación”, en donde el objetivo fue remover los

contaminantes de las aguas residuales urbanas del colector de aguas de la Universidad Nacional del Centro del Perú variando la densidad de corriente y el tiempo de residencia por el método de electrocoagulación a nivel laboratorio. Donde se llegó a la conclusión: Mediante el análisis de varianza realizado se determinó que la variación de la densidad de corriente y el tiempo de residencia tiene un efecto significativo en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Donde Los porcentajes de remoción de los indicadores de los contaminantes de las aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación son 85,9% para DBO, 75,3% para DQO, 93,8 % para aceites y grasas, 89,5% para conductividad eléctrica, 79,6% para turbiedad, 95,3% para sólidos totales, 91,0% para sólidos suspendidos, 91,3% para sólidos disueltos, 70,3% para dureza total, 91,3% para dureza cálcica, 91,9% para cloruros, 100,0% para coliformes totales y 98,9% para escherichia coli.

De acuerdo a Ascon (2015), con su tesis “Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua”, Para optar el Grado Académico de Magíster en Ciencias Ambientales en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú, con el objetivo de determinar la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de aguas. Resumen: en este estudio se planteó construir un reactor de electrocoagulación para evaluar la eficiencia en la remoción de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) de aguas residuales provenientes de la industria de pintura; así como determinar las mejores condiciones de pH, conductividad, intensidad de corriente y tiempo de tratamiento. En base a los resultados obtenidos al realizar el tratamiento del efluente con electrocoagulación, se determinó una eficiencia promedio del 87 % en la remoción de la DQO. Estos valores óptimos de operación se obtuvieron con una intensidad de corriente $I = 5$ amperios, con el pH natural del efluente de 7,12 y un tiempo de tratamiento de 15 minutos, con lo cual se cumple la normativa ambiental vigente en el país. Otro aspecto importante observado

en este estudio fue la calidad del lodo producido en el tratamiento, de aspecto mucho más compacto que un lodo físico químico o biológico. Llegando a la conclusión que el tratamiento de aguas residuales industriales con electrocoagulación es un proceso efectivo para la remoción de contaminantes, siendo una alternativa viable para su aplicación en el país.

De acuerdo a Sánchez (2015), con su tesis titulado “Propuesta de aplicación de tecnologías limpias para el reuso del agua residual industrial en una empresa de fabricación de vidrios de seguridad”. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas de la Facultad de Ingeniería para optar el título de Ingeniero Industrial. Con el objetivo de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar el adecuado funcionamiento de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales. Los resultados de las pruebas exceden los niveles exigidos se puede, en primera instancia, enviar a revisar los equipos para su correcto mantenimiento, o plantear modificaciones en las cantidades de químicos suministrados (coagulantes, floculantes), o verificar el tiempo de residencia a lo largo de las distintas operaciones unitarias. Las conclusiones del proyecto de investigación, a continuación, se procederá a detallar las recomendaciones aplicables a la puesta en marcha del proyecto planteado en el presente trabajo. Una primera recomendación es realizar análisis periódicos de los niveles de VMA con el apoyo de laboratorios externos certificados. Se sugiere que estos se realicen con una frecuencia de muestreo anual, durante los tres primeros años, y a partir del cuarto año se debería realizar semestralmente. Esto debido fundamentalmente a dos factores, uno es el caudal nominal de la PTARI y el otro es la depreciación de la tecnología en el tiempo (la garantía de los equipos es 3 años).

De acuerdo a Camarena (2014), con su tesis titulado “Sistema de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales urbanas del anexo de cajas chico – la ribera – huancayo” de la Universidad Alas Peruanas, Huancayo – Perú. El problema identificado fue Cómo tratar la carga orgánica y la turbidez en las aguas residuales urbanas del anexo de

Cajas Chico – La Ribera – Huancayo, ante la problemática existente la investigación tuvo como objetivo tratar la carga orgánica y la turbidez en las aguas residuales urbanas del anexo de Cajas Chico – La Ribera – Huancayo mediante un sistema de electrocoagulación, seguidamente se planteó la siguiente hipótesis: El sistema de electrocoagulación permite remover una cantidad mayor al 70% de la carga orgánica y la turbidez de las aguas residuales urbanas del anexo de Cajas Chico – La Ribera – Huancayo. La metodología utilizada en el estudio fue mediante la experimentación en un sistema construido para este propósito a nivel de prototipo con una capacidad de 3 litros hecho de fibra de vidrio, para tratar las aguas residuales descritas mediante el proceso denominado electrocoagulación, que permitió depurar el agua en cuanto a su carga orgánica y turbidez. Los resultados encontrados fueron que se obtuvo un 75.08% de remoción de carga orgánica para tal efecto evaluó en función a la DQO, también se obtuvo un porcentaje de remoción de turbidez del 96.09%. concluyendo que existe variación a un 95% de confianza para la variable porcentaje de remoción de carga orgánica y con un 99% de confianza para la variable porcentaje de remoción de turbidez.

De acuerdo a Riccio (2010), con su tesis “Remoción de aceites y grasas de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro Del Perú, por electrocoagulación, a nivel de laboratorio” para obtener el grado de maestro en la Universidad Nacional de Trujillo, con el objetivo de establecer las condiciones óptimas de operación se construyó una celda electrolítica tipo Batch, de material termoplástico, de volumen útil de 3.66 L en la cual se colocaron electrodos de aluminio y hierro, alternadamente, los cuales hicieron de cátodo y ánodo, respectivamente. Utilizando este proceso se obtuvo una remoción de aceites y grasas del 93.9%, a nivel de laboratorio, con una densidad de corriente de 20 A/m², 3 cm de distancia entre electrodos, y un tiempo de 60 minutos). Con esta tesis concluye que, mediante la electrocoagulación, como método electroquímico de tratamiento de aguas residuales, se puede eliminar los aceites y grasas de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, en cuya

caracterización se encontró que tiene elevada carga orgánica puesto de manifiesto en su DBO que alcanza 1 647.0 mg/L, una DQO de 4 436.8 mg/L, sólidos totales en 3 716 mg/L y una importante concentración de aceites y grasas de 1 600 mg/L.

2.1.3.A nivel Local

Según Chilicaus (2019), el presente trabajo de investigación, que tiene como título “Influencia de la densidad de corriente y la concentración de ácido oxálico sobre la remoción de plomo por electroremediación del relave de la empresa minera paredones”, que tiene como objetivo principal la el tratamiento de suelos contaminados, y eliminación de metales pesados, como el plomo presentes en relaves de mina de la empresa minera Paredones. Para la remoción de este metal pesado, se hizo uso del proceso de electroremediación, colocando como variables en este proceso la densidad de corriente de 10, 20 y 30 mA/cm² y con concentraciones de ácido oxálico de 5, 10, 15 mol/L y con un tiempo de residencia de 24 horas como mínimo según antecedentes. Concluyendo que se puede determinar la influencia de la densidad de corriente y la concentración de ácido oxálico sobre la remoción de plomo por electroremediación del relave de la empresa minera Paredones. Logrando obtener como resultado un 83.77% de eficiencia máxima en la remoción de metal pesado de Pb, presentes en relaves, dicho porcentaje máximo se obtuvo con una densidad de corriente de 30 mA/cm² y de ácido oxálico al 15M, de esto podemos deducir que tanto la densidad como la cantidad de ácido oxálico, posee o tienen influencia sobre la eficiencia de remoción de Pb.

2.2.Bases Teóricas

2.2.1. Teoría del tratamiento de aguas residuales

Agua residual

El agua residual se puede definir como la mezcla de los residuos líquidos que provienen de residencias, establecimientos públicos,

industriales y comerciales, a los que se les puede incorporar eventualmente aguas subterráneas, superficiales y pluviales. Son generalmente de color oscuro, por lo que algunos autores la denominan aguas negras. También es común encontrar otra denominación como es aguas servidas; sin embargo, hay autores que establecen una diferencia entre aguas residuales y aguas servidas, esta diferencia viene dada en el primer caso a la mezcla de aguas domésticas e industriales, mientras que las aguas servidas, plantean son exclusivamente del uso doméstico (Metcalf y Eddy 1995).

Entre los parámetros más importantes a tener en cuenta en la caracterización de las aguas residuales tenemos:

- Temperatura
- Grasas y aceites
- pH
- Materia flotante
- DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)
- DQO (Demanda Química de Oxígeno)
- Sólidos totales (suspendidos y sedimentables)
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Coliformes totales
- Coliformes fecales

En función de su origen y de la incidencia cualitativa, pueden clasificarse en:

Aguas residuales industriales: Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.

Aguas residuales domésticas: Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.

Aguas residuales municipales: Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

2.2.2. Tratamiento de aguas residuales

Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales podrían clasificarse en tres grupos principales: procesos físicos, químicos o biológicos; Ejemplos de operaciones unitarias de cada categoría podemos observar en la siguiente ilustración. Una planta de tratamiento de aguas residuales típica consiste en una combinación de operaciones de unidades físicas, químicas y biológicas para apuntar a la eliminación de diferentes componentes contaminantes. Las operaciones de la unidad física dependen exclusivamente de la separación física de los contaminantes de aguas residuales sin causar un cambio significativo en las características químicas o biológicas del agua tratada.

Los procesos químicos se denominan procesos aditivos, ya que requieren la adición de productos químicos para reaccionar con los contaminantes deseados y eliminarlo. La naturaleza aditiva de los procesos químicos los hace menos atractivos en comparación con otros procesos, ya que al aumentar componentes netos disueltos en las aguas residuales hace que sea menos práctico para reutilizar en otras aplicaciones. Los procesos biológicos unitarios utilizan microorganismos para la biodegradación de contaminantes en aguas residuales, y el objetivo principal de estos procesos es reducir el contenido orgánico y nutriente en las aguas residuales. Las unidades biológicas son generalmente clasificadas en aeróbico, anaeróbico o facultativo dependiendo sobre la disponibilidad de oxígeno disuelto en aguas residuales (Moussa et al., 2017)

Figura 1

Clasificación de Operaciones Unitarias Típicas en las PTAR.

Physical processes	Chemical Processes	Biological Processes
<ul style="list-style-type: none">• Screening• Flotation• Filtration• Sedimentation	<ul style="list-style-type: none">• Coagulation/Flocculation• Chlorination• Adsorption• Ion exchange	<ul style="list-style-type: none">• Trickling filters• Aerated lagoons• Activated sludge• Rotating biological contactors

Nota. Tomado de la revisión exhaustiva de la electrocoagulación para el tratamiento del agua: Potenciales y desafíos (p.02), por Moussa et al., 2017, de la revista Journal of Environmental Management, 2(18).

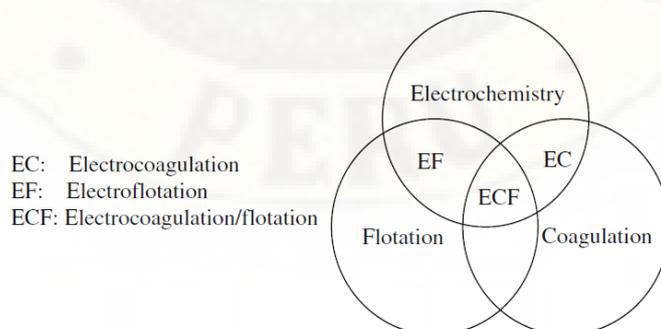
Durante las últimas dos décadas, tecnologías electroquímicas de tratamiento de aguas residuales comenzaron a recuperar la importancia como una opción ecológica que genera lodo mínimo, no requiere aditivos químicos y huella mínima sin comprometer la calidad del tratamiento agua.

2.2.3. La electrocoagulación

La electrocoagulación es una tecnología que se encuentra en una intersección de tres tecnologías fundamentales (electroquímica, coagulación y floculación), cada una de ellas ha sido estudiada por separada (Pérez Alcalá, 2012b).

Figura 2

Interacciones Electrocoagulación/flotación



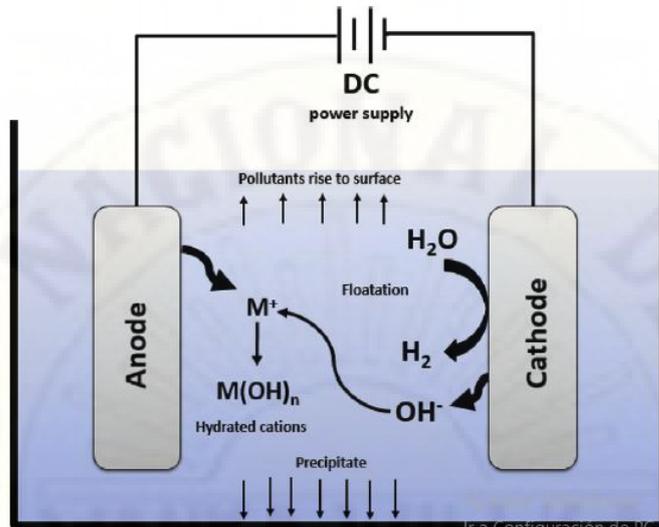
Nota. Adaptado de la Revisión de contaminantes eliminados por electrocoagulación y procesos de electrocoagulación/flotación (p.02), Emamjomeh & Sivakumar, 2009, de la revista Journal of Environmental Management, 2(17).

La electrocoagulación es una técnica utilizada para el tratamiento de las aguas residuales. Los contaminantes de muy diversos efluentes son removidos aplicando el principio de coagulación, pero en este caso no se hace uso de un coagulante químico (cuya función es llevada a cabo por corriente eléctrica que es aplicada al medio líquido contaminado, como se muestra en la figura 3). Podemos entonces definir la electrocoagulación como un proceso en el cual son desestabilizadas 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, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados.

La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es la estabilidad de las moléculas contaminantes. Por lo general este estado estable produce partículas sólidas menos coloidales y menos emulsionadas o solubles. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Los iones metálicos se liberan y dispersan en el medio líquido y tienden a formar óxidos metálicos que atraen eléctricamente a los contaminantes que han sido desestabilizados (Arango Ruíz et al., 2012)

Figura 3

Representación esquemática de una celda Electrocoagulación básica.



Nota. Tomando Una revisión exhaustiva de la electrocoagulación para el tratamiento del agua: Potenciales y desafíos (p.04), por Moussa et al., 2017, de la revista Journal of Environmental Management, 4(18).

La electrocoagulación es una alternativa a la coagulación química. En los procesos electrolíticos el coagulante se forma por las reacciones de óxido reducción que ocurren entre los electrodos y el medio acuoso y son promovidas por la corriente eléctrica.

La celda electroquímica o reactor para la electrocoagulación puede ser tipo batch o continuo. En su forma más simple el reactor batch es una cubeta en la cual, los electrodos se disponen en forma de placas paralelas conectados en serie a una fuente de voltaje.

- ✓ El volumen de la celda ocupada por los electrodos se define como zona de reacción, en esta se dan los procesos de desestabilización de partículas, coagulación y sedimentación. Los lodos formados pueden depositarse en la parte superior de la celda cuando su densidad es baja o precipitar cuando su densidad es alta, para luego ser removidos.
- ✓ El reactor tipo batch tiene importancia a nivel de laboratorio ya que permite el estudio del proceso y los parámetros a ser controlados.

Procesos en la electrocoagulación

En los electrodos ocurren una serie de reacciones que proporcionan iones tanto positivos como negativos. El ánodo provee iones metálicos. A este electrodo se le conoce como electrodo de sacrificio, ya que la placa metálica que lo conforma se disuelve, mientras la placa que forma el cátodo permanece sin disolverse.

Los iones producidos cumplen la función de desestabilizar las cargas que poseen las partículas contaminantes presentes en el agua. Cuando estas cargas se han neutralizado los sistemas que mantienen las partículas en suspensión desaparecen, permitiendo la formación de agregados de los contaminantes e iniciando así el proceso de coagulación.

Los iones que proveen los electrodos desencadenan un proceso de eliminación de contaminantes que se puede dar por dos vías: la primera por reacciones químicas y precipitación. la segunda vía se da por procesos físicos de agregación de coloides, que dependiendo de su densidad pueden flotar o precipitar.

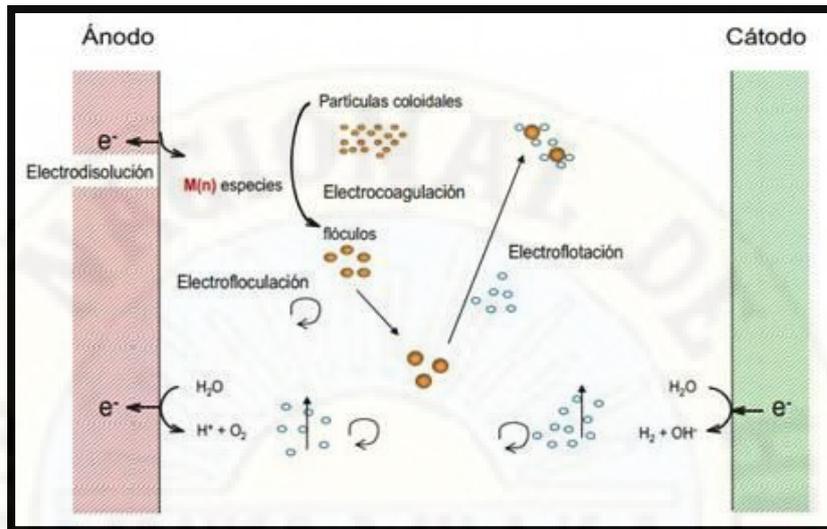
Las reacciones más importantes que pueden sufrir las partículas de contaminantes son:

- Hidrólisis.
- Electrólisis.
- Reacciones de ionización.
- Formación de radicales libres.

Estas reacciones cambian las propiedades del sistema agua contaminantes, que con lleva a la eliminación de la carga contaminante del agua (Ana Patricia Restrepo Mejía 2012).

