

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO



T E S I S

Depuración de aguas residuales urbanas por el método de Electrocoagulación del colector San Juan – Cerro de Pasco

Para optar el grado académico de Maestro en:

Ingeniería Química

Autor:

Bach. Mónica Mercedes LIMAYMANTA MARCOS

Asesor:

Mg. Julio Antonio ASTO LIÑAN

Cerro de Pasco – Perú - 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO



T E S I S

**Depuración de aguas residuales urbanas por el método de
Electrocoagulación del colector San Juan – Cerro de Pasco**

Dr. Luis Rolando MURGA PAULINO

PRESIDENTE

Mg. Wenceslao Julio LEDESMA VELITA

MIEMBRO

Mg. Jonás Ananias RAMOS MARTINEZ

MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Escuela de Posgrado
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 0221-2022- DI-EPG-UNDAC

La Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:
Mónica Mercedes LIMAYMANTA MARCOS

Escuela de Posgrado:
MAESTRÍA EN INGENIERÍA QUÍMICA

Tipo de trabajo:
Tesis

TÍTULO DEL TRABAJO:
“DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS POR EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL COLECTOR SAN JUAN – CERRO DE PASCO”

ASESOR (A): Mg. Julio Antonio ASTO LIÑAN

Índice de Similitud:
27%

Calificativo
APROBADO

* Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 08 de noviembre del 2022



Dr. José Rovino ALVAREZ LOPEZ
Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado
UNDAC
Pasco - Perú

DEDICATORIA

Agradezco primeramente a Dios, a mis padres por todo su amor, a mis amados hijos Ana Beatriz, Eddie Rusbel, Shirley Mónica, Edward Edison y Stefany Mercedes por su comprensión y apoyo.

Sobre todo, a ese ser de luz que hace que mis días sean maravillosos, con su amplia sonrisa, con esos ojos verdes, tan verdes como las hojas de las rosas de mi florero. Gracias por ser mi cómplice mi confidente, mi amigo, por ayudarme a crecer, sí te lo dedico a ti mi esposo Edison Zavalla Nación.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Andrés Rojas Quinto Docente de la UNCP por brindarme sus ambientes para realizar las pruebas correspondientes de mi trabajo de investigación.

A mi asesor de tesis, Mg Julio Asto Liñan por su exigencia a mis hermanos por todos los consejos brindados y a todos mis amigos y Maestros.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo depurar las aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación del colector San Juan –la problemática actual de los distritos de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar) se observó que dichos distritos no cuentan con una planta para el tratamiento de aguas residuales, siendo indispensable para un mayor control de las diversas actividades que desempeña el poblador pasqueño y que termina en el desagüe. Como consecuencia del vertido sin tratamiento de las aguas residuales producto de la actividad humana y minera esencialmente al río San Juan, va variando su aspecto en su calidad, afectando a los organismos acuáticos y posteriormente la eliminación de las especies que se encuentran en el gran Lago Chinchaycocha. Se evaluó la influencia del tiempo de residencia óptimo de entre muestras del colector de aguas residuales de San Juan la densidad de corriente aplicada, el voltaje óptimo y la separación entre electrodos sobre la reducción de contaminantes orgánicos e inorgánicos de las muestras en estudio a través del método de electrocoagulación, donde se han utilizado cátodos de hierro y ánodos de aluminio, para un reactor de electrocoagulación. Se realizaron 8 pruebas experimentales; manteniendo constante las áreas de electrodos, pH. Luego de haber obtenido los resultados se ha determinado la influencia significativa del porcentaje de reducción de contaminantes, mediante el incremento del tiempo de residencia como la densidad de corriente aplicada, en las muestras estudiadas. Los resultados de la investigación que se presentan en el trabajo de investigación, son las que se han obtenido en el experimento del reactor piloto. Asimismo, se han evaluado el comportamiento e influencia en el proceso de las variables: la distancia entre los electrodos de 2 cm, el voltaje 2,5 v, el tiempo de residencia 12 min, la temperatura entre otros, el DQO disminuye de 3000 a 900 mg/L, el DBO5 disminuyo de 1900 a 500 mg/L. pH de 13 a 9,5, aceites y grasas de 1230 a 150 mg/L

Palabras clave: Depuración, aguas residuales urbanas, electrocoagulación, contaminación hídrica.

ABSTRACT

The objective of this research work is to purify urban wastewater by the electrocoagulation method of the San Juan – Cerro de Pasco collector. It arises from the current problems of the districts of Pasco (Chaupimarca, Yanacancha and Simón Bolívar). It was observed that these districts do not have a plant for the treatment of wastewater, being essential for greater control of the various activities carried out by the Pasqueño resident and that ends up in the drain. As a consequence of the untreated discharge of wastewater resulting from human and mining activity essentially into the San Juan River, its appearance and quality changes, affecting aquatic organisms and subsequently the elimination of the species found in the great Lake. Chinchaycocha.

The influence of the optimal residence time between samples from the San Juan wastewater collector, the applied current density, the optimal voltage and the separation between electrodes on the reduction of organic and inorganic contaminants of the samples under study was evaluated through the electrocoagulation method, where iron cathodes and aluminum anodes have been used, for an

electrocoagulation reactor. 8 experimental tests were carried out; keeping the electrode areas, pH constant. After having obtained the results, the significant influence of the percentage of contaminant reduction has been determined, by increasing the residence time and the applied current density, in the studied samples. The research results presented in the research work are those obtained in the pilot reactor experiment. Likewise, the behavior and influence on the process of the variables have been evaluated: the distance between the electrodes of 2 cm, the voltage 2.5 v, the residence time 12 min, the temperature among others, the COD decreases from 3000 to 900 mg/L, BOD5 decreased from 1900 to 500 mg/L. pH from 13 to 9.5, oils and fats from 1230 to 150 mg/L

Keywords: Sewage, urban wastewater, electrocoagulation, water pollution

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista tecnológico, se asume que el proceso de la electrocoagulación aplica principios de la coagulación–floculación usando el reactor electrolítico, el cual es un recipiente activado mediante una fuente de energía eléctrica y varios electrodos. (Morales & Acosta 2010). Estos electrodos se encargan de aportar iones para la desestabilización de partículas coloidales las cuales van a reemplazar funciones de los compuestos químicos usados en el tratamiento convencional. En el desarrollo del trabajo de investigación se ha utilizado el método de la electrocoagulación para remover los contaminantes de las aguas residuales del colector San Juan de Cerro de Pasco, donde se ha evaluado las características del agua en estudio antes y después de cada tratamiento, comparando los valores obtenidos después de haber realizado el proceso de electrocoagulación. El uso de la técnica de electrocoagulación se manifiesta como una alternativa para realizar el tratamiento de aguas residuales, pero se debe tener en cuenta que totalmente no se han de sustituir los procedimientos químicos y biológicos aplicados desde tiempos muy lejanos.

La Electrocoagulación es un método electroquímico de tratamiento de agua contaminada donde los ánodos de sacrificio se corroen para liberar coagulantes activos precursores (generalmente de aluminio o cationes de hierro) en la solución. (Morales & Acosta 2010). Acompañan a las reacciones electrolíticas producciones de gas (por lo general en forma de burbujas de hidrógeno) en el cátodo. El proceso se realizó en una celda dotada de una fuente de corriente y varios electrodos encargados de aportar los iones desestabilizadores de partículas coloidales, reemplazando funciones de los compuestos químicos las que fueron manejados en el tratamiento convencional.