Figura 4

Reacciones en el proceso de electrocoagulación.



Nota. Tomando de la revisión de la tesis titulada Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional (p.98), Fabiola Martínez Navarro, 2007, 98(279).

Mecanismos y Reacciones

Según (Mollah et al., 2001), se considera que en el proceso de electrocoagulación intervienen tres etapas: inicialmente se forma el coagulante por oxidación electrolytica del metal del ánodo, luego se da la desestabilización de los contaminantes y emulsiones, finalmente, se produce la formación de floculos por agregación de partículas del contaminante o adsorción de éstas en el coagulante.

Reacciones involucradas en la electrocoagulación: Los materiales más comúnmente utilizados como electrodos en la electrocoagulación son hierro y aluminio. Por esta razón se tratarán de manera especial las reacciones que se desarrollan manteniendo electrodos de estos dos metales en la celda. La bibliografía referenciada trata ampliamente estas reacciones, no sólo para hierro y aluminio, sino también aquellas reacciones que ocurren cuando los electrodos son de otros metales o materiales.

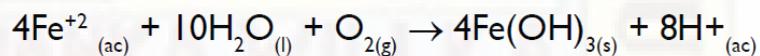
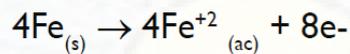
El proceso de electrocoagulación es afectado por diferentes factores. Entre los más importantes se encuentran la naturaleza y concentración de los contaminantes, el pH del agua residual y la conductividad. Estos factores

determinan y controlan las reacciones ocurridas en el sistema y la formación del coagulante.

Para el caso en el cual el hierro actúa como ánodo, se han propuesto dos mecanismos que explican la formación in situ de dos posibles coagulantes. Estos pueden ser hidróxido ferroso $\text{Fe}(\text{OH})_2$ o hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Mecanismo 1: Formación del hidróxido férrico

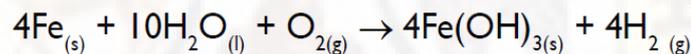
En el ánodo ocurren las siguientes reacciones:



En el cátodo ocurre la reacción:

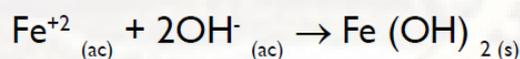
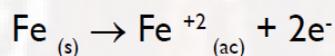


Reacción global:

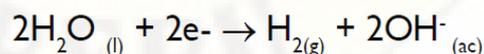


Mecanismo 2: Formación del hidróxido ferroso

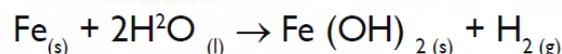
En el ánodo se dan las reacciones:



En el cátodo:



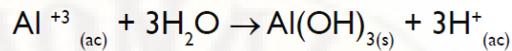
Reacción global:



Luego de la formación de los hidróxidos de hierro los coloides se aglomeran, especialmente aquellos con carga negativa, y posteriormente otras partículas de contaminantes interactúan con estos aglomerados, siendo removidos por formación de complejos o atracciones electrostáticas (Arango Ruíz et al., 2012).

Cuando el aluminio actúa como ánodo las reacciones son las siguientes:

En el ánodo:



En el cátodo:



Los iones Al^{3+} en combinación con los OH^{-} reaccionan para formar algunas especies monoméricas como $\text{Al}(\text{OH})_2^{+}$, $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^{+}$, y otras poliméricas tales como $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$ y $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$ que por procesos de precipitación forman el $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$, como se muestra en la reacción de ánodo. El $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ es una sustancia amorfa de carácter gelatinoso.

2.2.4. Reactor para la electrocoagulación

Reactor tipo Batch

Está formado por una celda electroquímica con un ánodo y un cátodo dispuestos en forma vertical y conectada a una fuente de energía externa. (Arango, 2005). El material anódico se corroe eléctricamente debido a la oxidación, mientras que el cátodo permanece pasivo.

El diseño formado por un par de electrodos no es el más adecuado a la hora del proceso ya que para obtener una adecuada disolución del metal se requiere de electrodos de gran área superficial, es por esta razón que se utilizan celdas con electrodos monopolares en paralelo o conectados en serie.

El sistema para la electrocoagulación requiere de una fuente de corriente directa, un regulador de densidad de corriente y de un multímetro para leer los valores de corriente.

- Dependen del contaminante a tratar.
- Dependen de la concentración de contaminante.

- El volumen de operación

Configuración monopolar

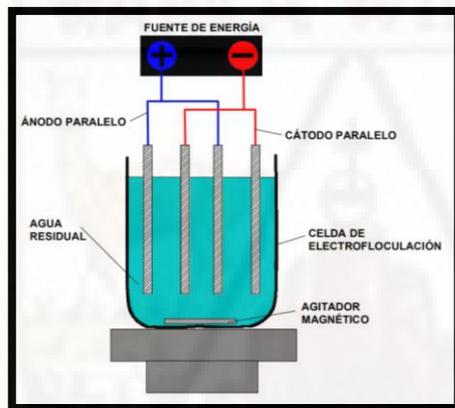
Los electrodos están conectados y sometidos al mismo potencial, lo cual genera mayor gasto de energía.

✓ En Paralelo

En la disposición monopolar en paralelo la corriente eléctrica se reparte entre todos los electrodos en relación a la resistencia de las células individuales. (M. Yousuf A. Mollah, 2001)

Figura 5

Configuración monopolar conectado en paralelo.



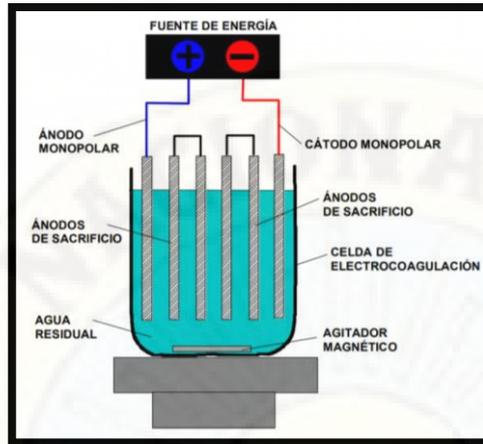
Nota. Adaptado de Electrocoagulation (EC) — science and applications (p.04), (M. Yousuf A. Mollah, 2001), de la revista Journal of Hazardous Materials, 4(13).

✓ En Serie

La disposición electrodos monopolares en serie se observa que cada par de electrodos de sacrificio está conectado internamente uno con el otro, y no tiene interconexiones con los electrodos externo. Esta disposición de electrodos monopolares con celdas en serie es eléctricamente similar a una única célula con muchos electrodos e interconexiones. En disposición en serie de electrodos, se requiere una diferencia de potencial más alto para una corriente dada porque las células conectadas en serie tienen una mayor resistencia. (M. Yousuf A. Mollah, 2001).

Figura 6

Configuración monopolar conectado en serie.

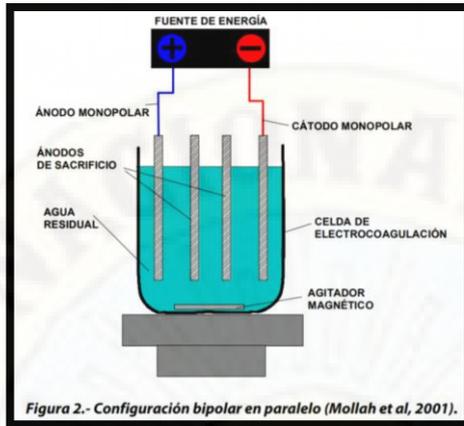


Nota. Adaptado de Electrocoagulation (EC) — science and applications (p.05), (M. Yousuf A. Mollah, 2001), de la revista Journal of Hazardous Materials, 5(13).

Configuración bipolar

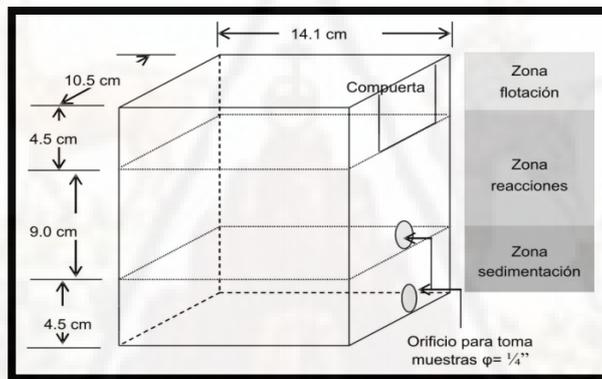
Estas celdas trabajan a menor intensidad y mayor voltaje que la monopolar y tienen la ventaja de la sencillez de su disposición, ya que sólo es necesaria la conexión de dos electrodos (electrodos alimentadores), y por tanto el espacio entre los electrodos puede ser más pequeño. Sin embargo, el elevado potencial entre los electrodos alimentadores también origina que una parte de corriente fluya a través de la disolución causando un bypass de corriente a los electrodos bipolares y produciendo por tanto pérdidas de corriente, lo que debe ser tenido en cuenta a la hora de prever el efecto sobre la producción y el tiempo de vida de electrodos (M. Yousuf A. Mollah, 2001).

Figura 7
Configuración bipolar conectado en paralelo.



Nota. Adaptado de Electrocoagulation (EC) — science and applications (p.05), (M. Yousuf A. Mollah, 2001), de la revista Journal of Hazardous Materials, 5(13).

Figura 8
Zonas de una celda de electrocoagulación.



Nota. Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea (p.07), por Arango y Garcés, 2007, de la revista Universidad EAFIT, 7(12).

2.2.5. Selección de placas para la cámara de electrocoagulación

Para el proyecto en mención se optó por realizar el proceso de electrocoagulación con placas de aluminio ya que en la investigación realizada por (Piña-Soberanis et al., 2011) menciona que el aluminio como ánodo de sacrificio sigue siendo el mayormente utilizado para el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 1

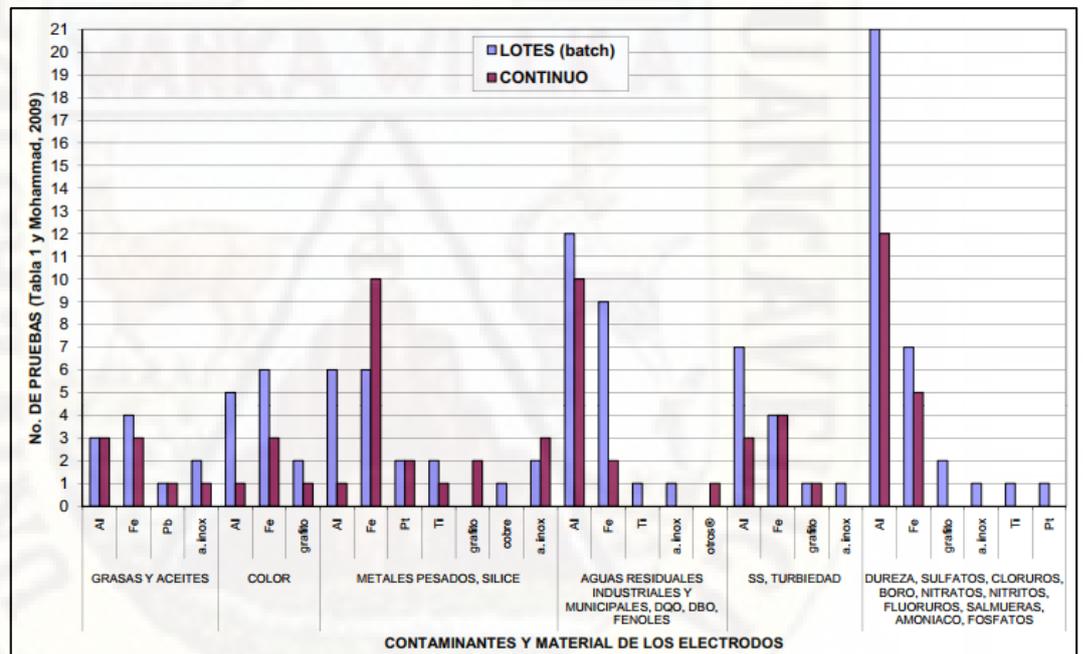
Estudios según el tipo de contaminante, material y tipo de flujo

Tipo	Contaminante		Material de electrodos		
	Orgánico	Inorgánico	Hierro	Aluminio	Otros
Lotes (batch) (%)	29.8	36.2	21.4	28.6	17.9
Continuo (%)	17	17	7.1	12.5	12.5

Nota. revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación (p.10), Piña-Soberanis et al., 2011, de la Revista Mexicana de Ingeniería Química, 10(15).

Figura 9

Contaminante removido según el material y tipo de flujo



Nota. revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación (p.10), Piña-Soberanis et al., 2011, de la Revista Mexicana de Ingeniería Química, 10(15).

2.2.6. Operaciones en las celdas de electrocoagulación.

Consumos de energía

Los consumos de energía varían entre 0.1 a 1.0 kWh/m³ (dependiendo del tipo de agua a tratar).

Desgaste de electrodos

El desgaste de material está directamente relacionado con la corriente aplicada al sistema (amperaje) y el tiempo del agua residual en la celda de electrocoagulación. Se estima un mínimo reemplazo de los electrodos de una a dos veces por año.

Condiciones de operación

El sistema de electrocoagulación puede funcionar de forma automática, mediante controles electrónicos que regulan la corriente y el voltaje, de acuerdo con los cambios en la calidad del agua residual a tratar, dados por su resistividad.

Producción de lodos

La generación o producción de lodos está directamente relacionado con el nivel de contaminación del agua residual y de las especies catiónicas (aluminio, hierro) que se disuelven en el agua de acuerdo con la corriente aplicada a los electrodos. En todo caso la generación de lodos es menor que un sistema químico o biológico convencional. Se obtiene un lodo más compacto (dado aluminio o hierro) con un nivel de humedad entre 97 a 99% (Ecosystem 2002.)

En realidad, las condiciones de operación de un sistema de electrocoagulación son altamente dependientes de las condiciones químicas del medio acuoso, especialmente de la conductividad y el pH, pero también influyen el tamaño de partículas, el tipo de electrodos, el tiempo de residencia en el reactor, el espaciamiento entre los electrodos y la concentración de los contaminantes. El tratamiento general de las aguas residuales requiere aplicaciones bajas de voltaje, generalmente de 50 Volts, con amperaje variable, de acuerdo con las características químicas del agua.

2.2.7. Factores que afectan la electrocoagulación

Son muchos los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación y algunos de estos factores tienen mayor influencia sobre el proceso y son:

➤ **pH.**

El pH influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido. Se ha observado en diferentes investigaciones que el pH varía durante el proceso de electrocoagulación y esta variación es dependiente del material de los electrodos y del pH inicial del agua a tratar. El pH durante el proceso puede incrementarse para aguas residuales ácidas, efecto atribuido a la generación de hidrógeno molecular que se origina en el cátodo. En contraposición, en aguas residuales alcalinas el pH puede decrecer y, dependiendo de la naturaleza del contaminante, el pH influye sobre la eficiencia del proceso.

La regulación del pH también tiene un efecto positivo en la remoción de turbidez, así como lo manifiesta Kobya, que reporta mayor eficiencia en la remoción de turbidez a pH entre 6 a 8.

➤ **Densidad de corriente**

El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{3+} o iones hierro Fe^{2+} liberados por los respectivos electrodos. La eficiencia en la remoción y el consumo de energía se incrementan con el aumento en la densidad de corriente. Para algunas conductividades del medio acuoso el consumo de energía se incrementa proporcionalmente con los aumentos de conductividad, lo que conlleva a un consumo mayor de energía.

En general un aumento de la densidad de corriente genera un aumento en la remoción de contaminante. Una densidad de corriente demasiado grande producirá una disminución significativa de la eficacia. La selección de la densidad de corriente podría realizarse

teniendo en cuenta otros parámetros de operación, como pH y temperatura.

La energía eléctrica que se suministra a la celda electroquímica puede ser mediante corriente alterna (CA) o bien como corriente directa (CD). Cuando se suministra corriente directa se produce en el cátodo una impermeabilización, lo que causa una menor eficiencia en la remoción.

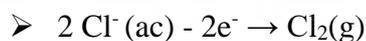
➤ **Conductividad**

Un incremento en la conductividad eléctrica genera a su vez un incremento en la densidad de corriente. La adición de algunos electrólitos tales como NaCl o CaCl₂ genera un aumento en la conductividad del agua residual.

➤ **Presencia de NaCl.**

La sal aumenta la conductividad del agua residual. Se ha encontrado que los iones de cloruro pueden reducir los efectos adversos de iones HCO₃⁻ y SO₄⁼, pues la presencia de iones carbonatos o sulfatos pueden conducir a la precipitación de Ca²⁺ y Mg²⁺ produciendo una capa insoluble depositada sobre los electrodos que aumentaría el potencial entre éstos, decreciendo así la eficiencia de la corriente. Se recomienda, sin embargo, que para un proceso de electrocoagulación normal se mantenga cantidades de Cl-alrededor del 20%.

La presencia de sal también ayuda a disminuir el consumo de energía al aumentar la conductividad y, además, cuando hay cloruros en el agua se puede presentar las reacciones siguientes en presencia de una corriente eléctrica, lo que favorece la desinfección:



➤ **Temperatura**

Los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación no han sido muy investigados, pero se ha encontrado que la eficiencia en la corriente se incrementa inicialmente hasta llegar a 60°C, punto donde se hace máxima para luego decrecer. El incremento de la eficiencia con la temperatura es atribuido al incremento en la actividad de destrucción de la película de óxido de aluminio de la superficie del electrodo.

Ventajas y desventajas de la electrocoagulación

Ventajas

- ✓ Los costos de operación son menores comparativamente con los de procesos convencionales usando polímeros.
- ✓ Requiere de equipos simples y de fácil operación.
- ✓ Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos.
- ✓ Genera lodos más compactos y en menor cantidad, lo que involucra menor problemática de disposición de estos lodos.
- ✓ Produce flóculos más grandes que aquellos formados en la coagulación química y contienen menos agua ligada.
- ✓ Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes.
- ✓ Purifica el agua y permite su reciclaje. El paso de la corriente eléctrica favorece el movimiento de las partículas de contaminante más pequeñas, incrementando la coagulación.
- ✓ Reduce la contaminación en los cuerpos de agua.
- ✓ El agua tratada por electrocoagulación contiene menor cantidad de sólidos disueltos que aquellas tratadas con productos químicos, situación que disminuye los costos de tratamiento de estos efluentes en el caso de ser reusados.
- ✓ Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras.

- ✓ Los contaminantes son arrastrados por las burbujas a la superficie del agua tratada, donde pueden ser removidos con mayor facilidad.

Desventajas

- ✓ Es necesario reponer los electrodos de sacrificio.
- ✓ Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.
- ✓ Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
- ✓ El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso (Mejía et al., 2006).

2.2.8. Parámetros estudiados

Los parámetros considerados como indicador del efluente de las empresas que brindan el servicio de lavandería de prendas en la ciudad de Huancavelica son:

Demanda química de oxígeno (DQO)

Es un contaminante químico, que muestra una medición de la materia orgánica e inorgánica en la parte interna de la solución y/o suspendida que puede ser una reacción química oxidada, por la operación de los agentes oxidantes, bajo los requisitos de bajo pH y se mide en miligramos de “oxígeno” equivalentes a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de solución (Tello et al., 2019).

Temperatura (T).

La temperatura condiciona los procesos de depuración biológica (degradación de la materia orgánica y de nitrificación), por lo que es importante su control. A medida que desciende la temperatura se ralentizan dichos procesos (Trapote Jaume, 2013, p. 21).

Potencial de Hidrogeno (Ph)

El pH es una medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH es la concentración de iones o cationes hidrógeno $[H^+]$ presentes en determinada sustancia (la sigla significa potencial de hidrógeno).

El pH se mide entre 0 a 14 en solución acuosa, siendo acidas las soluciones con pH menores de 7 y básicamente las mayores de 7. El pH igual a 7 indica la neutralidad de una sustancia. Las aguas naturales pueden tener pH ácido debido al SO_2 y CO_2 disueltos en la atmósfera, CO_3 de los suelos calizos, porque provienen de los seres vivos o por el ácido sulfúrico procedente de algunos minerales. Las aguas contaminadas con zonas de descargas industriales pueden tener un pH muy ácido (Choque & Daysee, 2020).

Por definición pH es el logaritmo inverso de la concentración de ión hidrogeno. La medida del pH tiene amplia aplicación en el campo de las aguas naturales y residuales. Es una propiedad básica e importante que afecta a muchas reacciones químicas y biológicas. Valores extremos de pH pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna, reacciones secundarias dañinas (Choque & Daysee, 2020).

Si las aguas residuales urbanas no contienen vertidos industriales, su pH oscila entre 6,5 y 8,5, valores que no plantean problemas a los procesos de depuración. Fuera de este rango se producen problemas en los procesos biológicos; por ello, en áreas en las que se acometan al saneamiento vertidos industriales, debe disponerse un pHmetro de control en la entrada a la planta, por si fuera necesario llevar a cabo una corrección del pH (Trapote Jaume, 2013, p. 22).

2.2.9. Normativas relacionadas a efluentes de una PTAR

Valores Máximos Admisibles (VMA)

DECRETO SUPREMO N° 010-2019-VIVIENDA, REGLAMENTO DE VATORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA) PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO

Es objeto de la presente norma establecer las disposiciones complementarias al Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (en adelante, Reglamento de VMA)

Tabla 2
Rangos de concentración

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

Nota. Adaptado de los Valores máximos admisibles, Sunass, 2019, del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA.

Tabla 3
VMA para descargas en el sistema de alcantarillado.

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuros	mg/l	S ⁻²	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH ⁺⁴	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/lh	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Nota. Adaptado de los Valores máximos admisibles, Sunass, 2019, del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA.

2.3. Formulación de hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

El método de electrocoagulación influye significativamente en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica.

2.3.2. Hipótesis Específicas

- ✓ La intensidad de corriente y tiempo influyen significativamente en la demanda química de oxígeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica.
- ✓ La intensidad de corriente y tiempo influyen significativamente en el potencial de hidrogeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica.
- ✓ La intensidad de corriente y tiempo influyen significativamente en la temperatura del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica.

2.4. Definición de términos

Amperaje

Cantidad de flujo de electrones o de corriente en un circuito eléctrico (Bauer, 2011).

Ánodo

Es el electrodo hacia el cual fluye la corriente de electrones liberados por el cátodo (W.S.Hu, 2005) .

Cátodo

Es un electrodo que produce la liberación masiva de electrones por efecto del calor. En la mayoría de las válvulas el cátodo se caldea para producir esta emisión termoiónica (W.S.Hu, 2005).

Coloide

Suspensión de partículas diminutas de una sustancia, llamada fase dispersada, en otra fase llamada continua o medio de dispersión (NORMA OS.90, 2006).

Electrocoagulación

La electrocoagulación es una técnica que se usa para tratar aguas residuales. Los contaminantes de muy diversos efluentes son removidos aplicando el principio de coagulación, pero en este caso no se hace uso de un coagulante químico. Podemos entonces definir la electrocoagulación como un proceso en el cual son desestabilizadas 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, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados (Arango, 2005).

Electrodo

Los conductores eléctricos de metal o carbono sumergidos en electrolitos (Gilpavas, 2008) .

Electrolito

Es una sustancia que se disocia en agua o en otro disolvente apropiado, produciendo una disolución conductora de electricidad (Tippens, 2007).

Electroforesis

Fenómeno de migración que presentan las partículas cargadas cuando se someten a la acción de un campo eléctrico (Tippens, 2007).

Iones

Partícula cargada eléctricamente obtenida a partir de un átomo o grupo de átomos enlazados químicamente al añadir o eliminar electrones (Gammon & Ebbing, 2009).

Multiparametro

El medidor portátil mide los parámetros de calidad del agua importantes sin la necesidad de tener que usar muchos instrumentos (Wilson, 2007).

Coagulación

La coagulación es un paso de neutralización de carga que involucra el acondicionamiento de la materia suspendida, coloidal y disuelta al añadir coagulantes (Mihelcic & Zimmerman, 2019).

Floculación

La floculación involucra la agregación de partículas desestabilizadas y la formación de partículas más grandes conocidas como flóculo (Mihelcic & Zimmerman, 2019).

Sedimentación

La sedimentación es el proceso en el que la mayoría de las partículas se asentarán por la gravedad dentro de un tiempo razonable y se removerán. Las partículas con densidades más grandes de 1 000 kg/m³ se asentarán finalmente, y las partículas con densidades menores a 1 000 kg/m³ flotarán hacia la superficie del agua (Mihelcic & Zimmerman, 2019).

Flotación

La flotación es lo opuesto a la sedimentación, usando flotabilidad para separar las partículas sólidas como grasas, aceites y lubricantes, lo cual no se conformaría por sedimentación. Las burbujas de aire se elevan hacia la superficie en donde son removidas por desnate (Mihelcic & Zimmerman, 2019).

Voltaje

Medida que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico, entendido como presión eléctrica, fuerza electromotriz presión eléctrica gradiente de potencial y diferencia de potencial (Tippens, 2007).

2.5. Identificación de variables

Variable Independiente

- ✓ Método de electrocoagulación

Indicadores:

- ✚ Tiempo de retención (min)
- ✚ Intensidad de corriente eléctrica (Amperios)

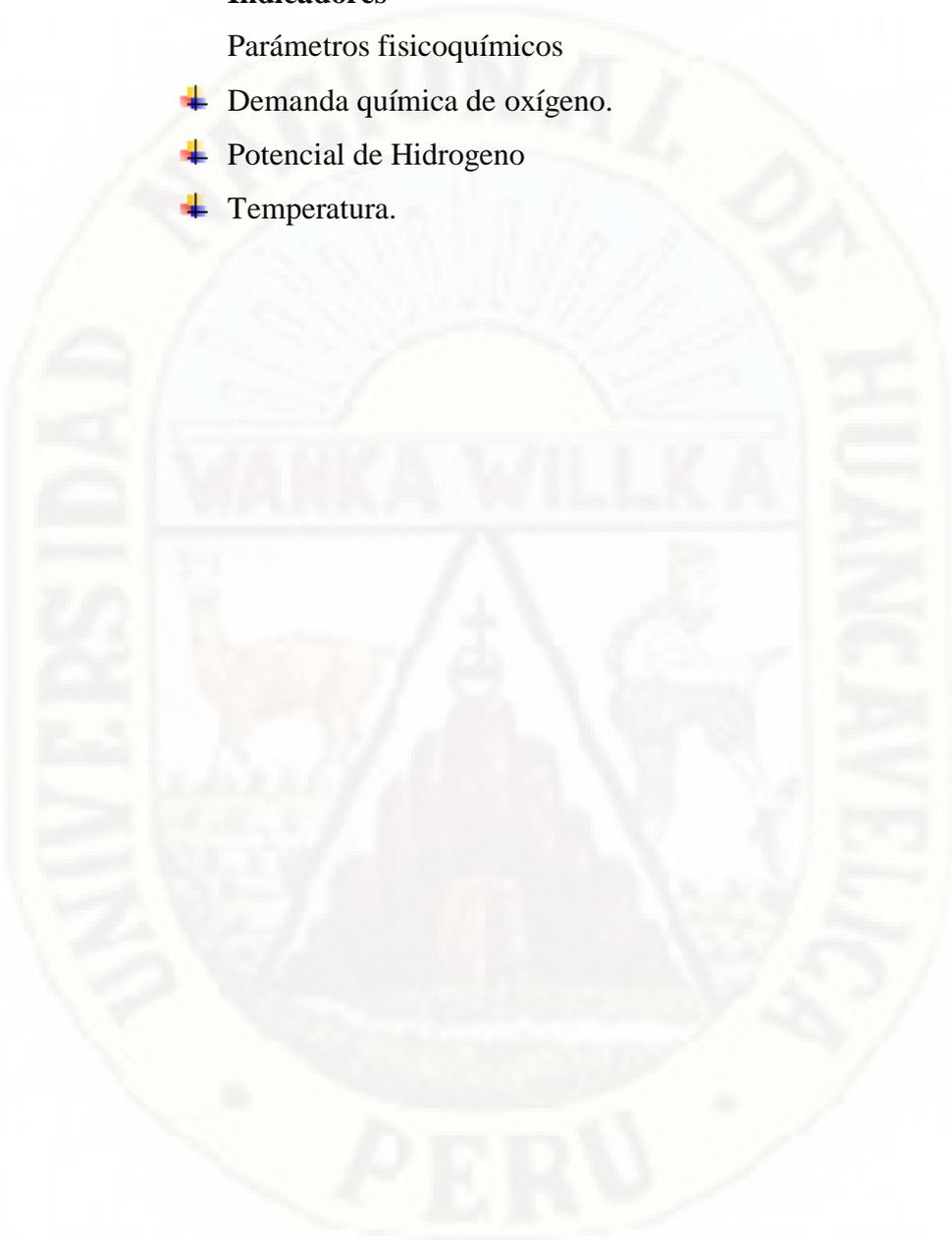
Variable Dependiente

- ✓ Tratamiento de aguas residuales

Indicadores

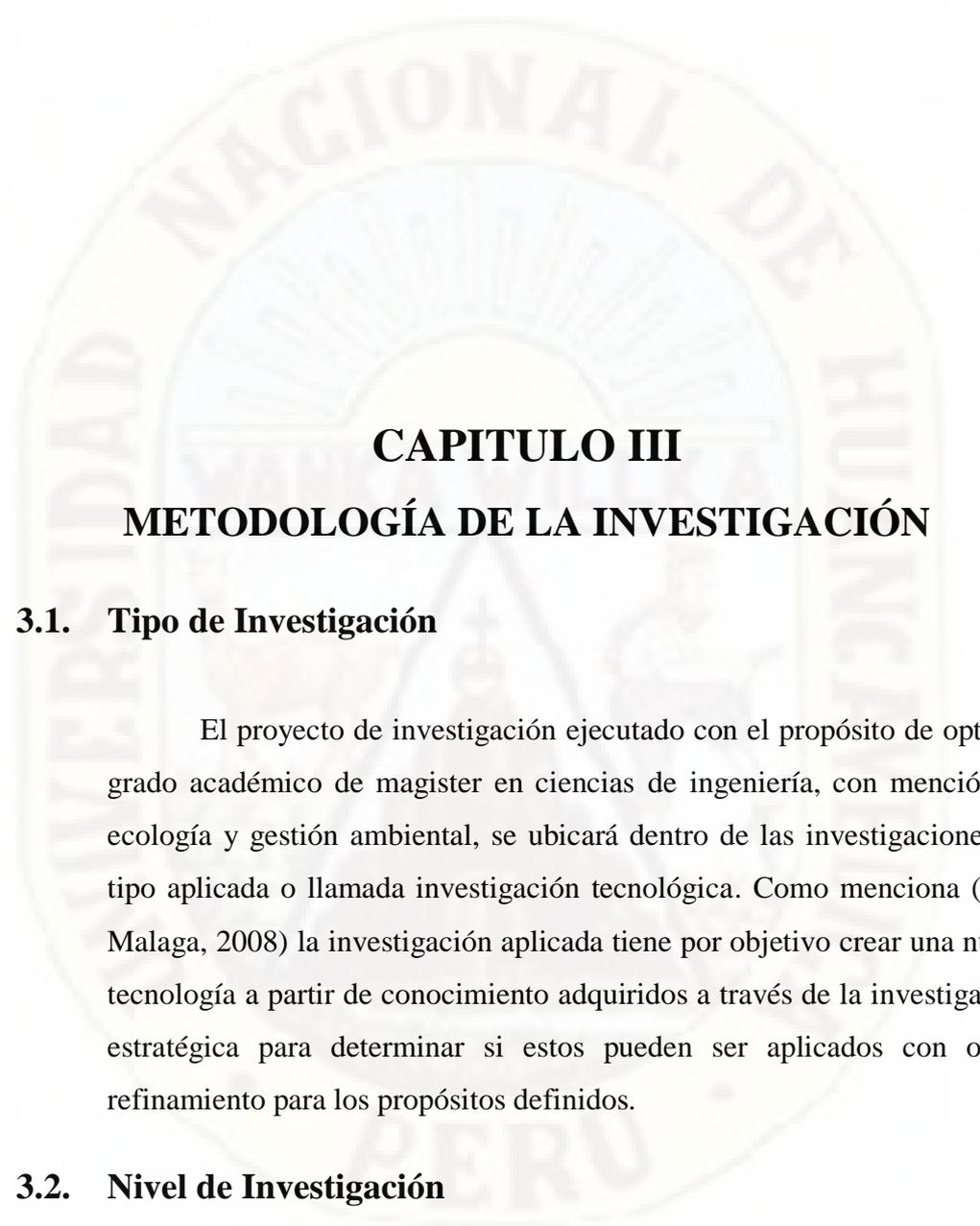
Parámetros fisicoquímicos

- + Demanda química de oxígeno.
- + Potencial de Hidrogeno
- + Temperatura.



2.6. Operacionalización de Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	SUB DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICES	INSTRUMENTO	
VARIABLE DEPENDIENTE: Tratamiento De Aguas Residuales DEFICION CONCEPTUAL El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. DEFINICION OPERACIONAL Constituye en la estimación de la mitigación de los contaminantes presentes en el efluente de las empresas de Lavandería de ropa de la ciudad de Huancavelica.	INDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUA	Parámetros químicos	DQO (Demanda química de oxígeno)	≤1000 mg/L	Medidor DQO HI 83214	
		Parámetros físicos	Ph (Potencial de Hidrógeno)	6-9 Ph	Multiparametro	
			T (Temperatura)	<35 °C	Multiparametro	
VARIABLE INDEPENDIENTE: Método De Electrocoagulación DEFICION CONCEPTUAL Es un proceso en el cual son desestabilizadas 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, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados. DEFINICION OPERACIONAL Se constituye la estimación del rendimiento de un equipo.	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	Tiempo	Minutos	15 min 40 min	Cronometro	
			Intensidad de corriente eléctrica	Amperios	15 Amperios 30 Amperios	Fuente de poder



CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

El proyecto de investigación ejecutado con el propósito de optar el grado académico de magister en ciencias de ingeniería, con mención en ecología y gestión ambiental, se ubicará dentro de las investigaciones de tipo aplicada o llamada investigación tecnológica. Como menciona (Tam Malaga, 2008) la investigación aplicada tiene por objetivo crear una nueva tecnología a partir de conocimientos adquiridos a través de la investigación estratégica para determinar si estos pueden ser aplicados con o sin refinamiento para los propósitos definidos.

3.2. Nivel de Investigación

Hernandez (2014), sostiene que el nivel de investigación se refiere a la intención y alcance que tiene la investigación.

La tesis en mención es de nivel explicativo ya que la Investigación Explicativa: Se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios

explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación postfacto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos (Alfaro Rodríguez, 2017).

3.3. Métodos de Investigación

Método experimental

Permitirá repetir las observaciones en las mismas condiciones para analizar los resultados y también variar las condiciones para ver las diferencias y replicar el experimento. Este efecto supone la manipulación de la variable independiente (Método de electrocoagulación) y se dispone del máximo control sobre ellas, la utilización del razonamiento hipotético – deductivo para contrastar la hipótesis y así validar su veracidad o no (Bisquerra, R. 1989).