Por otra parte, dentro de un proceso electroquímico, los metales donde se aplica una diferencia de potencial, aportan los electrodos, a la vez ocasionan el

reacomodamiento de las cargas provocando la aglomeración de las partículas para luego sedimentarse. Para tal efecto el objetivo de la investigación estuvo destinado a depurar los compuestos orgánicos e inorgánicos utilizando

el proceso de la electrocoagulación. **VIII** Los resultados de la investigación que se presentan en el trabajo de investigación, pertenecen a los resultados que se han obtenido en el experimento del reactor piloto de 1 litro. Asimismo, se han evaluado el comportamiento e influencia en el proceso de las variables: el tipo de electrodo, la distancia entre ellos, el voltaje y la energía eléctrica, el tiempo, la temperatura entre otros.

El empleo de la electricidad en las aplicaciones electroquímicas, está basado en el uso de tecnologías limpias y renovables contribuyendo con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: energías asequibles y no contaminantes a través del crecimiento de las energías renovables, la mejora en la eficiencia energética, entre otras.

Este efecto estimuló en nuestro empeño para llevar adelante esta investigación para la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos de aguas residuales por electrocoagulación, usando para tal efecto un reactor electroquímico con electrodos de aluminio y fierro.

Esperando que este trabajo de investigación sirva para fortalecer el campo de la electrocoagulación y depuración de contaminantes en aguas residuales y sirva para posteriores trabajos de investigación como referencias para avanzar en estudios sobre este tema.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación Delimitación espacial.....	5
1.3.	Formulación del problema.....	5
1.3.1.	Problema general	5
1.3.2.	Problemas específicos.....	6
1.4.	Formulación de objetivos	6
1.4.1.	Objetivo general.....	6
1.4.2.	Objetivos específicos	6
1.5.	Justificación de la investigación	7
1.6.	Limitaciones de la investigación	8

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	10
2.1.1.	A nivel Internacional.....	11
2.1.2.	A nivel Nacional	14

2.1.3.	A nivel local	15
2.2.	Bases teóricas – científicas	17
2.2.1.	La electrocoagulación	17
2.2.2.	Fases de la electrocoagulación.....	19
2.2.3.	Componentes de la electrocoagulación.....	20
2.2.4.	Fuente de energía de corriente continua	21
2.2.5.	El proceso de electrocoagulación	21
2.2.6.	Electrólisis	22
2.2.7.	Reacciones en los ánodos y cátodos	23
2.2.8.	Formación del hidróxido férrico.	25
2.2.9.	Tratamientos generados por la electrocoagulación.....	26
2.2.10.	Procesos electroquímicos.....	27
2.2.11.	Celdas electroquímicas	28
2.2.12.	Factores que afectan la electrocoagulación	29
2.2.13.	Aguas residuales	32
2.2.14.	Contaminación de cuerpos de agua	33
2.3.	Definición de términos básicos.....	34
2.4.	Formulación de hipótesis.....	36
2.4.1.	Hipótesis general.....	36
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	36
2.5.	Identificación de variables.....	37
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	38

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de Investigación.....	40
3.2.	Nivel de investigación	40
3.3.	Métodos de investigación	41
3.4.	Diseño de investigación Diseño Factorial	41
3.5.	Población y muestra.....	43
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	45
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	46
3.9.	Tratamiento estadístico	46
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica.....	47

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	48
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	57
4.3.	Prueba de la Hipótesis	61
4.4.	Discusiones de resultados	62

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ANEXOS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Uno de los mayores impactos a las fuentes hídricas es el crecimiento demográfico, En el Perú, la generación de aguas residuales es de cantidades importantes y muy pocas entidades realizan el tratamiento de aguas residuales. Tal es el caso de Pasco; agravando el impacto a fuentes naturales y el incremento de enfermedades infecciosas. Tenemos una realidad muy alarmante con lo que respecta a la gestión de aguas residuales. En el

Perú se ha reportado que los 14'083,000 habitantes generan aguas residuales en una cantidad alarmante de 2'293,000 m³ /día. Solo se cuentan con 7 plantas para el tratamiento de aguas residuales provenientes del uso doméstico- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Cabe mencionar que solo 164 localidades, de una cantidad total de 253 administradas por Empresas Prestadoras de Servicios de

Saneamiento (EPS), realizan el tratamiento de aguas residuales. (Cabrera et al., 2022, p. 2).

Actualmente en los distritos de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar) no cuentan con Plantas para el tratamiento de aguas residuales, generando como consecuencia la contaminación del río San Juan, además por el vertimiento de aguas residuales domésticas y mineras. Este impacto negativo al medio acuático afecta principalmente a la fauna circundante y posteriormente al Lago Chinchaycocha sirviéndose de unas de las pocas fuentes de agua que abastece a los pobladores de la zona, generando daños a la salud.

Los principales riesgos ambientales identificados en las grandes ciudades están relacionados con la polución del aire provenientes por desechos industriales y de los vehículos, aumento inconmensurable de depósitos de residuos sólidos peligrosos, la contaminación de los recursos hídricos por efecto de los depósitos de elementos tóxicos generadas por las industrias, laminería y los desagües. También es muy preocupante el uso indebido de las sustancias químicas o radioactivas dispersadas al medio ambiente, y otros problemas sociales como los accidentes de tránsito, la violencia, la drogadicción y el tabaquismo. Las poblaciones urbanas marginales o rurales que vienen siendo afectadas por el cambio climático, tienen insuficiente acceso al agua potable, depósitos y alcantarillados para la eliminación inadecuada de residuos sólidos y excretas respectivamente, la preocupante contaminación de los alimentos con agroquímicos, viviendas inadecuadas. renovable limitado que da soporte a la vida vegetal, animal y del hombre. La importancia de la alarmante contaminación del recurso hídrico radica en la influencia directa de la salud del hombre, de la flora y fauna y va alterando los ecosistemas mundiales, por lo que se requiere del diseño y uso de políticas públicas gubernamentales, garantizando el cuidado y la calidad del agua como patrimonio de la humanidad (Baquerizo et al., 2019, p. 1)

Esta situación es un caldo de cultivo que contribuyen tanto al desarrollo de las enfermedades como a desnutrición crónica. Por otro lado, el cambio climático también es una de las grandes amenazas que puede ocasionar el empeoramiento de estos enormes problemas pues es importante tener en consideración la propagación de la malaria y el dengue como enfermedades tropicales y el deterioro en la productividad de los cultivos. (Naciones Unidas & Programa para el Desarrollo, 2011, p. 19). Esta entidad internacional, utilizando simulaciones han pronosticado que para el año 2050, el IDH estaría debajo del 8% respecto al nivel referencial; 12% en Asia Meridional y África

Subsahariana, ingresando a un escenario de “desafío medioambiental” donde debemos enfrentar a la adversidad de los efectos del calentamiento global en la producción agrícola, por cuanto el acceso al agua potable y al saneamiento mejorado y la contaminación será muy difícil de lograr obtenerla. Asimismo, dentro de un marco hipotético de “desastre ambiental” se ha de generar la degradación acelerada de los suelos, la deforestación agresiva y por ende la drástica reducción de la biodiversidad, con un consiguiente aumento insospechado catastróficos de fenómenos climáticos. Para esa situación el IDH mundial podría llegar en promedio de 15% por debajo del nivel de referencia proyectada. (p.15)

Rengifo et al., (2007) pese haber desarrollado un trabajo de investigación de hace mucho tiempo, hoy en día las cifras no han cambiado en su totalidad. Veamos la publicación realizada en: Aproximación diagnóstica y propuesta de políticas generales en materia de salud ambiental. investigaciones breves, se refiere a la contaminación hídrica:

Alrededor de 1.500 centros poblados colindantes a los ríos de las tres vertientes descargan sus aguas negras en los cursos de agua, contaminándolas en

mayor o menor grado. Los cálculos estiman que 86% de los vertimientos domésticos no reciben ningún tipo de tratamiento. Las cargas domésticas que contaminan el mar peruano alcanzan los 20 millones de metros cúbicos al año. En la sierra se han monitoreado siete ríos contaminados. Los casos más dramáticos son los ríos de las cuencas del Mantaro, Santa, Huallaga y Hualgayoc, así como el lago de Junín y el del Titicaca. La cantidad de heces recolectadas por la red de alcantarillado que se vierten directamente a los cursos del agua en el caso de Lima es de 1.300 toneladas al día, esta cantidad de excretas humanas, junto con las aguas servidas de los establecimientos hospitalarios y los industriales, se vierten al borde del mar, contaminando el litoral. (p. 14).