3.4. Diseño de Investigación

El diseño Pre-test y post-test con un solo grupo. Según (Sánchez y Reyes (2000) usa un pre-test, de algún modo proporciona información acerca de la muestra con la que se realiza el estudio y de esta forma se estaría controlando de algún modo la selección de la variable extraña (pp. 87-88).

La ejecución de este diseño implica tres pasos a ser realizado:

- Una medición previa de la variable dependiente a ser estudiada (pre-test).
- Introducción o aplicación de la variable independiente o experimental “X” a los sujetos del grupo “Y”.
- Una nueva medición de la variable dependiente en los sujetos (pot-test).

El diseño de investigación experimental comprende el siguiente modelo:

GE : O1 X O2

Donde:

GE : Grupo Experimental

O1 : Pre test (DQO, Ph, T)

X : Método de electrocoagulación

O2 : Post test (DQO, Ph, T)

3.5. Población, muestra y muestreo

3.5.1. Población

Aguas residuales de las lavanderías ASOCIACION TAKSANA WASI ubicada el Jr. Túpac Yupanqui N° 325, con numero de licencia N° 212-2017 y la lavandería RAYSA NALINY QUISPALAYA ENRIQUEZ ubicada en el Jr. Nicolás de Piérola N° 510, con numero de licencia N° 234-2018.

Lavanderías formalizadas que brindan el servicio de lavandería en la ciudad de Huancavelica. Estas empresas están registradas en la gerencia de comercialización de la Municipalidad Provincial de Huancavelica.

3.5.2. Muestra

Las muestras para el tratamiento con el método de electrocoagulación, fueron tomadas del efluente del proceso de lavandería. Se requirieron 3 litros de muestra para cada tratamiento debido a las dimensiones de la cámara de electrocoagulación, se realizó 4 tratamientos por semana y el trabajo se realizó por dos semanas, por ende se trabajó con 24 litros de aguas residuales por

cada lavandería, los cuales fueron posteriormente analizadas en el laboratorio central de la Universidad Nacional de Huancavelica.

Las muestras son aquellas que se define como el listado de elementos, unidades de análisis, a partir del cual se seleccionó (Velázquez & Rey, 2013).

3.5.3. Muestreo

El muestreo del agua residual para las pruebas experimentales fue no probabilístico y por conveniencia, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización (Hernandez Sampieri, 2014).

Esto debido a que el horario donde realizan las actividades donde generan mayor cantidad de aguas residuales en las lavanderías es desde las 9:00 am a 1:00 pm.

Se trabajó con una muestra representativa de acuerdo al protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes procedentes del tratamiento de los efluentes domesticas o municipales. Emitida por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) de acuerdo a la Resolución Ministerial N°273-2013-Vivienda.

3.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Se utilizará la observación experimental que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso y tomar la información y registrarla para su análisis.

Esta observación que se realiza en la investigación experimental, mediante el uso del método experimental, consistió en examinar atentamente el efecto que produce la manipulación de la variable independiente (método de electrocoagulación) sobre la variable

dependiente (Tratamiento De Aguas Residuales). Además, se examinan las características del comportamiento de los fenómenos y efectos de los indicadores de las variables (tiempo e intensidad de corriente eléctrica), en el experimento.

3.6.2. Instrumentos

Según Gonzales et al. (2011), en toda investigación se aplica un instrumento para medir las variables contenidas en la hipótesis. Esta medición es efectiva cuando el instrumento de recolección de datos realmente representa a las variables que el investigador tiene en mente, de lo contrario la medición es deficiente y por lo tanto la investigación pierde interés.

Para la presente investigación se utilizó los siguientes instrumentos:

Digestor DBR-200 (para medir el DQO), colorímetro portátil DR-900 (para medir el DQO), Multiparámetro (para medir el ph y la temperatura) y la Ficha de registro de datos en campo y laboratorio.

Figura 10

Digestor DBR-200 (para medir el DQO).



Figura 11
colorímetro portátil DR-900 (para medir el DQO)



Figura 12
Multiparámetro



Figura 13

Ficha de registro de datos (Cadena de custodia).

REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA											
Nombre de la Tesis:											
Muestra No.	Afluente	Efluente	fecha	Hora toma de muestra	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos preservación	Parámetro a ser medido			Observaciones
								PH	T	DQO	

Firma del responsable del monitoreo

Los métodos utilizados para calcular la demanda química de oxígeno (DQO), potencial de hidrogeno (Ph) y Temperatura (T) fueron:

El método para determinar el DQO fue el método de refluo cerrado o micro DQO “SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method. 23rd Edition, 2017”.

Para calcular el Ph se utilizó el método electrométrico “SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-HB. pH Value. Electrometric Method. 23rd Edition, 2017”.

Para calcular la temperatura se utilizó métodos de laboratorio y campo “SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B. Temperature. Laboratory and Field Methods. 23rd Edition, 2017”.

Rejilla de observación

Como afirma Ñaupas & Mejía (2014), se empleó como instrumento de recolección de datos una ficha técnica que consistió en: “Observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis” (p. 45).

Para registrar la información obtenida del tratamiento de las aguas residuales se trabajó con la cadena custodia de acuerdo a la Resolución Ministerial N°273-2013-Vivienda.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.7.1. Técnica de procesamiento de datos

De acuerdo a los datos obtenidos en el proceso de laboratorio, y las hipótesis tanto generales y específicas planteadas, la investigación se enfocó en realizar una matriz de diseño o arreglo factorial que consiste en determinar un conjunto de puntos experimentales o tratamientos que pueden formarse considerando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores. El diseño de la investigación comprende 3 factores (parámetros de la DQO, Ph y T), con 2 niveles de aplicación por cada factor, que dan lugar al diseño factorial 3×2 . Observe que en el nombre del diseño factorial va implícito el número de tratamientos que lo componen. Para obtener el número de corridas experimentales se multiplica el número de tratamientos por el número de réplicas, donde una de éstas se lleva a cabo cada vez que se corre el arreglo completo. Las corridas experimentales de acuerdo a los tratamientos de laboratorio y observación, se desarrollaron durante 2 semanas, dando lugar al modelo de arreglo factorial de $3 \times 2 \times 2$, lo cual representa 12 corridas experimentales de tratamiento respecto a los parámetros bioquímicos en estudio y esto para cada lavandería con el cual se trabajó.

Para comprobar la normalidad de los datos se trabajó con la prueba de Shapiro-Wilk es una de las más consolidadas y con mayor potencia estadística entre las existentes actualmente (Arcones & Wang, 2006). Su fundamento estadístico está basado en una gráfica de probabilidad en la que se considera la regresión de las observaciones sobre los valores esperados de la distribución

hipotetizada, en donde su estadístico W representa el cociente de dos estimaciones de la varianza de una distribución normal.

La prueba de Shapiro – Wilk, restringió la aplicabilidad para un tamaño de muestra inferior a 50. Esta prueba fue la primera prueba que pudo detectar desviaciones de la normalidad debido a asimetría o curtosis, o ambos (Althouse et al., 1998).

Conforme a las inferencias detalladas, la investigación comprobó las hipótesis planteadas: Donde la Hipótesis general trabajo con las 24 corridas en base a la prueba de Shapiro - Wilk y un arreglo factorial (Efectos principales, interacción de factores, residuos estandarizados, valores ajustados y predicción) y la hipótesis específica 1, 2 y 3 se basó en comparaciones de las 2 semanas con arreglos factorial de 3x2 y la aplicación de un ANOVA para diseño factorial (Efectos principales, interacción de factores). De acuerdo a lo mencionado se plantea la prueba de Shapiro – Wilk.

Dada una muestra aleatoria ordenada, $y_1 < y_2 < y_3 \dots < y_n$, el estadístico de prueba de Shapiro - Wilk se define como:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

donde

- y_i : es el estadístico de i-ésimo orden,
- \bar{y} : es la media muestral

$$a_i = a_1, a_2, \dots, a_n = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}}$$

- $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)^T$ son los valores esperados de las estadísticas de orden de independientes e idénticamente variables aleatorias distribuidas muestradas de la distribución normal estándar y V es la covarianza matriz de esas estadísticas de orden.

El estadístico descriptivo permitió hallar el análisis de varianza. La estadística inferencial, análisis, el nivel real de significancia, el cual es

la verdadera probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es cierta y que en pruebas no exactas es diferente del nivel nominal, o teórico, de significancia, determinados, usualmente a un nivel del 5 %.

El diseño experimental que se utilizó en la investigación es un diseño de arreglos factoriales de tres factores, con diferentes niveles (2 por cada factor, con 2 tratamientos) y la variable de respuesta fue el porcentaje de remoción de DQO, el control del ph y la temperatura.

Las variables que se consideraron como factores para el diseño experimental fueron:

- ✓ Intensidad de corriente eléctrica.
- ✓ Tiempo de tratamiento (remoción)

Esto permitió investigar el efecto individual y la interacción entre los factores sobre la variable respuesta, al elaborar un análisis ANOVA de arreglo factorial (3x2x2) con de la información obtenida. El modelo estadístico fue:

Para DQO

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + (\varepsilon)_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij} : es la i-ésima observación del porcentaje de remoción de DQO observado en los niveles i, j de los factores, densidad de corriente y tiempo.
- μ : es el porcentaje medio de remoción de DQO del modelo.
- α_i : es el efecto del i-ésimo nivel del factor tiempo. k = 15 y 40 min.
- β_j : es el efecto del j-ésimo nivel del factor intensidad de corriente 15 A/m² y 30 A/m².
- $(\alpha\beta)_{ij}$: es el efecto de interacción entre los niveles i y j de los factores intensidad de corriente y Tiempo. *Para todo i, j.*
- $(\varepsilon)_{ij}$: es el i-ésimo término de error aleatorio.

Para pH

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + (\varepsilon)_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij} : es la i-ésima observación del porcentaje de variación del Ph observado en los niveles i, j de los factores, densidad de corriente y tiempo.
- μ : es el porcentaje medio de variación del pH del modelo.
- α_i : es el efecto del i-ésimo nivel del factor tiempo. k = 15 y 40 min.
- β_j : es el efecto del j-ésimo nivel del factor intensidad de corriente 15 A/m² y 30 A/m².
- $(\alpha\beta)_{ij}$: es el efecto de interacción entre los niveles i y j de los factores Densidad de corriente y Tiempo. *Para todo i, j.*
- $(\varepsilon)_{ij}$: es el i-ésimo término de error aleatorio.
-

Para la Temperatura

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + (\varepsilon)_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij} : es la i-ésima observación del porcentaje de variación de la temperatura observado en los niveles i, j de los factores, densidad de corriente y tiempo.
- μ : es el porcentaje medio de variación de la temperatura del modelo.
- α_i : es el efecto del i-ésimo nivel del factor tiempo. k = 15 y 40 min.
- β_j : es el efecto del j-ésimo nivel del factor intensidad de corriente 15 A/m² y 30 A/m².
- $(\alpha\beta)_{ij}$: es el efecto de interacción entre los niveles i y j de los factores Densidad de corriente y Tiempo. *Para todo i, j.*
- $(\varepsilon)_{ij}$: es el i-ésimo término de error aleatorio.

3.7.2. Análisis de datos

Consistió en procesar los datos obtenidos de la muestra mediante los programas estadísticos SAS versión 4.2, SPSS versión 21 y Excel V-2020 como objeto de estudio de la siguiente manera.

Paso 1: Se seleccionó el programa Excel v-2020 que mediante una ficha de registro de campo de pretest y postest se registró el análisis de recojo de información de los análisis de los parámetros DQO, pH y T observados respecto a los factores de intensidad de corriente eléctrica y tiempo.

Paso 2: Seguidamente se organizó los datos en una matriz de arreglo factorial (Excel) de la forma 3x2x2 (3 niveles del factor densidad, 2 niveles del factor tiempo y 2 tratamientos o replicas) para su respectivo proceso en el programa SAS versión 4.2 y SPSS versión 21.

Paso 3: Se realizó el análisis de prueba de normalidad de datos con el test estadístico de Shapiro - Wilk de los parámetros de DQO, pH y T

Paso 4: Se generó el ANOVA con arreglo factorial de las 2 semanas con 24 tratamientos.

Paso 5: Por último, se realizó el análisis de valores ajustados y reales de los tratamientos de la DQO, pH y T.

Estos resultados, según los objetivos e hipótesis planteadas en la tesis de investigación, fueron contrastadas mediante la prueba de hipótesis que se detalla en el capítulo IV.

3.8. Descripción de la prueba de Hipótesis

En las pruebas de hipótesis el propósito no es cuestionar el valor calculado del estadístico muestral, sino hacer, un juicio con respecto a la diferencia entre estadístico de muestra y un valor planteado del parámetro calculado.

De acuerdo a los procedimientos sistemáticos, se verifican diversos planteamientos de autores y cada uno de ellos con sus respectivas

peculiaridades para probar la validez de una aseveración acerca de un parámetro poblacional.

Para la prueba de hipótesis se trabajó con la prueba F de Fisher determinando el F calculado y el F tabulado a un nivel de significancia de 0.05.





CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación e interpretación de datos

La tesis titulada: “Método de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica”, se desarrolló con la cámara de electrocoagulación en un sistema cerrado tipo batch ubicada en la provincia de Huancavelica y departamento de Huancavelica, se trabajó con 2 lavanderías del área urbana del ciudad de Huancavelica, donde se hizo el tratamiento de las aguas residuales de cada lavandería durante 2 semanas.

Se realizó el análisis de varianza y la respectiva comparación de las medias para las respectivas variables: intensidad (i) (15 y 30 Amp/m²) y tiempo (T) (15 y 40 min). Se realizó el monitoreo testigo con una intensidad de 0 Amp/m² y un tiempo 0 min.

Luego se determinó el efecto de remoción en la DQO y el control de la variación del ph y temperatura. Los monitoreos se realizaron dentro de la Universidad nacional de Huancavelica en el lugar de Paturpampa en el

laboratorio de Microbiología y parasitología. A continuación nos permitimos presentar los resultados obtenidos, ellos son:

Tabla 4

Resultados obtenidos del tratamiento de las aguas residuales.

Código	Rep	DQO⁵ (mg/L)	Temperatura (C°)	Ph (Indicador)
Lavandería 1				
V0-T0	1	1359	14.7	8.06
V0-T1	2	1359	14.7	8.06
V30-T15	3	846	26.4	9.63
V30-T40	4	820	33.8	10.43
V15-T15	5	419	24	9.59
V15-T40	6	498	33	10.18
V0-T0	7	1257	15.6	8.88
V0-T1	8	1257	15.6	8.88
V30-T15	9	872	22.8	10.02
V30-T40	10	800	39.8	10.68
V15-T15	11	314	17.2	9.16
V15-T40	12	335	19.9	9.39
Lavandería 2				
V0-T0	1	1384	15.7	9.06
V0-T1	2	1384	15.7	9.06
V30-T15	3	884	24.4	9.63
V30-T40	4	858	33.8	10.78
V15-T15	5	363	23	9.49
V15-T40	6	411	32	9.58
V0-T0	7	1283	15.6	9.88
V0-T1	8	1283	15.6	9.88
V30-T15	9	845	21.8	9.65
V30-T40	10	808	35.8	10.46
V15-T15	11	334	18.2	9.56
V15-T40	12	441	20.9	9.69

Se observa en la tabla N^a 04, los resultados de los tratamientos realizados de los siguientes parámetros analizados: demanda química de oxígeno (DQO), temperatura (°C) y potencial de hidrogeno (PH), se trabajó con las aguas residuales de 2 lavanderías y se realizó dos repeticiones (D1 y D2). Obteniendo como resultado que el método de electrocoagulación, presentan variación en los parámetros analizados al variar la Intensidad de corriente y tiempo. Estos análisis se realizaron en el mes de octubre y noviembre.

4.1.1. Evaluar el grado de influencia del método de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), por lo que se llega a la descripción e interpretación de datos obtenidos luego de la parte experimental, se determinó el efecto significativo ($P < 0.001$), en voltaje y tiempo en los parámetros productivos (DQO, Ph y T).

Tabla 5
Análisis de varianza de los parámetros en estudio (DQO, Ph y T)

Fuente de variación	Gl	Cuadros medios y grado de significación		
		DQO (mg/L)	Temperatura (C°)	Ph (Indicador)
Voltaje (V)*	3	317746.1 (S)	166806 (NS)	0.859 (NS)
Tiempo (T)		0.025	0.9139	0.9653
Error	12	440539.5	11703525	1.0077
Total corregido	15	1393778	12203943	3.586
Coef Var		7.25	1.68	2.96

4.1.2. Grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en la demanda química de oxígeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica.

En base a los resultados se obtuvo que el DQO presento una reducción hasta 366.50 mg/l a una intensidad de corriente de 15 Amp/m² y un tiempo de 15 minutos.

En la lavandería 2 se observó que la mejor reducción de DQO presento 348.50 mg/l a una intensidad de corriente de 15 Amp/m² y un tiempo de 15 minutos.

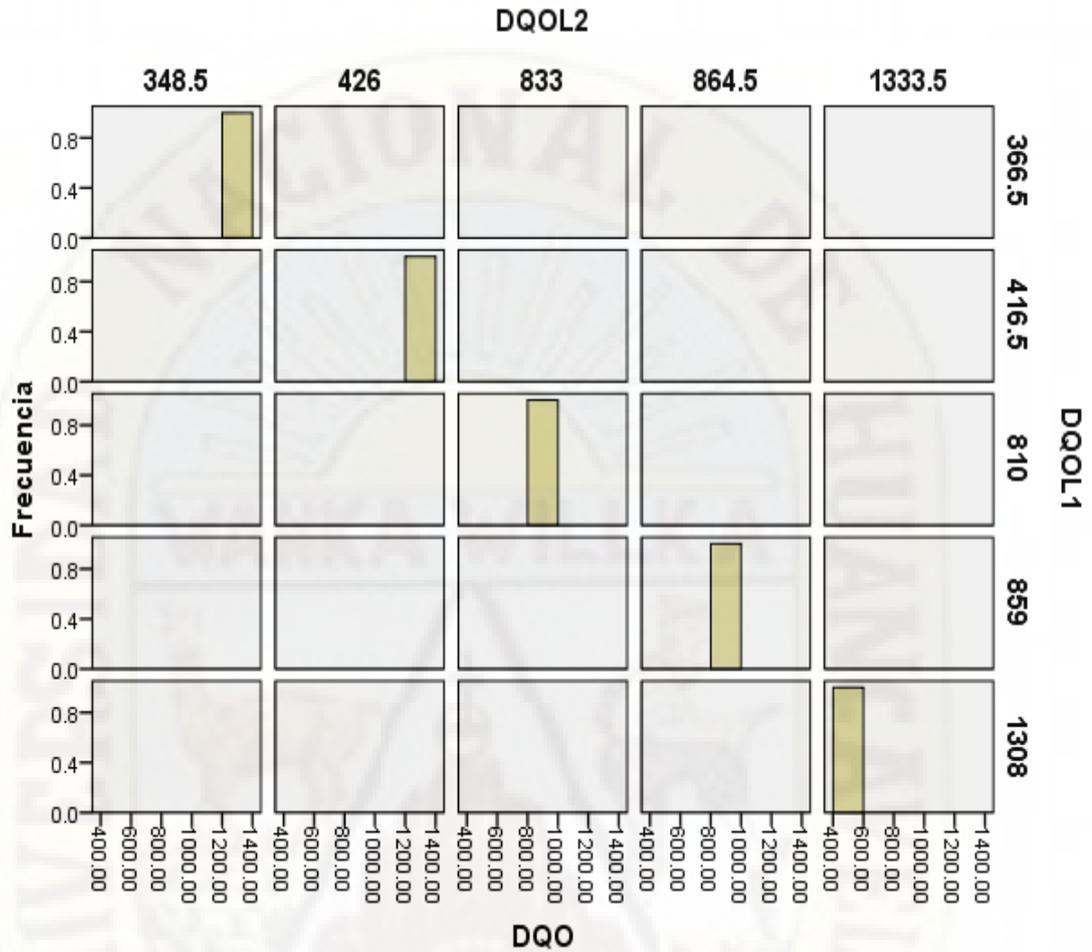
De acuerdo a los resultados obtenidos llegamos a la conclusión que el metodo de electrocoagulación es eficiente para el tratamiento de DQO como menciona (Piña-Soberanis et al., 2011) el aluminio como ánodo de sacrificio sigue siendo el mayormente utilizado para el tratamiento de DQO.

Tabla 6
Prueba de medias de DQO (Tuckey)

N°	Método	Muestra	Intensidad Corriente (Amp/m ²)	Tiempo (min)	DQO Media (mg/l)	Tuckey
1	Electrocoagulación	Lavandería 1	15	15	366.50	A
2	Electrocoagulación	Lavandería 1	15	40	416.50	AB
3	Electrocoagulación	Lavandería 1	30	40	810.00	BC
4	Electrocoagulación	Lavandería 1	30	15	859.00	C
5	Electrocoagulación	Lavandería 1	0	0	1308.00	D
X_M					752.00	
1	Electrocoagulación	Lavandería 2	15	15	348.50	A
2	Electrocoagulación	Lavandería 2	15	40	426.00	A
3	Electrocoagulación	Lavandería 2	30	40	833.00	B
4	Electrocoagulación	Lavandería 2	30	15	864.50	B
5	Electrocoagulación	Lavandería 2	0	0	1333.50	C
X_M					761.1	
X_T					756.55	

Figura 14

Pirámide doble de DQO (Lavandería 1 y2)



En la presente figura de histograma el grafico de doble entrada donde la lavandería 2 obtuvo un mejor valor de DQO, (348 mg/l) a diferencia de lavandería 1, se utilizó aguas residuales de lavandería del área urbana del distrito de Huancavelica.

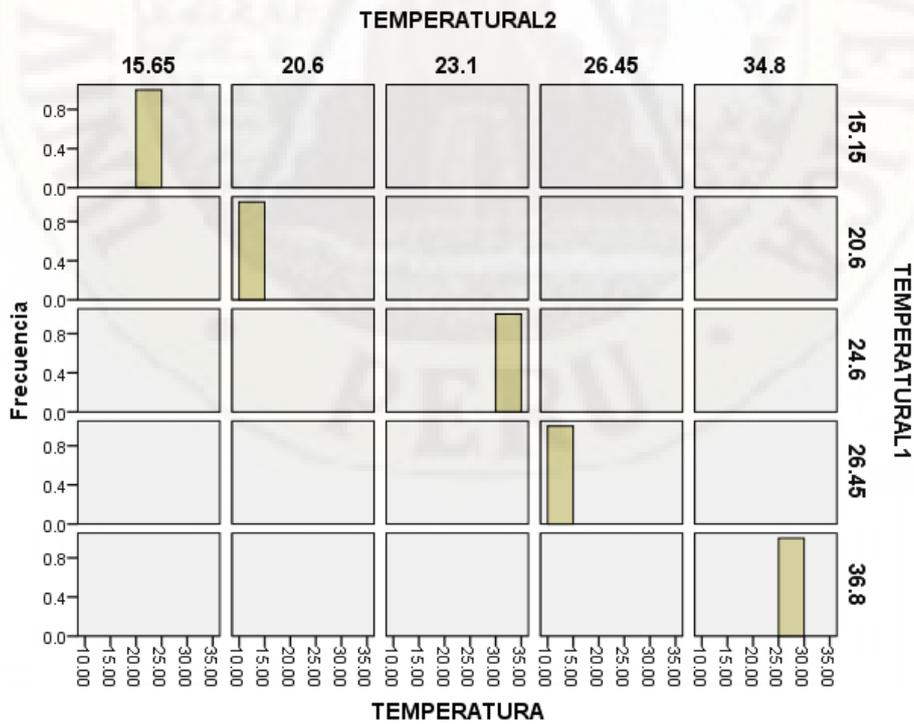
4.1.3. Estimar el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en la temperatura del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica.

En base a los resultados se obtuvo que el temperatura presento valores homogéneos en todas las intensidades de corriente en (15 y 30) Amp/m² y en los tiempos (15 y 40) minutos.

Tabla 7
Prueba de medias de temperatura (Tuckey)

N°	Método	Muestra	Intensidad Corriente (Amp/m2)	Tiempo (min)	Temperatura Media (°C)	Tuckey
1	Electrocoagulación	Lavandería 1	15	15	20.60	A
2	Electrocoagulación	Lavandería 1	15	40	26.45	A
3	Electrocoagulación	Lavandería 1	30	40	36.80	A
4	Electrocoagulación	Lavandería 1	30	15	24.60	A
5	Electrocoagulación	Lavandería 1	0	0	15.15	A
X_M					24.72	
1	Electrocoagulación	Lavandería 2	15	15	20.60	A
2	Electrocoagulación	Lavandería 2	15	40	26.45	A
3	Electrocoagulación	Lavandería 2	30	40	34.80	A
4	Electrocoagulación	Lavandería 2	30	15	23.10	A
5	Electrocoagulación	Lavandería 2	0	0	15.65	A
X_M					24.12	
X_T					24.42	

Figura 15
Pirámide doble de Temperatura (Lavandería 1 y 2).



En la presente figura de histograma el grafico de doble entrada donde la lavandería 2 obtuvo una variación de temperatura, (15.15 °C) a diferencia de lavandería 1, se utilizó las celdas de electrocoagulación en las aguas residuales de lavandería del área urbana del distrito de Huancavelica.

4.1.4. Estimar el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en PH del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica.

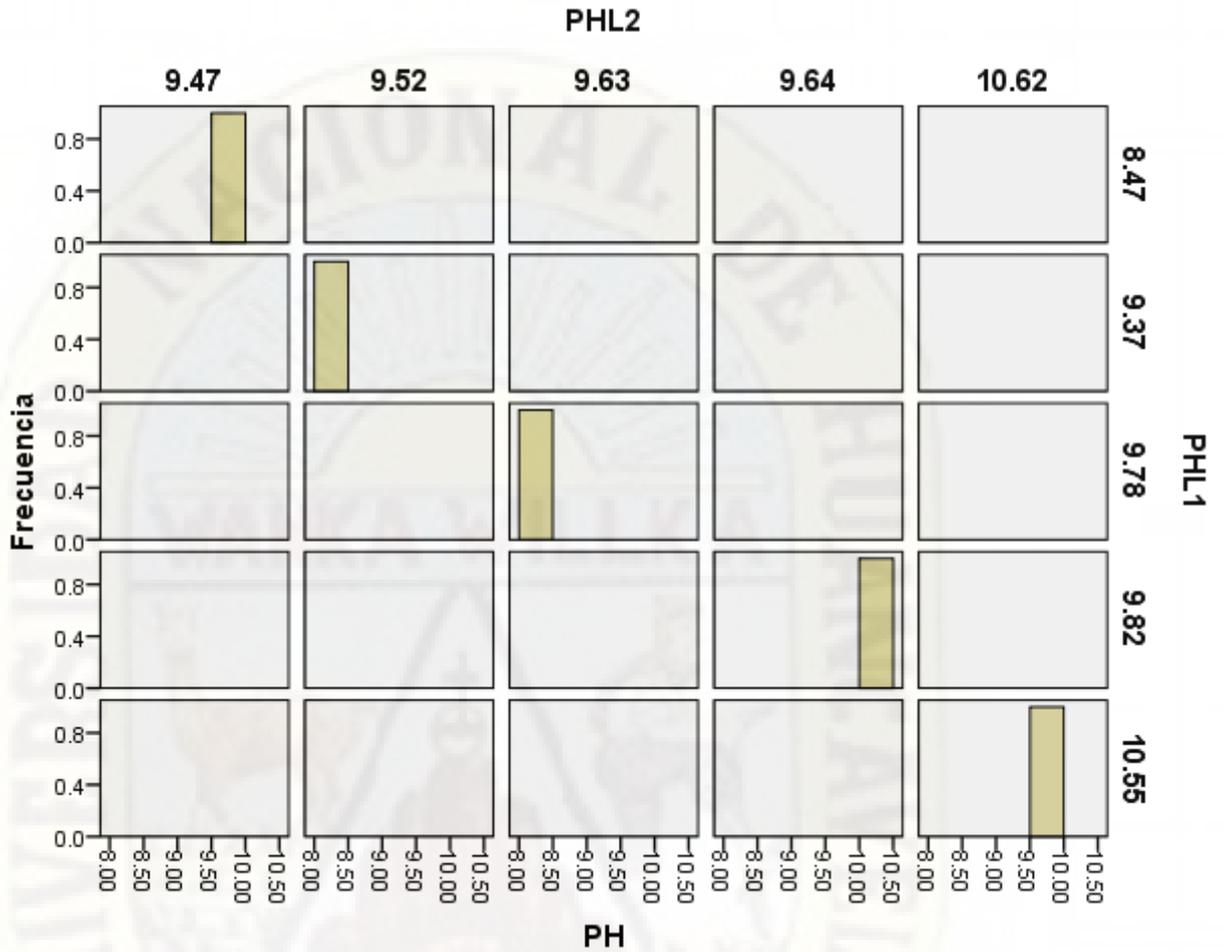
En base a los resultados se obtuvo que el PH, presento valores homogéneos en todas las intensidades de corriente en (15 y 30) Amp/m2 y en los tiempos (15 y 40) minutos.

Tabla 8
Prueba de medias del potencial de Hidrogeno (Tuckey)

N°	Método	Muestra	Intensidad Corriente (A)	Tiempo (min)	PH Media (unidad de PH)	Tuckey
1	Electrocoagulación	Lavandería 1	15	15	9.37	A
2	Electrocoagulación	Lavandería 1	15	40	9.78	A
3	Electrocoagulación	Lavandería 1	30	40	10.55	A
4	Electrocoagulación	Lavandería 1	30	15	9.82	A
5	Electrocoagulación	Lavandería 1	0	0	8.47	A
		X_M			9.60	
1	Electrocoagulación	Lavandería 2	15	15	9.52	A
2	Electrocoagulación	Lavandería 2	15	40	9.63	A
3	Electrocoagulación	Lavandería 2	30	40	10.62	A
4	Electrocoagulación	Lavandería 2	30	15	9.64	A
5	Electrocoagulación	Lavandería 2	0	0	9.47	A
		X_M			9.77	
		X_T			9.68	

Figura 16

Pirámide doble del potencial de Hidrogeno (Lavandería 1 y 2).



En la presente figura de histograma el grafico de doble entrada donde la lavandería 2 obtuvo un valor de PH, (10.62 unidad de PH) a diferencia de lavandería 1, se utilizó las celdas de electrocoagulación en las aguas residuales de lavandería del área urbana del distrito de Huancavelica.

4.2. Discusión de resultados

Ronquillo Rojas (2019), es un método eficaz que permite obtener un buen porcentaje de remoción de dureza total; usando electrodos de aluminio se consiguió una remoción de 61.64% y con electrodos de hierro del 55.70%; estas remociones representan una disminución de 2,466 mg CaCO₃.L-1 y 2,215 mg CaCO₃.L-1, respectivamente, en el agua tratada. Se concluye que la eficiencia de remoción de dureza con electrodos de aluminio es 6% mayor a la obtenida con los electrodos de hierro. En relación al trabajo de tesis se encontró que la intensidad de 15 A y 15 minutos se obtuvo una reducción de DQO de 366.50.

Canto Ríos (2018), Pese a que en la remoción de contaminantes se encuentra a la par con la coagulación química, la reducción en los lodos, debido a la reducción de iones, es importante, puesto que el costo de disposición de estos se reduce, impactando de esta manera global el costo total de tratamiento. En relación al trabajo de tesis se encontró que la temperatura no influyo en el proceso de electrocoagulación de la celda utilizada.

Andaluz Delgado (2016), La electrocoagulación es el proceso efectivo para desestabilizar las partículas dispersas en este tipo de agua residual, utilizando una combinación de electrodos de hierro y aluminio (Fe⁺² y Al⁺³) estos iones generados son buenos coagulantes y se hidrolizan cerca del ánodo para formar intermediarios que permitan desestabilizar las materia orgánica e inorgánica presentes. Llegando a la conclusión se determinó el tiempo óptimo de remoción a razón de 5 minutos ya que el caudal es de 0,6 L/min a una intensidad de corriente 40 amperios y un potencial de 12,65 voltios. Se logra con estos datos específicos la clarificación del agua residual acompañada de la disminución de la demanda química de oxígeno. En relación al trabajo de tesis se encontró que PH no influyo en el proceso de electrocoagulación de la celda utilizada.

Pérez Cuásquer (2015), Concluyendo que dichos procesos electroquímicos son tratamientos aplicables para estos efluentes industriales, logrando valores permisibles de descarga de acuerdo a la norma y obteniendo porcentajes de remoción de DQO: 86 % aplicando electrocoagulación, 99% con el proceso 1 de electrofenton y de 93% con el otro.

Monsalve Osorio & Cardona Gómez (2015), Se concluyó que los procesos con los dos ánodos son viables técnicamente, no obstante, el aluminio es más eficiente, logrando resultados superiores en un 66% del tiempo optimo encontrado con la placa de hierro, además de remover 10 puntos porcentuales más de DQO (72%). Sin embargo, el proceso de electrocoagulación empleando el hierro como electrodo, es una buena alternativa si el objetivo es solo la remoción de color. En relación al trabajo de tesis se encontró que PH no influyo en el proceso de electrocoagulación de la celda utilizada.

Rodríguez González (2014), un tiempo de electrólisis de 10 minutos intensidad de corriente de 2 A, es posible remover 95% de sílice presente en agua de purga de torres de enfriamiento a límites de concentraciones de sílice de 7 mg/L Mientras que para un tiempo de electrolisis de 8 minutos con una intensidad de corriente de 3 A, es posible remover hasta el 93.7% de sílice a límites de concentraciones de sílice de 8.9 mg/L. Ajustándose a las especificaciones de calidad de agua para reúso en torres de enfriamiento. Además, se calculó la dosis de coagulante de aluminio de 7.6 mM-Al/L para una intensidad de corriente de 2 A, mientras que 9.1 mM-Al/L se obtuvo para una intensidad de corriente de 3 A. En conclusión, la eficiencia del reactor de electrocoagulación depende en gran medida del área anódica, la transferencia de masa y electrones, intensidad de corriente, así como la naturaleza del agua de purga a tratar. En relación al trabajo de tesis se encontró que la temperatura no influyo en el proceso de electrocoagulación de la celda utilizada.

Paredes Salán (2013), Al caracterizar el agua residual proveniente de las etapas de Lavandería y Tintorería JAV-TEX, los resultados fueron, 1200

mg/L de Demanda Química de Oxígeno, 703 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno, 2 ml/L Sólidos Sedimentales, 224 de Sólidos en suspensión, 244 Unidad Nefelométrica De Turbidez, 0,030 mg/L Fenoles, 1,50 mg/L Tensoactivos, que fueron analizados y tratados con el fin de disminuir la contaminación, porque no cumple con los límites de descarga establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental. En relación al trabajo de tesis se encontró que la temperatura no influyo en el proceso de electrocoagulación de la celda utilizada.

Pérez Alcalá (2012), Los cationes de aluminio son hidrolizados en una forma capaz de agregarse al contaminante que es removido de la solución por sedimentación y/o flotación. En relación al trabajo de tesis se encontró que la intensidad de 15 A y 15 minutos se obtuvo una reducción de DQO de 366.50.