En la actualidad los distritos de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar) no tiene una planta para el tratamiento de aguas residuales siendo indispensable para un mayor control de las aguas residuales de las diversas actividades que desempeña el poblado pasqueño y que termina en el desagüe. Como consecuencia del vertido sin tratamiento de las aguas residuales producto de la actividad humana y minera esencialmente al río San Juan, va variando su aspecto en su calidad, afectando a los organismos acuáticos y posteriormente la eliminación de las especies que se encuentran en el gran Lago Chinchaycocha. Los poblados que se encuentran aledañas a las empresas mineras, no cuentan con una planta de oxidación para el tratamiento de las aguas servidas, evacuándose a la quebrada de Quiulacocha dejando a su paso la contaminación de los suelos, aguas superficiales, aguas subterráneas.

Los residuos no son tratados como materia orgánica y como sólidos inorgánicos. No se cuenta con drenes calcáreos para que las soluciones ácidas sean convertidas en sustancias alcalinas, para menguar sustancialmente la

contaminación de las aguas del río San Juan. De ahí que los pobladores de las comunidades adyacentes lamentablemente utilizan estas aguas en su vida cotidiana, la cual genera un fuerte impacto en la salud e las personas con la consiguiente ingestión de elementos patógenos para el organismo humano y de todos los animales que habitan en esa zona. (Paz Valenzuela, 2016, p. 11).

Realizado el diagnóstico pertinente, hemos formulado la pregunta que guía del presente estudio:

1.2. Delimitación de la investigación Delimitación espacial

La investigación se ha desarrollado en el colector de San Juan de la ciudad de Cerro de Pasco Carrión, ubicado en el distrito de Simón Bolívar de la Provincia de Pasco, región Pasco.

1.2.1. Delimitación temporal

La investigación se ha desarrollado en el año 2018, por un periodo de seis meses.

1.2.2. Delimitación Social

La investigación ha considerado a los pobladores de la Ciudad del Cerro de Pasco, y a los pobladores que se encuentran habitando aledañas al afluente del Río San Juan.

1.2.3. Delimitación Ambiental

El aspecto ambiental es uno de los aspectos muy importantes para proteger la flora y fauna del Río San Juan y por ende a los del Lago Chinchaycocha.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera la aplicación del método de electrocoagulación influye en la depuración de las aguas residuales del colector San Juan – Cerro de Pasco?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles serán los componentes fisicoquímicos y biológicos procedentes de las aguas residuales urbanas en el colector de San Juan Cerro de Pasco?
- b. ¿Cuál será el voltaje de corriente eléctrica óptima para el proceso de electrocoagulación en el colector de San Juan – Cerro de Pasco?
- c. ¿Cuál será el tiempo medio de residencia del proceso de electrocoagulación en el colector de San Juan – Cerro de Pasco?
- d. ¿Cuál será la eficacia del método de electrocoagulación en la depuración de aguas residuales en el colector de San Juan – Cerro de Pasco?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia del método de la electrocoagulación en la depuración de las aguas residuales del colector San Juan – Cerro de Pasco

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Caracterizar las aguas residuales urbanas en el colector de San Juan- Cerro de Pasco en sus componentes fisicoquímicos y biológicos.
- b. Determinar el voltaje de corriente eléctrica óptima para el proceso de electrocoagulación en el colector de San Juan – Cerro de Pasco.
- c. Estimar el tiempo medio de residencia del proceso de electrocoagulación en el colector de San Juan –Cerro de Pasco.

- d. Determinar la eficacia del método de electrocoagulación en la depuración de aguas residuales en el colector de San Juan – Cerro de Pasco.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación metodológica

El trabajo de investigación ha determinado los parámetros operativos como el tiempo de residencia del efluente, voltaje de corriente eléctrica y la distancia de separación entre electrodos, que contribuyeron a la reducción de la concentración de contaminantes en las muestras estudiada, mediante el método de electrocoagulación.

1.5.2. Justificación práctica

Ante la necesidad de utilizar el método de electrocoagulación, para la desestabilización de contaminantes que se hallan en forma de partículas dispersas en el agua residual, se ha de lograr niveles permisibles de acuerdo a la normatividad del recurso hídrico. De la misma manera, disminuir el precio del método del tratamiento del agua residual y que siga su cauce como agua no contaminada llegando al Lago de Junín.

1.5.3. Justificación tecnológica

El trabajo de investigación plantea la propuesta del tratamiento de las aguas residuales urbanas, mediante la electrocoagulación.

1.5.4. Justificación ambiental

El agua residual urbana proveniente de las diversas actividades humanas de la ciudad de Cerro de Pasco, por no tener ningún tipo de tratamiento antes de realizar la descarga a los recolectores, va generando la degradación de las redes de alcantarillado y contaminando el afluente del Lago Chinchaycocha. La gran ventaja

de la electrocoagulación es que no genera impacto ambiental negativo. En la práctica de este método no se agrega algún tipo de reactivos, o ácidos, o coagulantes.

1.6. Limitaciones de la investigación

1.6.1. Limitaciones técnicas

En la región Pasco se tiene dificultades técnicas. Es decir, no se cuenta con un laboratorio específico para el estudio de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación, por lo que los análisis se han realizado en el Laboratorio de Química Analítica de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

1.6.2. Limitaciones económicas

Por la alta concentración de contaminantes de las aguas residuales urbanas, se requiere el constante cambio de los electrodos de sacrificio, generando un costo económico. Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio empleado.

El tratamiento de las aguas residuales es medianamente costoso en la región, por el motivo del costo de la energía eléctrica. Las aguas residuales urbanas contienen alto contenido de lodo y a la vez con altas concentraciones de hierro y aluminio, que en cierto modo afecta al equipo en su conjunto. Una de las dificultades ha sido la formación de capas de óxidos en el ánodo. Ello impide el paso de la energía eléctrica, por ende, disminuyendo la eficiencia del proceso en los mecanismos y las reacciones del proceso de la electrocoagulación.

1.6.2.1 Acceso a Bibliotecas Especializadas

Por la emergencia sanitaria del COVID 2019, todas las bibliotecas de las universidades e instituciones del sector, han cerrado la atención al público, teniendo como limitante el acceso a bibliotecas especializadas. Los

escasos estudios para la cita de trabajos de investigación previos a desarrollar al tema, forma la base de la revisión de la literatura lo cual ha limitado hallar temas actualizados.

1.6.3. Limitaciones Metodológicas

Limitados datos disponibles y/o confiables, los limitados datos confiables referente al tema consideramos como un obstáculo significativo por no encontrar una tendencia y una relación válida para desarrollar el trabajo de investigación

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Mendoza et al., (2016) “Aplicación del principio de electrocoagulación en el tratamiento del agua residual textil”, utilizaron 70 litros por kilogramo (por proceso). Después del proceso el color baja de 974.1 a 36.85 para un voltaje de 30 V y un caudal de 4 L por minuto.