Pinzón Gamboa (2010), Llegando a la conclusión que la electrocoagulación es un método viable técnicamente para eliminación de turbiedad, color y microorganismos en aguas residuales industriales textiles, también se determinó que el método de electrocoagulación remueve, con un 90% de confiabilidad, más del 98% de turbiedad. En relación al trabajo de tesis se encontró que la intensidad de 15 A y 15 minutos se obtuvo una reducción de DQO de 366.50.

4.3. Proceso de Prueba de Hipótesis

En el proceso cuantitativo las hipótesis se someten a prueba o escrutinio empírico para determinar si son apoyadas o refutadas, de acuerdo con lo que el investigador observa (Hernández *et al.*, 2014). La contratación de hipótesis se resume a 5 pasos, y estando en el último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis:

- Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
- Escoger un nivel de significancia α .
- Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.
- Estimación de p-valor (región crítica)
- Toma de decisiones.

Supuestos de la homogeneidad de varianzas.

Para la contraste de hipótesis se realizó las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, siendo los supuestos que debería cumplir los datos para realizar el correcto análisis de varianza.

Tabla 9
Test de normalidad de los parámetros analizados.

Test de Shapiro-wilk	Significancia	P- valor
DQO	0.05	0.3360
Temperatura	0.05	0.0776
PH	0.05	0.7069

La prueba de normalidad se realizó con el estadístico SAS mediante el contraste de Shapiro-Wilk que es adecuado cuando las muestras son pequeñas ($n < 50$). Se observa que todo los p-valores (Sig.) son mayores que el nivel de significación 0.05, por tanto se concluye que los muestras de DQO, temperatura y PH se comporta de manera normal en cada uno de los tipos de tratamientos voltaje (15 y 30 A), y los tiempos (15 y 40 min) por tanto se cumple con el supuesto de normalidad.

Figura 17
Prueba de normalidad de DQO

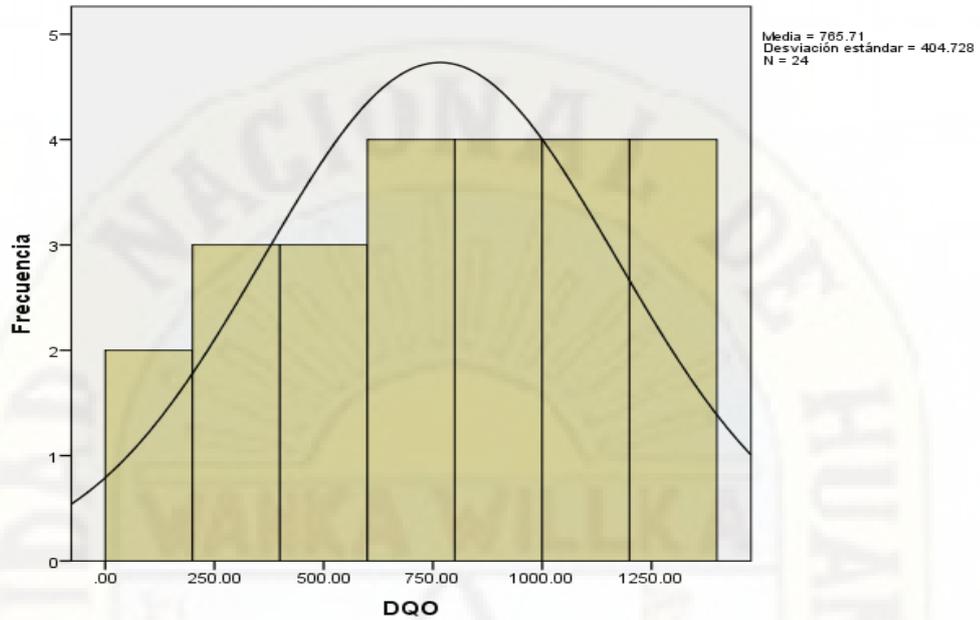


Figura 18
Prueba de normalidad de Temperatura

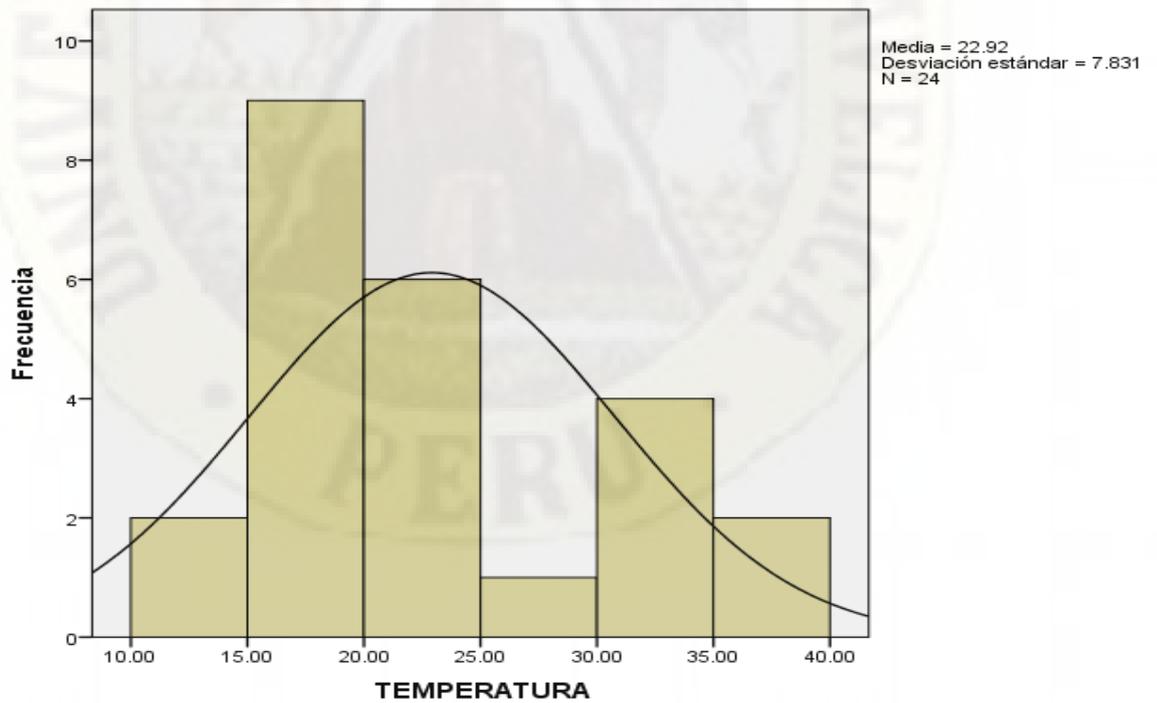
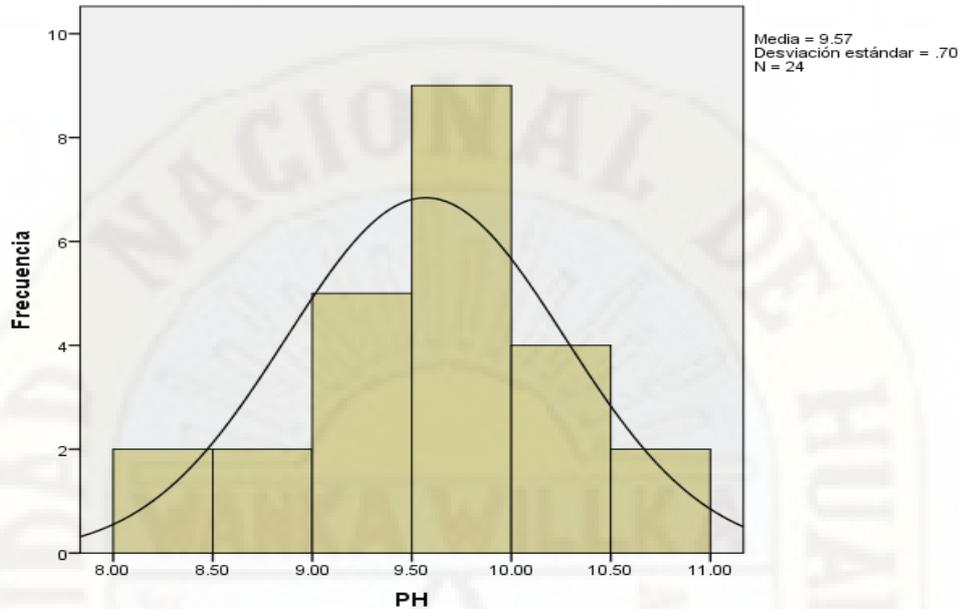


Figura 19

Prueba de normalidad del Potencial de Hidrogeno.



Prueba de homogeneidad

Tabla 10

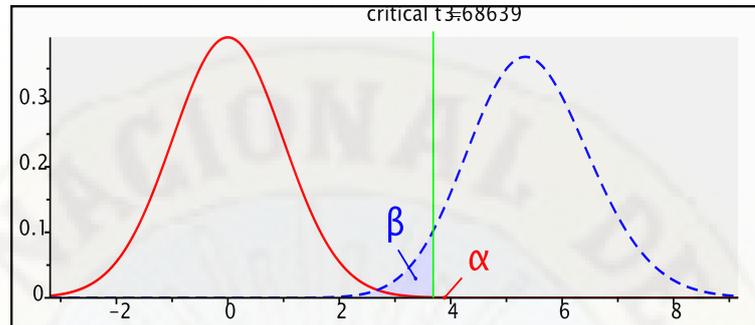
Test de levene para homogeneidad de varianzas.

Test de levene	P-valor
DQO	0.7659
Temperatura	0.0857
PH	0.4590

La prueba de homogeneidad de varianza se realizó mediante el test de levene, para Demanda química de oxígeno (DQO), Temperatura (T), y Potencial de hidrogeno (PH) el p-valor es 0.7659, 0.0857 y 0.4590 por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de homogeneidad de las varianzas y se concluye que los tipos de voltaje y tiempo tienen varianzas homogéneas.

Figura 20

Modelo para el planteamiento de la prueba de Hipótesis



A. Formulación de hipótesis estadísticas.

Hipótesis general

Ha: El método de electrocoagulación influye significativamente en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica.

$$\mu \leq 0.05$$

Ho: El método de electrocoagulación no influye significativamente en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica.

$$\mu \geq 0.05$$

Hipótesis específica para intensidad de corriente en DQO

Ha: La intensidad de corriente y tiempo influye significativamente en la demanda química de oxígeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica.

$$\mu \leq 1000 \text{ mg/l}$$

Ho: La intensidad de corriente y tiempo no influye significativamente en la demanda química de oxígeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica.

$$\mu \geq 1000 \text{ mg/l}$$

Hipótesis específica para intensidad de corriente en temperatura

Ha: La intensidad de corriente y tiempo influye significativamente en la temperatura del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica.

$$\mu \leq 35$$

Ho: La intensidad de corriente y tiempo no influye significativamente en la temperatura del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica.

$$\mu \geq 35$$

Hipótesis específica para intensidad de corriente en PH

Ha: La intensidad de corriente y tiempo influye significativamente en el PH del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica.

$$\mu \leq 9$$

Ho: La intensidad de corriente y tiempo no influye significativamente en el PH del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica.

$$\mu \geq 9$$

B. Nivel de significancia

Se consideró un error de 5 %; es decir $\alpha = 0.05$, y con un nivel de confianza de 95 %, es decir con $1 - \alpha = 0.95$.

C. Estadístico prueba

Se trabajó con el estadístico F de Fisher para el análisis de varianzas ANOVA (Hernández *et al.* , 2014).

D. Estimación de p-valor

Para la prueba de una cola con $\alpha = 0.05$, en la tabla de Fisher tenemos los valores críticos de F, α , V1, V2:

- $F_{\text{tabla}} = F(0.05, 2, 60) = 3.15$
- $F_{\text{cal}} \leq F_{\text{tabla}}$; se acepta la hipótesis nula.
- $F_{\text{cal}} \geq F_{\text{tabla}}$; se rechaza la hipótesis nula.

E. Calculo de los estadígrafos de prueba

Análisis de varianza de los parámetros (DQO, Ph y T) (ANOVA) para método de electrocoagulación influye significativamente en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica, fueron altamente significativo ($P < 0,01$).

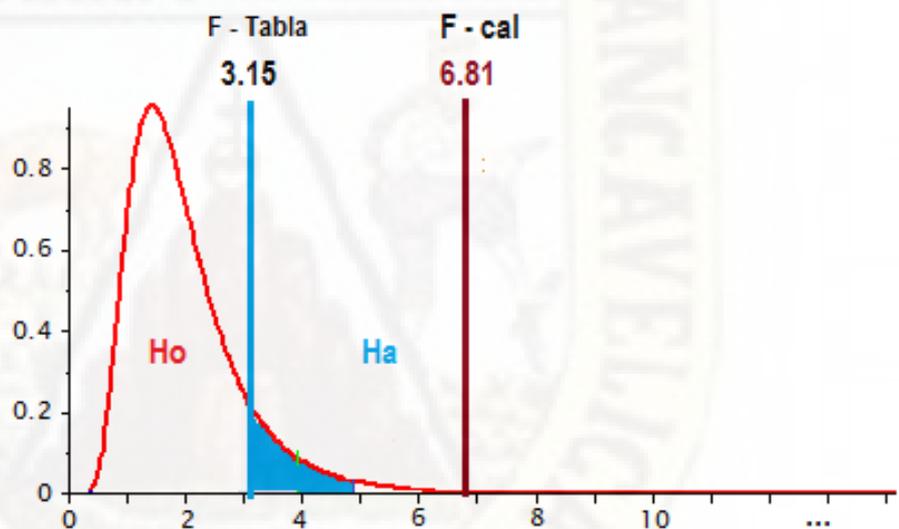
Tabla 11*Análisis de varianza de los parámetros (DQO, Ph y T).*

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	1883985.500	376797.100	6.81	0.0010
Error	18	995245.000	55291.389		

*** Significancia, NS no significancia.

Interpretación:

El valor de F-calculado es 6.81 mayor que F- tabla 3.15

Figura 21*Prueba ANOVA de la hipótesis general.***Tabla 12***Análisis de varianza para Demanda química de oxígeno (DQO).*

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	1883985.500	376797.100	6.81	0.0010
Error	18	995245.000	55291.389		

*** Significancia, NS no significancia.

Interpretación:

El valor de F-calculado es 6.81 mayor que F- tabla 3.15

Figura 22

Prueba ANOVA de la hipótesis específica 1

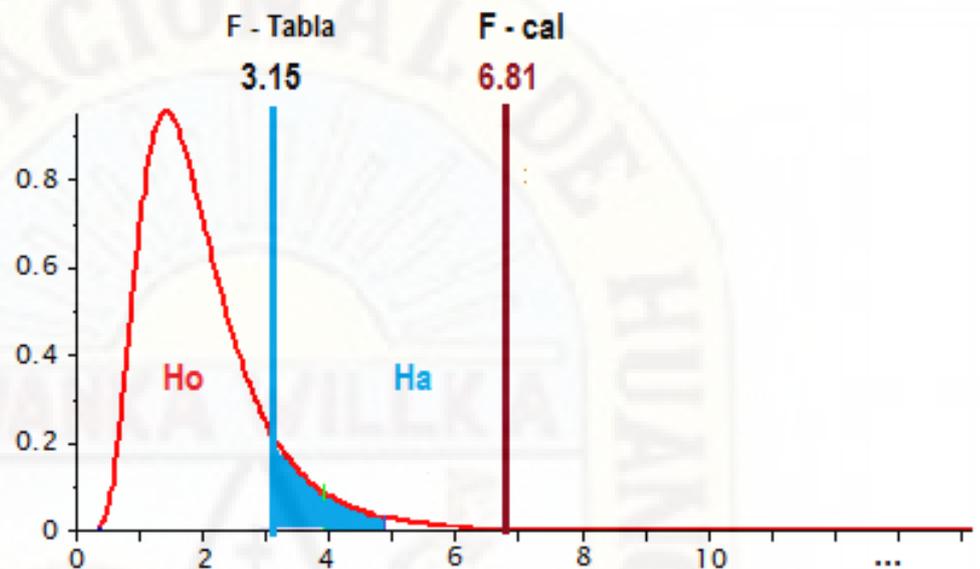


Tabla 13

Análisis de varianza para temperatura (C°).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	528.8941667	105.7788333	1.08	0.1222
Error	6	78.5150000	13.0858333		

*** Significancia, NS no significancia.

Interpretación:

El valor de F-calculado es 1.81 menor que F- tabla 3.15

Figura 23

Prueba ANOVA de la hipótesis específica 2

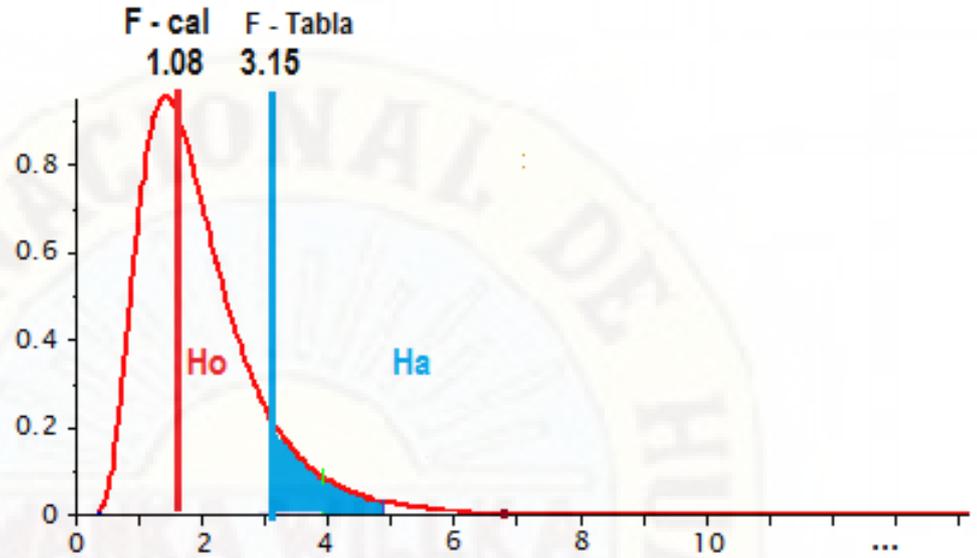


Tabla 14

Análisis de varianza para potencial de hidrogeno (PH).