Aguilar, E. (2015) “Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua” en la industria de la pintura, hallo una eficiencia de 87 % en la remoción de DQO (con una $I=5$ A, $pH = 7.12$, tiempo de tratamiento de 15 minutos)

Cusiche, L. y Miranda, G. (2019), cita a (Barba, 2002), donde resalta que la vivencia actual de la humanidad, está siendo afectado por uno de los grandes problemas del siglo XXI: la insuficiencia de agua para su abastecimiento y atender a una creciente población mundial sedienta. Esta gran necesidad, crea el gran reto someterse a la investigación, adecuando las tecnologías mediante la solución de problemas, que, en un plazo perentorio, la protección, la conservación y la

recuperación del recurso agua, cuya calidad se deteriora por la continua descarga de residuos contaminantes peligrosos, sea de materia orgánica y por la presencia de microorganismos patógenos en gran cantidad, provenientes de las industrias y diversos servicios. La electrocoagulación, así como la electroflotación y electrodecantación son tecnologías innovadoras presentándose como grandes alternativas para el tratar aguas residuales, ofreciendo ventajas competitivas comparadas a las tecnologías tradicionales (p.79).

2.1.1. A nivel Internacional

Ronquillo Rojas (2019) en su tesis de investigación para optar el grado de maestro titulada “Remoción de dureza en alta concentración mediante electrocoagulación” de la Universidad Nacional Autónoma de México, ha planteado el objetivo general: “Evaluar la remoción de las sales calcio y magnesio en aguas extremadamente duras mediante electrocoagulación usando ánodos de sacrificio de aluminio y hierro”.

Mendoza et al., (2016) desarrollo en su trabajo de investigación: “Aplicación del principio de electrocoagulación en el tratamiento del agua residual textil”. Ecuador; donde utiliza gran cantidad de agua para sus procesos (60 a 70 litros por cada kilogramo). El objetivo principal planteado por el investigador es bajar los niveles de contaminación antes de las descargas o buscar la reutilización el agua luego del proceso de lavado y tinturado. Utiliza la efectividad del principio de electrocoagulación como una excelente opción para la degradación de una gran cantidad de contaminantes, así como la remoción del color, parámetro determinante para reutilizar el agua. Como resultados ha considerado el incremento de la intensidad de la corriente al aumentar el caudal, asimismo, al aumentar el voltaje de entrada, también aumenta proporcionalmente la intensidad de corriente,

indicando que se eleva la potencia. El color baja de 974,1 unidades de platino cobalto a 36,85 con un voltaje de entrada de 30V y un caudal de 4 litros por minuto. Ya en la tercera celda el porcentaje de remoción del contaminante se reduce logrando un valor del 96%. El tiempo de ataque electroquímico se reduce al 60%, esto quiere decir que el tiempo de electrocoagulación requerido puede disminuirse a 6 minutos. Se requieren espacios reducidos para la instalación de la planta de tratamiento.

Morales, A. (2021) en su trabajo de investigación titulada: “Tratamiento de agua pluvial por el proceso de electrocoagulación con electrodo de aluminio” se planteó como objetivo, evaluar un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia mediante su tratamiento por métodos electroquímicos, uso en actividades secundarias en el hogar. Como resultados se tuvo durante estas primeras pruebas piloto a pequeña escala trabajando con pares de electros de cobre, hierro y aluminio, los electrodos tenían las siguientes medidas: de 2cm * 3cm * 1cm; cada uno de los pares de electrodos se encontraba a 1cm de distancia, en utilizó recipientes de 150 mL colocando 100 mL de cada una de las muestras, las variables de operación fueron intensidad de corriente de 0.05 A y tiempo de 7min. Se obtuvieron los siguientes resultados. Con los electrodos de Cobre se ha notado un ligero cambio en la apariencia teniendo un valor de pH de 6.9 y una turbiedad de 6 NTU. Con los electrodos de aluminio se observó un mayor cambio en la apariencia, teniendo un valor de pH de 7.3 y una turbiedad de 3 NTU. Con los electrodos de hierro se observó que el pH aumento a 6.7 y una turbiedad de 7 NTU. El hierro tras la oxidación en un sistema electrolítico produce hidróxido de hierro, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Después de la realización de pruebas preliminares y del análisis de las reacciones respectivas de los diferentes metales en el medio acuso, se decide trabajar con

electrodos de Aluminio, escalándolos para el tratamiento de 500ml, tomando como referencia las dimensiones de los electrodos de prueba.

Poveda Ávila & Vela Camacho, (2021) luego de haber trabajado en el tema investigativo la eficiencia de un electrocoagulador como alternativa para el tratamiento de aguas residuales de una industria alimentaria, se plantearon como objetivo, evaluar mediante la tecnología de electrocoagulación la eficiencia del flujo discontinuo en la remoción de cargas contaminantes en aguas residuales de una fábrica de pan de arroz, para proponer esta tecnología como una alternativa de tratamiento. Los resultados fueron los siguientes: En la fase I operando la celda de electrocoagulación propuesta, las características de entrada 1.792,5 mg/L SST, 8.887,3 mgO₂/L y 2.082,4mg/L SST, 6.505,5 mgO₂/L DQO, y las medias de remoción fueron de 77,09% y 82,33% para DQO y SST, respectivamente. Estadísticamente la corriente eléctrica no tiene efecto significativo en el proceso, ello se debe a la poca variación de esta, siendo de 2A hasta 3A. En tanto, el efecto de la combinación corriente y la separación entre electrodos ha resultado ser significativa.

Yáñez Varela et al. (2021) desarrollaron un trabajo de investigación en el Laboratorio en Sistema de Procesos Acuoso, de las Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco de la Ciudad de México titulado:

“Electrocoagulación de aguas residuales de la industria farmacéutica”, donde se ha evaluado la electrocoagulación como alternativa al tratamiento de las aguas residuales provenientes de una industria farmacéutica. La evaluación estaba orientada en función del porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO). El diseño experimental estaba orientado para el establecimiento del valor

de las variables de operación (pH e intensidad de corriente) permitiendo la mayor remoción de DQO. Como electrodos se han utilizado el hierro con un área de 20 cm². El volumen de la celda fue de 30 mL y se ha empleado un tiempo de 15 minutos para la electrólisis en todos los experimentos. Al operar la celda se tuvo un pH de 8.0 con una corriente de 400 mA de intensidad, alcanzando una eficiencia de remoción del 68%. Los resultados han orientado una proyección de la tecnología como potencial en el tratamiento de este tipo de efluentes. Referente al Diseño Experimental, se han evaluado el efecto del pH y la intensidad de corriente sobre la eficiencia de remoción de DQO. El análisis estadístico se dio por separado para cada variable, es decir el pH y la intensidad de corriente.

2.1.2. *A nivel Nacional*

Aguilar, E. (2015) en la investigación “Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua, ha planteado construir un reactor de electrocoagulación que le permita la evaluación de la eficiencia en la remoción de la DQO (demanda química de oxígeno) de aguas residuales que provienen de la industria de pintura. También evaluar el pH, la conductividad, la intensidad de la energía eléctrica y el tiempo de tratamiento. Luego de haber obtenidos resultados del tratamiento del efluente empleando el método de la electrocoagulación, se halló una eficiencia promedio del 87 % en la remoción de la DQO. Para obtener estos valores óptimos de operación se manejó la intensidad de corriente $I = 5$ amperios, con el pH natural del efluente de 7,12 y un tiempo de tratamiento de 15 minutos, cumpliendo con las normas ambientales vigentes en el país. También se ha observado la calidad del lodo producto del tratamiento, donde se ha observado mucho más compacto que un lodo fisicoquímico o biológico.

Baca, M., (2019) en su trabajo de investigación “Evaluación de un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos y su

reúso en el riego de jardines y áreas verdes”. El objetivo general era la de evaluar el rendimiento de un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos generados en las viviendas, residencias u otras unidades familiares para reusar en el riego de las áreas verdes y jardines de las propias viviendas, residencias u otras unidades familiares, y proponer el mismo para su implementación. Los resultados fueron los siguientes: Los valores de DQO, DBO5 y el CT superan los valores de las normas de la clase 3 referente al reúso en el riego de las áreas verdes. Estos resultados son iniciales, se han hallado bajos las condiciones de operación de Caudal de 45 L/h, con un Amperaje de 20 A y Voltaje de 5 Voltios, empleando electrodos y cátodos de aluminio.

Milla, A. (2019) en su trabajo de investigación denominado: “Equipo de electrocoagulación con electrodos móviles para el tratamiento de aguas de pozo” se ha planteado como objetivo general: Construir el equipo de electrocoagulación con electrodos móviles para el tratamiento de aguas de pozo; llegó a la siguientes conclusión: 1. El equipo de electrocoagulación con electrodos móviles presentaron ventajas a comparación del equipo de electrocoagulación convencional referente en la geometría de los electrodos, la geometría del tanque reactor y en la precisión de las lecturas referidas a la conductividad, pH, y solidos totales disueltos.

2.1.3. A nivel local

En la región Pasco Huerta R. (2020) ha desarrollado el proyecto de investigación: “Evaluación y diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café para mejorar los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO5 de las aguas miel en el Fundo Monterrico – San Juan de Cacazú – Villa Rica – Oxapampa, 2017”. Se diseñó un sistema para el tratamiento adecuado y eficaz de aguas residuales que

proviene del beneficio húmedo del café. Las condiciones de los parámetros tales como temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO5 de las aguas miel en el fundo Monte Rico, han mejorado considerablemente. 2. El pH del agua de ingreso al sistema siempre arrojó un valor ácido (entre 4.16 hasta 4.5). La medición del pH en diferentes temporadas ha mostrado el cambio de su valor. Así mismo, el rango del pH para las aguas destinadas al riego de los vegetales arrojó valores entre 6.5 – 8.5, para bebida de los animales los valores fueron de 6.5 – 8.4. Después del tratamiento, las condiciones del pH durante los meses de mayo se obtuvieron valores de 6.5 – 6.6 y en junio con valores de 6.5 – 6.7. 3, mejorando sustancialmente. En tanto los valores de conductividad eléctrica al ingreso del sistema iban de 6223 $\mu\text{s}/\text{cm}$ hasta 7110 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Los valores más altos registrados sobre todo en el mes de mayo cuando la cosecha de café está en su apogeo.

Los investigadores Nanseu-Njiki, Tchamangoa y colaboradores (1987), desarrollaron el estudio titulado “Remoción de mercurio (II) del agua mediante electrocoagulación con electrodos de aluminio y hierro”. En este trabajo se ha estudiado los efectos de la distancia entre los electrodos, la densidad corriente, y pH inicial. Asimismo, se evaluaron la eficiencia de la remoción, con el uso de electrodos de aluminio y de hierro. Los resultados referidos a la eficiencia en la remoción alcanzaron cerca al 99.9% con un distanciamiento de 3 cm. entre los electrodos. En tanto la densidad de fue desde 2.5 a 3.125 A/dm^2 . El pH de la solución de mercurio (II) tuvo una variación entre 3 y 7. La eficiencia de la remoción de contaminantes ha permanecido en 99%. Los estudios realizados en río contaminado con iones de mercurio (II), demostraron mediante los resultados que la materia orgánica no tiene influencia en la eficiencia del tratamiento.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. La electrocoagulación

Cañizares et al., (2009) define a la electrocoagulación como “un proceso electroquímico en el que, a partir de compuestos procedentes de la disolución de un ánodo, se agrupa la materia coloidal existente en un agua residual (o se rompe una emulsión), posibilitando su separación del agua mediante técnicas convencionales de separación sólido-líquido (decantación, flotación)”. Por lo general, el material anódico puede ser planchas de aluminio o de hierro. Aplicando una diferencia de potencial en la celda se genera iones en disolución, al igual que en otros procesos convencionales de coagulación. (p.5).

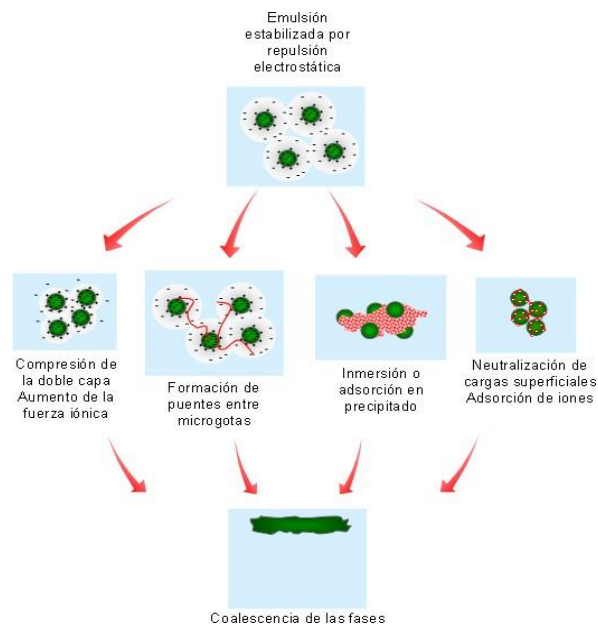
La electrocoagulación es un proceso electroquímico donde se utiliza la corriente eléctrica con la finalidad de eliminar contaminantes que se encuentran suspendidos, disueltos o emulsificados en un medio en el agua. La función de la corriente eléctrica activa a los electrodos que por lo general son de aluminio o hierro, actuando como ánodo o cátodo, donde finalmente por la disolución de iones en los electrodos se tendrán los coagulantes. El electrodo de sacrificio es el ánodo y es allí donde se generan los iones metálicos. Progresivamente la placa se va disolviendo. En tanto, en el cátodo se liberan burbujas de hidrógeno gaseoso, permitiendo la flotación de las partículas coaguladas (Arango, 2005, pág. 5).

Ruiz (2005) y Kobya et al. (2014), coinciden en la definición de la electrocoagulación quienes afirman “es un proceso electrolítico donde se hace el uso de electrodos, entre ellos el ánodo de sacrificio para las reacciones de oxidación y el cátodo donde se observa las reacciones de reducción”.

(Ögütveren y otros, 1992). Dice que “el método de electrocoagulación que es considerado el más efectivo y económico, tomando en consideración la alta

concentración de electrolitos; es decir, la alta conductividad de las aguas residuales”. Destaca que los electrodos más utilizados son los que están contruidos a base de fierro y aluminio, pues estos electros generan la producción de hidróxidos (Barişçi y otros, 2016) y tienen la gran capacidad de aportar o atraer electrones (Hurtado & Santiago, 2017). Los coagulantes se forman con el suministro constante de la corriente eléctrica hacia los electrodos, generando hidróxidos que finalmente la desestabilizan y coagulan partículas suspendidas o emulsificadas (Yavuz & Ögütveren, 2018).

Ilustración 1: Mecanismos de desestabilización de emulsiones.



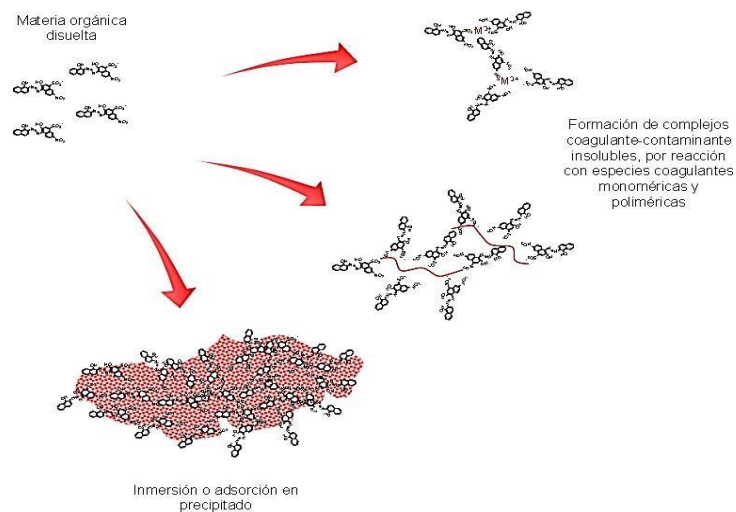
Fuente: Restrepo (2020).