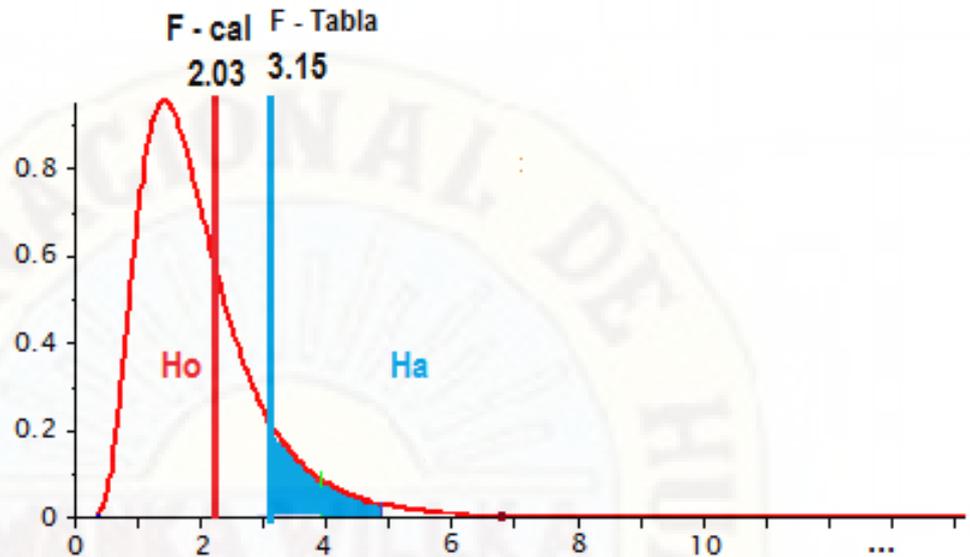
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	1.97276667	0.39455333	2.03	0.0928
Error	6	0.73230000	0.12205000		

*** Significancia, NS no significancia.

Interpretación:

El valor de F-calculado es 3.03 mayor que F- tabla 3.15

Figura 24
Prueba ANOVA de la hipótesis específica 3



F. Toma de decisiones

Objetivo general

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a) debido a que el valor de F-calculado es 6.81 mayor que F- tabla 3.15 representando por la prueba de ANOVA fue significativo, el método de electrocoagulación influye significativamente en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica.

Objetivo específico 1 - DQO

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a) debido a que el valor de F-calculado es 6.81 mayor que F- tabla 3.15 representando por la prueba de ANOVA fue significativo, la intensidad de corriente y tiempo influye significativamente en la demanda química de oxígeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica.

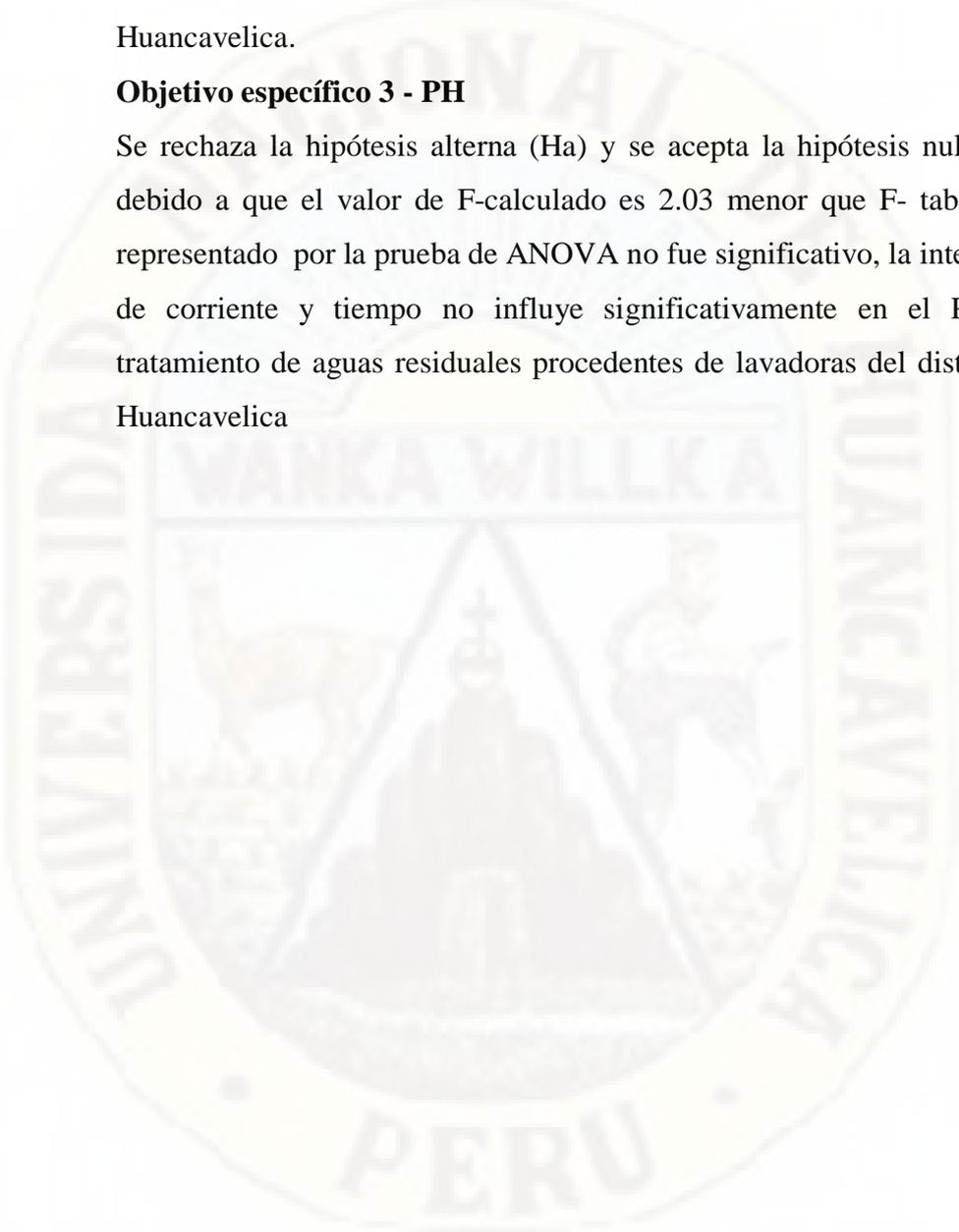
Objetivo específico 2 - Temperatura

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a) debido a que el valor de F-calculado es 1.08 menor que F- tabla 3.15

representando por la prueba de ANOVA no fue significativo, la intensidad de corriente y tiempo no influye significativamente en la temperatura del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica.

Objetivo específico 3 - PH

Se rechaza la hipótesis alterna (H_a) y se acepta la hipótesis nula (H_0) debido a que el valor de F-calculado es 2.03 menor que F- tabla 3.15 representado por la prueba de ANOVA no fue significativo, la intensidad de corriente y tiempo no influye significativamente en el PH del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica



CONCLUSIONES

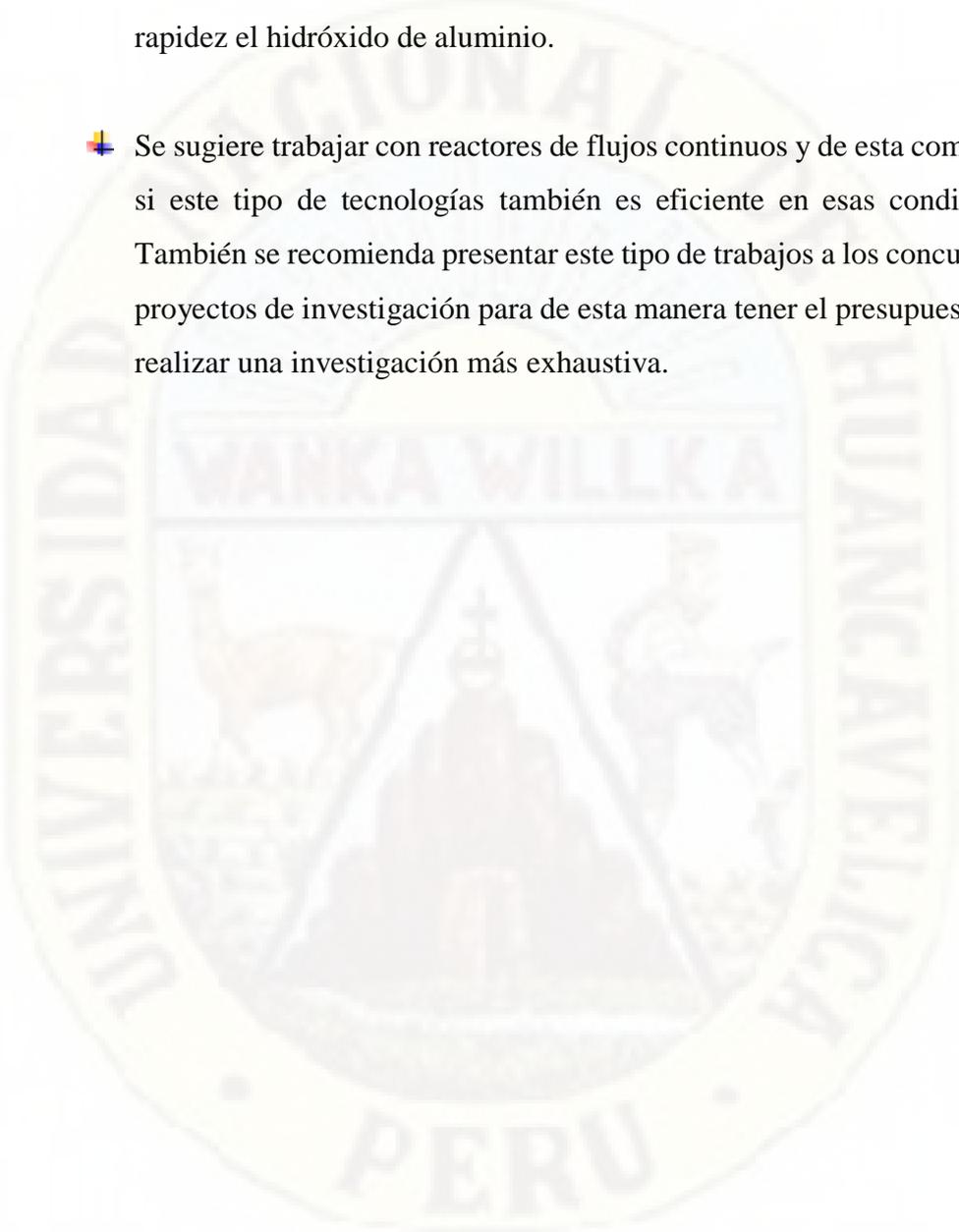
Existe influencia significativa por el método de electrocoagulación para la DQO en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica. Pero para los parámetros ph y temperatura no hubo influencia significativa.

1. El grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en el tratamiento de la demanda química de oxígeno es significativo a un nivel de 0.0010 en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica. Donde se obtuvo un valor inicial de DQO de 1308.00 mg/l y se redujo hasta 366.50 mg/l en la lavandería 1. En la lavandería 2 se obtuvo un valor inicial de DQO de 1333.50 mg/l reduciendo hasta 348.50 mg/l. teniendo óptimos resultados en ambos tratamientos.
2. El grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en el potencial de hidrogeno no es significativo a un nivel de 0.0928 en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica. Teniendo una variación entre 8.47 a 10.55 unidades de Ph en la lavandería 1 y una variación de 9.47 a 10.62 unidades de Ph en la lavandería 2. Obteniendo resultados similares en ambos casos.
3. El grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en la temperatura no es significativo a un nivel de 0.1222 en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica. Acorde a los resultados obtenidos la temperatura varía entre 15.15 °C a 26.45 °C en lavandería 1 y en la lavandería 2 entre 15.65 °C a 34.80°C.

RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda realizar este tipo de tratamientos en otras ciudades y utilizar el método de electrocoagulación como un purificador para cumplir los valores máximos admisibles y así cumplir con la normativa.
- ✚ Para el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de DQO, se recomienda utilizar electrodos de aluminio en el ánodo y en el cátodo, lo cual proporcionara un tratamiento eficiente, ayudando en la conservación de los electrodos que a comparación del Hierro por su alto proceso de oxidación.
- ✚ Ser recomienda trabajar con valores de potencial de hidrogeno ácidos, ya que al utilizar placas de aluminio los valores del potencial de hidrogeno tiende a subir. También se sugiere realizar más estudios de este tipo con diferentes tipos de placas como placas de Hierro, placas de acero inoxidable.
- ✚ Se sugiere trabajar con más parámetros al utilizar el método de electrocoagulación, ya que es una tecnología bastante eficiente y se podría aplicar en tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales.
- ✚ Se recomienda el empleo de diferentes generadores de energía no convencional (panel solar) en lugares donde la energía eléctrica tiene un costo elevado.
- ✚ Se recomienda adicionar un flujo de aire (aireadores mecánicos) a la cámara de electrocoagulación ya que ayudara al sistema a mejorar su eficiencia, lo cual generara mayores burbujas de aire las cuales ayudaran a la suspensión de los floculos contaminantes

- ✚ Se recomienda incorporar vibradores en la cámara de electrocoagulación para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales. De esta manera acelerar el proceso de desestabilización y generar con mayor rapidez el hidróxido de aluminio.
- ✚ Se sugiere trabajar con reactores de flujos continuos y de esta comprobar si este tipo de tecnologías también es eficiente en esas condiciones. También se recomienda presentar este tipo de trabajos a los concursos de proyectos de investigación para de esta manera tener el presupuesto para realizar una investigación más exhaustiva.



REFERENCIAS

- Aguilar Ascon, E. A. (2015). *Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4303>
- Aguilar Coronación, F. de M., & Palian Azabamba, J. M. (2020). *Influencia de la densidad de corriente y del tiempo de residencia en la remoción de fosfatos de una solución sintética por electrocoagulación, utilizando electrodos de aluminio a nivel laboratorio* [Tesis optar el título profesional de ingeniera químico, Universidad Nacional del Centro del Perú].
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/6079>
- Alfaro Rodríguez, C. H. (2017). *Metodología del trabajo universitario aplicado para ingeniería* [Tesis de Maestría – Universidad Nacional del Callao].
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/2201>
- Andaluz Delgado, J. C. (2016). *Reducción de materia orgánica e inorgánica presente en agua residual de agroquímicos mediante técnica electroquímica de oxidación avanzada* [Tesis de Maestría - Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/>
- Apaza Aquino, H. (2018). *Sistema combinado electrocoagulación-filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos* [Tesis de Maestría - Universidad Nacional Agraria La Molina].
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3395>

- Arango Ruíz, Á., Garcés Giraldo, L. F., & Restrepo Mejía, A. P. (2012). *La Electrocoagulación: Retos y oportunidades en el tratamiento de aguas*, 3(9)
<http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/514>
- Camarena Zambrano, H. M. (2014). *Sistema de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales urbanas del anexo de Cajas Chico – La Ribera—Huancayo* [Tesis de pregrado - Universidad Alas Peruanas].
<http://repositorio.uap.edu.pe/handle/uap/1954>
- Campos Muñoz, B. E., Hernández Hernández, C., & Trujillo Acuña, P. B. (2017). *Tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial mediante electrofloculación en la Ciudad de Lima* [Tesis para optar el título profesional de ingeniero Químico – Universidad Nacional del Callao].
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/3569>
- Canto Ríos, J. de J. (2018). *Modelación hidráulica de reactores de electrocoagulación con flujo vertical bifásico* [Tesis de Doctorado - Universidad Nacional Autónoma de México].
<http://www.dgb.unam.mx/index.php/quienes-somos/dudas-y-comentarios>
- Carlos González Taranco, & Olivares, Y. M. (2015). Las Aguas Residuales y Sus Consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer. Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2(18).
<https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>

- Chambi Hanco, Z. (2018). Tratamiento de Aguas Residuales de Lavanderías por el Proceso de Coagulación-floculación y adsorción. [Tesis de Pregrado - Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8347>
- Choque, C., & Daysee, M. (2020). Evaluación de la concentración de cromo, cadmio y plomo en sedimentos superficiales en el río Apurímac de la provincia de Caylloma—Arequipa [Para optar el Título profesional de Licenciado en Biología - Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13739>
- Condori Pantoja, A. M. (2018). *Evaluación de la tratabilidad del efluente generado por un laboratorio metalúrgico aplicando la electrocoagulación* [Para optar el Título profesional de ingeniero Ambiental - Universidad Nacional Agraria La Molina].
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3627>
- Cuba Tello, M. V. (2020). *Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales—Ate Vitarte* [Tesis de Maestría - Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11734>
- Emamjomeh, Mohammad. M., & Sivakumar, Muttucumar. (2009). Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1663-1679.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.011>

- Farfán Chilicaus, G. C. (2019). *Influencia de la densidad de corriente y la concentración de ácido oxálico sobre la remoción de plomo por electroremediación de relave de la empresa minera paredones* [Tesis de Pregrado - Universidad Nacional de Huancavelica].
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2791>
- Gómez Figueroa, M. N. (2019). *Tratamiento de efluentes de lavandería industrial mediante la técnica electroquímica de electrocoagulación* [Tesis de Pregrado - Universidad Nacional de Ingeniería].
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/18570>
- Harari, Y. N. (2018). *21 lecciones para el siglo XXI*. Penguin Random House Grupo Editorial España.
- Hernández Lehmann, P. S. (2011). *Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento y depuración de las aguas mediante electrocoagulación* [Tesis Doctoral - Universidad Politécnica de Madrid].
<http://oa.upm.es/7755/>
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología De La Investigacion* (Edición: 6). McGraw Hill.
- Indigoyen Ramirez, D. (2019). *Remoción de materia orgánica de aguas residuales de la industria láctea por el método de electrocoagulación, utilizando energía eólica* [Tesis Doctoral - Universidad Nacional del Centro del Perú].
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5293>
- M. Yousuf A. Mollah, R. (2001). Electrocoagulation (EC)—Science and applications. *23 de diciembre de 2001*, 84, 29-41.