Restrepo et. al, (2020) se refiere a la “existencia de los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación, entre los más importantes podemos indicar: pH, intensidad de corriente, conductividad y temperatura”, las cuales las eficiencias del tratamiento dependen en gran medida. (p.35). La liberación de iones Al^{+3} o Fe^{+2} las que actúan como coagulantes muy eficientes en la floculación y aglomeración de partículas coloidales, se deben gracias al uso de electrodos de aluminio y fierro en el proceso de electrocoagulación. Estos iones

hidrolizados van a formar grandes cadenas de Al-O-Al-OH, pudiendo adsorber químicamente una gran cantidad de elementos contaminantes. (Piña y otros, 2011, pág. 70).

Cruz Toribio & Guerrero Guevara (2015) definen a la electrocoagulación como: Una técnica que incluye la adición electrolítica de iones metálicos coagulantes directamente del electrodo de sacrificio. Estos iones van a permitir que los contaminantes se aglomeren de la misma forma como que si se adicionara un producto químico como puede ser el sulfato de aluminio, cloruro férrico, etc. y permitir con ellos una remoción de los contaminantes.

Ilustración 2: Formación de compuestos insolubles a partir de materia orgánica soluble.



Fuente: Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional (Navarro, 2007).

2.2.2. Fases de la electrocoagulación

Rigola (1989), considera que el proceso de electrocoagulación tiene tres fases: Primero: la formación del coagulante por acción de la oxidación electrolítica del metal del ánodo. Segundo: la desestabilización de contaminantes y de las emulsiones. Tercero: se considera a la creación de flósculos por agregación de partículas del contaminante o adsorción de éstas en el coagulante.

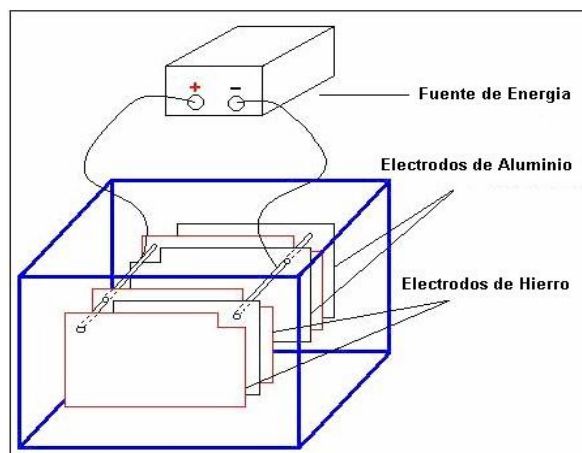
2.2.3. Componentes de la electrocoagulación

Celdas de electrocoagulación O llamadas también reactor las cuales están conformadas por electrodos (cátodo y ánodo) y solución electrolítica que viene a ser el agua residual. Esta celda es tipo batch o continuo.

El reactor electrolítico, donde se realizaron las pruebas de electrodepuración. Este elemento consiste en un recipiente termoplástico. Tiene una fuente de energía para la inducción de energía eléctrica. El material de los electrodos es de fierro y de aluminio. Las partículas coloidales se desestabilizan con la adición de iones multivalentes (Fe^{+3} y Al^{+3}). Los electrodos son de sacrificio.

Aspectos técnicos: describiendo desde su forma más simple, el reactor para la electrocoagulación en una operación por batch. En la celda electroquímica está formado por un ánodo y un cátodo alineados en forma vertical las que se encuentran conectados a la energía eléctrica externa. Uno de los problemas que manifiesta es que el material anódico tiende a corroerse eléctricamente por la oxidación, en tanto el cátodo permanece pasivo.

Ilustración 3: Celda electrolítica de laboratorio Fuente: (Delgadillo y otros, 2010)



Fuente: (Delgadillo y otros, 2010)

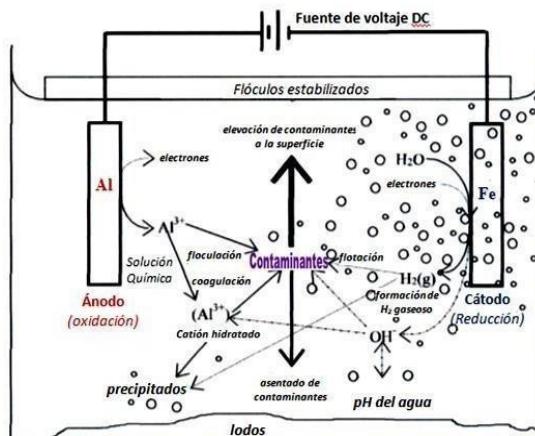
2.2.4. Fuente de energía de corriente continua

Esta fuente de energía consiste en un rectificador que transforma la corriente alterna en continua. Además, consta de controles de voltaje y amperaje regulables. (Ramallo, 1996).

2.2.5. El proceso de electrocoagulación

En el proceso del electrólisis suceden varios procesos físicos y químicos dando lugar a la remoción de los contaminantes. En tanto los electrodos van experimentando reacciones proporcionando iones positivos y negativos. El ánodo también provee iones metálicos. El electrodo de sacrificio, se llama así porque la placa metálica se disuelve. En tanto la placa que forma el cátodo no se disuelve. (Celenza, 2000). En la siguiente figura muestra la descripción realizada líneas arriba.

Ilustración 4: Interacciones ocurrientes en el reactor de electrocoagulación



Fuente:

A continuación, describimos las reacciones más importantes que pueden sufrir las partículas de contaminantes. Hidrólisis Involucra la ionización de la molécula de agua y la división del compuesto hidrolizado. Quiere decir que la hidrólisis es la reacción química donde el agua actúa sobre otra sustancia para formar una o más sustancias enteramente nuevas.

2.2.6. *Electrólisis*

La electrólisis es un método de separación de un compuesto formado por elementos químicos activado por la electricidad, donde los iones se transfieren de elemento a elemento producto a una reacción química la cual es generado por dos electrodos: uno lleva una carga negativa llamado cátodo y el otro que lleva la carga positiva llamado el ánodo. La función primordial de estos electrodos es la de atraer iones de cargas opuestas (el ánodo es liberado y son atraídos por el cátodo, y los iones negativos son atraídos por el ánodo). (Salas, 2005).

Saur & Forde (1996) manifiestan que para que se produzca un desprendimiento de Hidrógeno y Oxígeno gaseoso en sus respectivos electrodos, es muy importante que el agua está sometida a una electrólisis. A consecuencia de ello los gases ascienden a la superficie provocando los siguientes fenómenos:

- Ocurre una separación inmediata de los coloides del electrodo, evitando que estos se contaminen.
- Los coloides desestabilizados son llevados a la superficie donde forman una nata. Es ahí donde la extracción puede ser por sedimentación clásica, o por flotación.
- Las burbujas de gas van produciendo corrientes que suben y bajan de la solución, logrando tener una mejor superficie de contacto. Es allí donde se incrementa la eficiencia de desestabilización. Esta agitación que ocurre de manera espontánea, ahorra la energía para la agitación mecánica". (p.5) El agua residual en la celda electrolítica llamada solución dieléctrica, luego de ser sometida a una electrólisis, se va a ver muy favorecida por las sales en disolución, posibilitando la conducción eléctrica. Debemos tener en cuenta que están presentes las aguas servidas también en las industriales. La conducción

eléctrica se medida mediante Ley de Ohm, que indica, “cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor, crea en éste una diferencia de potencial proporcional a la corriente”.

Esta constante de proporcionalidad es llamada resistencia, medida en Ohms. La relación es:

$$V = I \times R$$

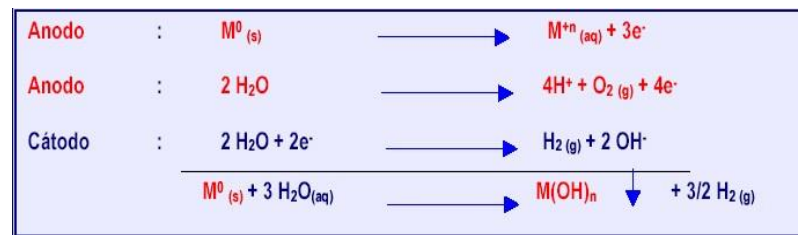
Donde:

I: Representa la Intensidad de la Corriente que circula.

R: Representa la Resistencia que ofrece el electrolito dentro de la celda.

Los fenómenos que suceden en el interior de la celda electrolítica es representada a través de la siguiente reacción redox: (Castrillón & Agudelo, 2007).

Ilustración 5: Reacciones de oxidación y reducción sobre las superficies de los ánodos y cátodos.



2.2.7. Reacciones en los ánodos y cátodos

Las especies que están en la disolución, reciben electrones que van llegando desde los ánodos. En caso de tener metales disueltos en el medio con un potencial adecuado, puede ocurrir favorablemente la producción de la deposición de los mismos sobre los cátodos. En caso contrario, la reducción del agua es quien mantendrá el circuito de energía eléctrica cerrada, produciéndose

Hidrógeno gas a manera microburbujas, quienes son responsables con el Oxígeno que proceden de los ánodos, como también de la flotación de las sustancias coloidales y sólidas. A continuación, vemos la reacción generada:

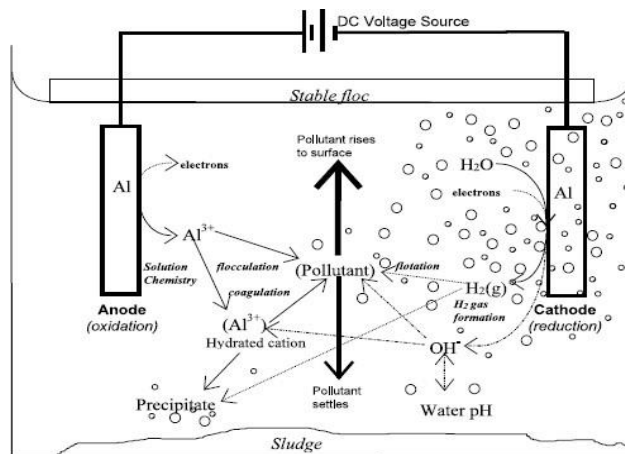


Con la rotura de la molécula del agua se da lugar a la alcalinización del medio muy cercana de la superficie del cátodo, modificando el pH entre las dos placas ánodo y cátodo.

El Hidrógeno que ha sido generado en algunos casos puede actuar como un agente reductor solo en algunos grupos funcionales por causa de la hidrogenación, sobre todo en los dobles enlaces (C=C y N=N) las que se encuentran presentes en moléculas comunes generados por los residuos industriales (Do & Chen, 1994).

El aumento del componente electrolítico de los iones metálicos tiene una gran ventaja con lo que respecta al de los químicos. Es así que el aumento de los iones no incrementa la cantidad de sales en el agua en tratamiento. Es importante recalcar que este procedimiento por lo general origina o bien la mitad o la tercera parte de lodos. A la remoción de una gran cantidad de contaminantes mayor será la actividad se a una menor cantidad de iones.

Ilustración 6: Interacciones que ocurren en un reactor de electrocoagulación



Fuente: HOLT, Peter K.; BARTON, Geoffrey W. and MITCHELL, Cynthia A. *The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology.*

En este procedimiento para aglutinar los contaminantes dispersos en el agua, necesariamente se requiere la introducción de iones metálicos. Es ahí donde

se produce el sacrificio de uno de los electrodos (ánodo) con el barrido por arrastre del gas generado en el proceso de electrocoagulación. (Favero y otros, 2020).
Reacciones en los Ánodos. - Los ánodos constituidos por metales como Al o Fe se producen la disolución de estos metales en forma de cationes.

Cuando los ánodos están constituidos por metales tales como Al o Fe se produce la disolución de los mismos en forma de cationes. La solubilización de los ánodos es cuando los electrones que fueron liberados van a circular por el conductor metálico dirigiéndose hacia el cátodo. El 90% de la corriente total circulante de esta reacción está representada por ese valor. Mientras que el otro 10% pertenece a la producción de especies cloradas.

Los cationes que fueron liberados van a tener una función coagulante, la que va a interaccionar directa con las propias condiciones del medio y con los contaminantes del medio.

2.2.8. Formación del hidróxido férrico.

En el ánodo ocurren las siguientes reacciones: A la formación de los hidróxidos de hierro los coloides se acumulan, siendo de mayor incidencia los de carga negativa. Luego otras partículas de contaminantes van a interactuar con estos aglomerados. Posteriormente serán removidos por las atracciones electrostáticas. Veamos la siguiente reacción del aluminio sobre el ánodo:

En la combinación con los OH con los iones Al^{+3} ocurre la reacción para formar algunas especies manométricas como: $Al(OH)_2^+$, $Al_2(OH)_2^+$, $Al(OH)_2^+$, y otras

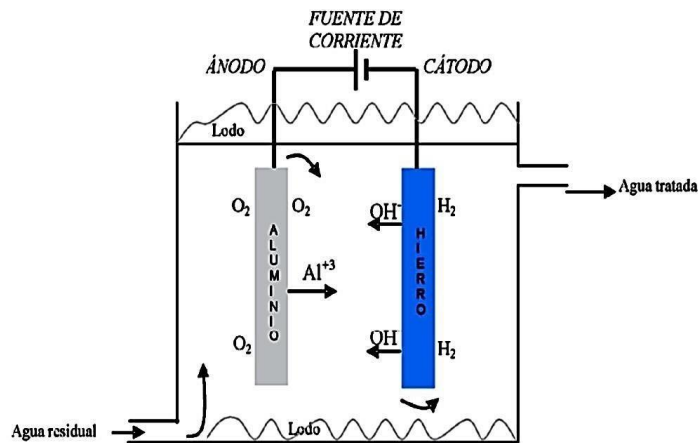
Poliméricas como $Al_6(OH)_{15}^{3+}$, $Al_7(OH)_{17}^+$, $Al_8(OH)_{20}^+$, $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$ y $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$ las que por los procesos de precipitación van a formar el $Al(OH)_3(s)$. En la reacción de ánodo se muestra el $Al(OH)_3(s)$ el cual

es una sustancia sin forma, de carácter gelatinoso, con un área superficial extendida de propiedades absorbentes, propiciando condiciones muy apropiadas para la adsorción y atracción de las partículas contaminantes.

2.2.9. Tratamientos generados por la electrocoagulación

Como se ha mencionado que en la electrocoagulación ocurre la desestabilización de las partículas de contaminantes suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, mediante la inducción de corriente eléctrica en el agua donde se utilizan placas metálicas paralelas de diversos materiales comunes como el hierro y el aluminio. La corriente eléctrica se encarga de proporcionar la fuerza electromotriz para generar una serie de reacciones químicas. Finalmente ocurre la estabilidad de las moléculas contaminantes. por lo general, este estado produce partículas sólidas menos coloidales y menos emulsionadas o solubles. Cuando esto está ocurriendo, los contaminantes van formando componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Los iones metálicos son liberados y son dispersados en el medio líquido, formando hidróxidos metálicos que atraen eléctricamente a los contaminantes que han sido desestabilizados. (Ramallo, 1996). Los iones producidos cumplen la función de desestabilizar las cargas que poseen las partículas contaminantes presentes en el agua. Cuando estas cargas se han sido neutralizadas, los sistemas que mantienen las partículas en suspensión desaparecen, permitiendo la formación de agregados de los contaminantes e iniciando así el proceso de coagulación.