- Mantari Llacuachaqui, C. J., & Maravi Gavino, J. R. (2020). *Influencia del voltaje y del tiempo de residencia en la desnitrificación de aguas residuales por electrocoagulación, utilizando electrodos de aluminio* [Tesis de Pregrado - Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5998>
- Martínez Navarro, F. (2007). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional* [Tesis Doctoral - Universidad de Castilla la Mancha]. <http://hdl.handle.net/10578/984>
- Mejía, A. P. R., Ruiz, Á. A., & Giraldo, L. F. G. (2006). La Electrocoagulación: Retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Electrocoagulation: Challenges and opportunities in water treatment.*, 1(2), 58-77.
- Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2019). *Ingeniería ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño*. Alfaomega Grupo Editor.
- Milla Figueroa, Americo Carlos. (2019). *Equipo de electrocoagulación con electrodos móviles para el tratamiento de aguas de pozo* [Tesis de Maestría - Universidad Nacional Federico Villarreal]. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3367>
- Mollah, M. Y., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC)—Science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), 29-41. [https://doi.org/10.1016/s0304-3894\(01\)00176-5](https://doi.org/10.1016/s0304-3894(01)00176-5)
- Monsalve Osorio, J. A., & Cardona Gómez, S. (2015). Electrocoagulación para reúso de aguas residuales del proceso de impresión en la industria papelera

[Tesis de Pregrado - Universidad Pontificia Bolivariana].
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/2286>

Moussa, D. T., El-Naas, M. H., Nasser, M., & Al-Marri, M. J. (2017). A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. *Journal of Environmental Management*, 186, 24-41.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.032>

Paredes Salán, M. C. (2013). *Diseño de la planta de tratamiento para aguas residuales de la lavandería y tintorería Jav—Tex del Cantón Pelileo* [Tesis de Pregrado - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2697>

Pérez Alcalá, E. (2012a). *Revisión bibliográfica del método de electrocoagulación en el tratamiento fisicoquímico de aguas residuales* [Tesis de Licenciatura - Universidad Nacional Autónoma de México].
<http://132.248.9.195/ptd2012/octubre/0685181/0685181.pdf>

Perez Bendezu, L. S. (2018). *Uso de la electrocoagulación para reducir la carga de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales Ajeper-Huachipa 2017 II* [Tesis de Licenciatura - Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/24612>

Pérez Cuásquer, G. J. (2015). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE PROCESOS ELECTROQUÍMICOS*.
110.

Pinzón Gamboa, E. E. P. (2010). *PROPUESTA TÉCNICA A ESCALA PILOTO PARA LA REMOCIÓN DE COLOR DE ORIGEN TEXTIL, POR MEDIO*

DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA FAVORECER EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS. 142.

Piña-Soberanis, M., Martín-Domínguez, A., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Guevara-Lara, A., & García-Espinoza, J. E. (2011). Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Revista mexicana de ingeniería química, 10(2), 257-271.*

Poma Javier, J. R., & Quispe Sanca, P. A. (2016). *REMOCION DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES URBANAS POR EL METODO DE ELECTROCOAGULACION. 125.*

Riccio Yauri, L. F. (2010). *Remoción de aceites y grasas de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por electrocoagulación, a nivel de laboratorio.* <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7727>

Rodríguez González, J. (2014). *Evaluación de reactores de electrocoagulación para el tratamiento de agua de purga de torres de enfriamiento.* Universidad Nacional Autónoma de México.

Ryder, G. (2017, París). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: El recurso no explotado—UNESCO* Biblioteca Digital. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>

Sánchez Carpio, R. A. (2015). *Propuesta de aplicación de tecnologías limpias para el reuso del agua residual industrial en una empresa de fabricación de*

vidrios de seguridad [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)].

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/577241>

Soncco Quispe, M. D. (2017). Proceso de electrocoagulación para la disminución de contaminantes de los efluentes de la empresa textil, Chorrillos—2017.

Universidad César Vallejo.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/16634>

Tam Malaga, J. L. (2008). *Tipos, Métodos y Estrategias de Investigación*. Scribd.

<https://es.scribd.com/doc/72501771/Adj-Modela-Pa-5-145-Tam-2008->

Investig

Tello, M. V. C., Meneses, P. A., & Ortíz, M. P. (2019). Tratamiento de agua residual

procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la

reutilización en riego de vegetales – Ate Vitarte. *Revista del Instituto de*

Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica

y Geográfica, 22(44), 65-74. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v1i1.17287>

Trapote Jaume, A. (2013). *Depuración de aguas residuales urbanas*.

[http://publicaciones.ua.es/es/catalogo/depuracion-de-aguas-residuales-](http://publicaciones.ua.es/es/catalogo/depuracion-de-aguas-residuales-urbanas/978-84-9717-172-4)

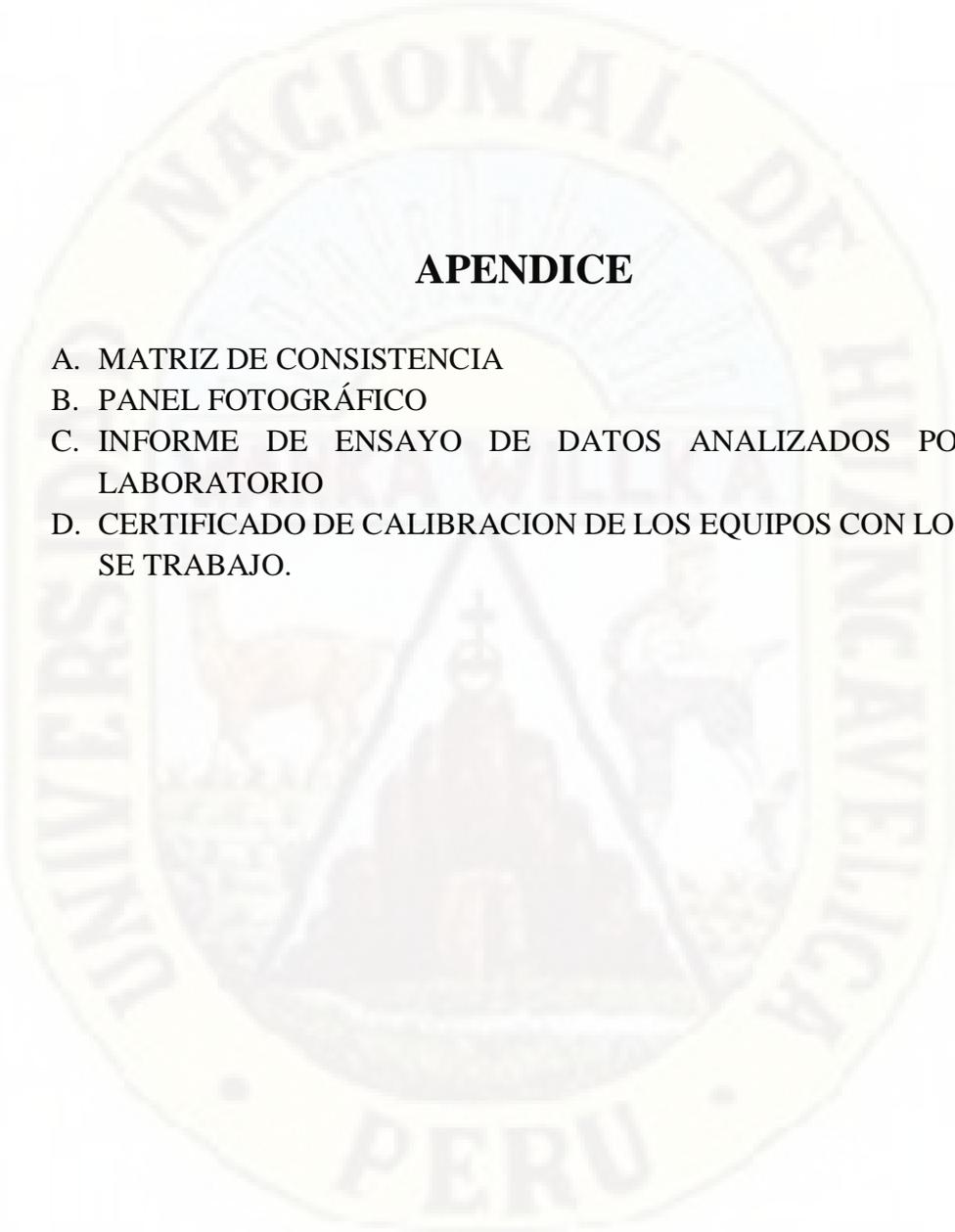
[urbanas/978-84-9717-172-4](http://publicaciones.ua.es/es/catalogo/depuracion-de-aguas-residuales-urbanas/978-84-9717-172-4)

Velásquez Flores, D. J. (2017). *Aplicación del método de electrocoagulación al*

efluente de la Planta Piloto de Leche «La Molina» [Universidad Nacional

Agraria La Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3106>



APENDICE

- A. MATRIZ DE CONSISTENCIA
- B. PANEL FOTOGRÁFICO
- C. INFORME DE ENSAYO DE DATOS ANALIZADOS POR EL LABORATORIO
- D. CERTIFICADO DE CALIBRACION DE LOS EQUIPOS CON LOS QUE SE TRABAJO.

ANEXO 01 - MATRIZ DE CONSISTENCIA

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LAVADORAS POR EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN LA CIUDAD DE HUANCAMELICA

	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODO			
GENERAL	¿Cuál es el grado de influencia del método de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica?	Evaluar el grado de influencia del método de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica.	El método de electrocoagulación influye significativamente en el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras en la ciudad de Huancavelica.	Variable Dependiente (causa): Tratamiento de aguas residuales Indicadores Parámetros fisicoquímicos	Tipo: Experimental Nivel: Aplicativo Diseño: <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"><tr><td style="text-align: center;">01</td><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">02</td></tr></table> Diseño pretest postest con un solo grupo. (Sánchez, 2018)	01	X	02
01	X	02						
ESPECIFICOS	¿Cuál es el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en la demanda química de oxígeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica?	Estimar el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en la demanda química de oxígeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica.	La intensidad de corriente y tiempo influye significativamente en la demanda química de oxígeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica.	- Demanda química de oxígeno (DQO). - Potencial de Hidrogeno (Ph) - Temperatura (T) Variable Independiente (efecto): Método de electrocoagulación	Donde: X: Presencia de variable independiente o experimental (método de electrocoagulación) O ₁ : Pretest (DQO, Ph, T) O ₂ : Postest (DQO, Ph, T) Significancia: Al 95% Técnica: Observación Experimental Población: Agua residual de las empresas de lavanderías ASOCIACION TAKSANA WASI y RAYSA NALINY QUISPALAYA ENRIQUEZ. Muestra: 24 Litros de Agua residual por cada lavandería.			
ESPECIFICOS	¿Cuál es el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en el potencial de hidrogeno del tratamiento de aguas residuales	Estimar el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en el potencial de hidrogeno del tratamiento de aguas residuales procedentes de	La intensidad de corriente y tiempo influye significativamente en el PH del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras					

procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica?

lavadoras de la ciudad de Huancavelica.

del distrito de Huancavelica.

Indicadores

Método: Muestreo no probabilístico (no aleatoria) de tipo intencional (se basa en la selección de casos que serán más convenientes para el propósito del estudio).

¿Cuál es el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en la temperatura del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica?

Estimar el grado de influencia de la intensidad de corriente y tiempo en la temperatura del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras de la ciudad de Huancavelica.

La intensidad de corriente y tiempo influye significativamente en la temperatura del tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras del distrito de Huancavelica.

Tiempo de retención (min)

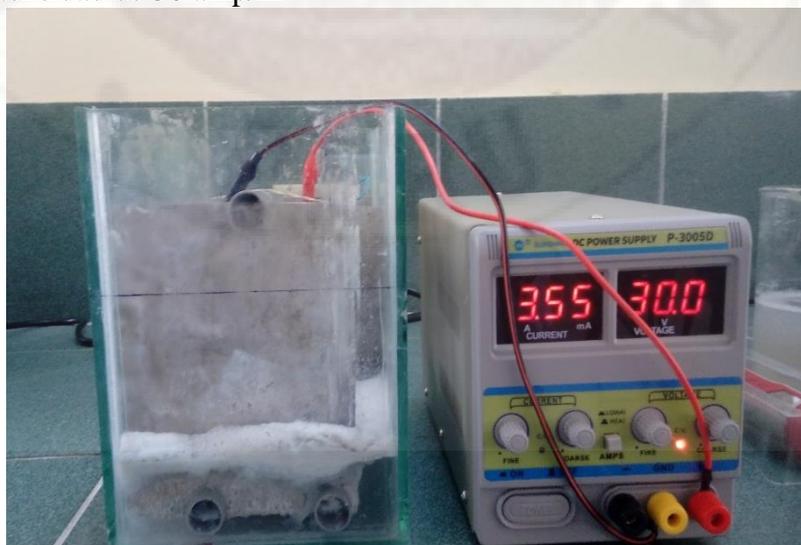
Intensidad de corriente eléctrica (Amperios)

ANEXO 02 – PANEL FOTOGRAFICO

- Medición de parámetros antes de realizar el tratamiento por el método de electrocoagulación



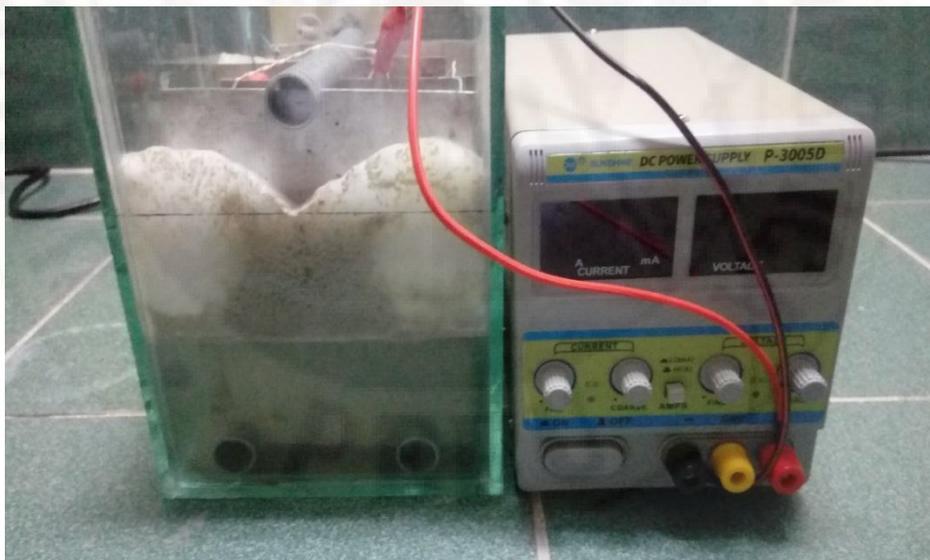
- Se observa la cámara de electrocoagulación trabajando a una intensidad de 30 amp/m²



- Formación de lodos durante el tratamiento con el método de electrocoagulación (vista de planta).



- Formación de lodos durante el tratamiento con el método de electrocoagulación (vista de perfil).



- En la imagen se observa el agua residual de la lavandería 1 y los cambios después de realizar el tratamiento.



- En la imagen se observa el agua residual de la lavandería 2 y los cambios después de realizar el tratamiento.



- Viales adquiridos para el cálculo del DQO.



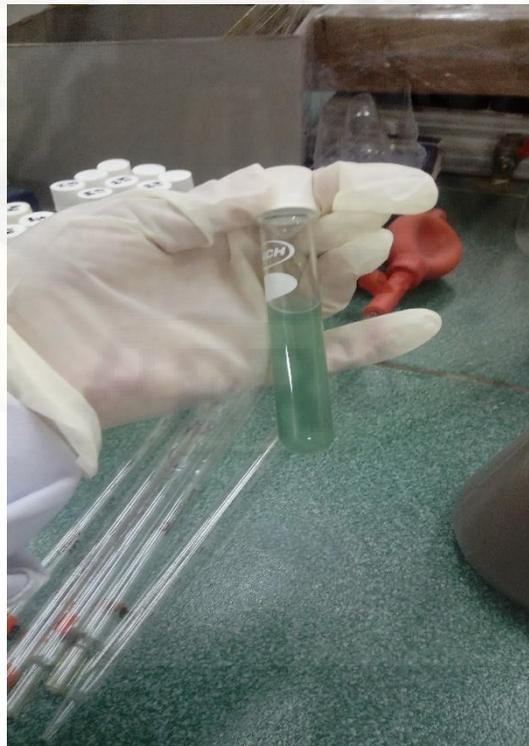
- Extracción de muestras con una pipeta de goma 1.5 ml para su posterior análisis.



- Dilución de muestras en los viales.



- Mezcla de muestras con los viales.



- Lectura del DQO del agua residual.