Ilustración 7: Sistema de electrocoagulación con ánodo de aluminio y cátodo de hierro.



Existen dos vías por el cual los iones que proveen los electrodos desencadenan un proceso de eliminación de contaminantes, siendo estas 1. Por precipitación y reacciones químicas y 2. Por agregación de coloides (procesos físicos). Ello depende mucho de la densidad ya sea al flotar o al precipitarse. Las reacciones más importantes para tratar las partículas de contaminantes son: la electrólisis, hidrólisis, formación de radicales libres y reacciones de ionización. Al ocurrir estas reacciones, necesariamente cambian las propiedades del agua contaminada, conllevando definitivamente a la eliminación de la carga del agua contaminada.

La producción de iones metálicos ocurre en el ánodo y por acción de los iones ocasionan la oxidación electrolítica, originando una sustancia química haciendo las veces de un coagulante. (Ramallo, 1996)

2.2.10. Procesos electroquímicos

Arango Ruiz & Garcés Giraldo (2007) afirman que la “electroquímica es una tecnología que incorpora el estudio de la interacción y la correlación de los procesos químicos y eléctricos mediante el uso de reacciones de oxidoreducción”.

Esta tecnología necesariamente emplea energía eléctrica para generar reacciones químicas, permitiendo aplicaciones industriales. (p. 6).

Gilpavas y otros (2008) menciona que “estas reacciones de óxido-reducción son los que resultan de las reacciones electroquímicas conocidas como reacciones Redox”. (p. 28).

2.2.11. Celdas electroquímicas

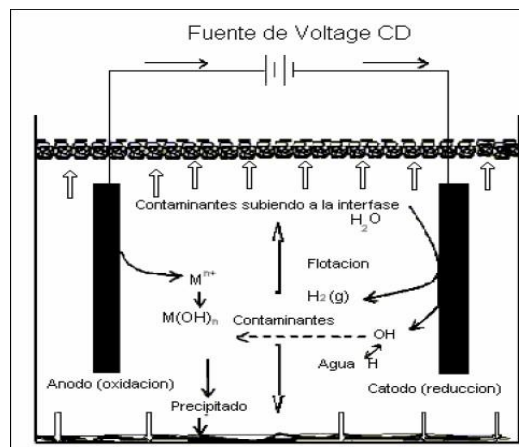
Las celdas electroquímicas están divididas en dos tipos. 1. Las galvánicas donde ocurren reacciones espontáneas y 2. Las electrolíticas donde ocurren reacciones no espontáneas o también llamados reactores para electrocoagulación. Se clasifican en reactores de flujo continuo, pues operan mediante un flujo de alimentación y a la vez con un flujo de descarga ingresada inicialmente. También se encuentran reactores tipo Batch (de flujo discontinuo). Estas son operadas por cargas, se agrega la alimentación para llevar a cabo por un determinado tiempo el proceso y, una vez finalizada, se descarga el reactor Rodrigo y otros (2014). Este tipo de reactores, permite el estudio de distintos procesos y parámetros de interés a ser controlados Arango Ruiz & Garcés Giraldo (2007). De ahí su importancia para la investigación. Entre otras cosas, los resultados obtenidos pueden ser empleados para realizar un escalado del proceso, como por ejemplo un piloto industrial. Las dimensiones y forma de la celda electroquímica son variable. Puede tratarse de un recipiente común donde va a contener al solvente junto con el electrolito soporte y asimismo va a contener a los electrodos, o también puede ser un recipiente de forma llamativa y compleja. Esto dependerá de los requerimientos del experimento electroquímico.

Para el diseño físico de la celda y para seleccionar sus materiales de construcción, tener muy en cuenta la naturaleza de la sustancia electro activa, el

electrolito soporte a utilizar que contiene al solvente y la sal electrolítica, considerando también los objetivos experimentales.

De acuerdo a la espontaneidad del proceso electroquímico, se cuenta con dos tipos de celdas: las celdas Galvánicas o Voltaicas (pilas y baterías) y las celdas Electrolíticas.

Ilustración 8: Diagrama esquemático de una celda de electrocoagulación de dos electrodos.



Fuente: Fuente: MOLLAH., Mohammad et al. *Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation.*

2.2.12. Factores que afectan la electrocoagulación

Son varios los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación. Algunos inciden en este proceso. Entre ellos tenemos a aquellas que relacionan más directamente con la efectividad del proceso.

- pH. Para (de Oca y otros, 2001) el pH “influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido”. Muchas investigaciones demostraron que el pH tiene una variación durante el proceso de electrocoagulación; dependiendo del material utilizado en los electrodos y del pH inicial del agua a tratar. (Ge y otros, 2004) y (Bayramoglu y otros, 2004). En aguas residuales ácidas, el pH, durante el proceso, puede incrementarse debido a la generación hidrógeno molecular originado en el

cátodo (Kumar y otros, 2004); en tanto que en aguas residuales alcalinas el pH puede disminuir, esto puede depender de la naturaleza del contaminante. La eficiencia del proceso está influenciada por el pH, al ser aplicadas la electrocoagulación con pH básicos o con pH ácidos. El pH Algunas aguas residuales presentan mejor eficiencia en la remoción de sus contaminantes En algunos casos la mayor eficiencia en la remoción de un contaminante esta dado un rango específico de pH; donde las mejores remociones se han obtenido para valores de pH cercanos a (Chen y otros, 2000).

- **Densidad de corriente** En el proceso de electrocoagulación, esta variable eléctrica es uno de los parámetros más importantes más que influyen en la remoción del contaminante de un agua residual y definitivamente está ligado a los factores económicos. El grado de remoción de un contaminante está influenciada por la corriente eléctrica aplicada al medio acuoso; es decir, al incrementar los aumentos en la densidad de corriente, se elevará la eficiencia en la remoción y el consumo de energía eléctrica (Chen y otros, 2002). En otras conductividades del medio acuoso, el consumo de energía puede incrementarse proporcionalmente con los incrementos de densidad decorriente (Larue y otros, 2003), conllevando a un mayor consumo de energía eléctrica, perdiéndose por transformación de energía eléctrica en calórica, y por ende se registra el incremento en la temperatura del medio acuoso.
- También es importante resaltar que el suministro de energía eléctrica al sistema de electrocoagulación va a determinar la cantidad de iones de (hierro Fe^{+2} o aluminio Al^{+3}) que son liberados por los electrodos (Chen y otros, 2000). Es importante saber que una densidad de corriente demasiado alta puede disminuir significativamente la eficacia de la corriente. Esta densidad de corriente podría

manejarse realizando teniendo en cuenta otros parámetros de operación como pH y temperatura (Chen y otros, 2000). Uno de los aspectos a tener en cuenta con la energía eléctrica suministrada a la celda electroquímica, esta puede ser corriente alterna (CA) o corriente directa (CD).

- Las diferentes respuestas electroquímicas entre las placas y el agua residual tratada dependen de las características propias del paso de cada una de las corrientes a través del medio acuoso. Al suministrar corriente directa en el cátodo ocurre una impermeabilización causando una menor eficiencia en la remoción (Mollah y otros, 2001).
- Temperatura; Se han realizado amplios estudios de los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación, donde la eficiencia en la corriente se incrementa al inicio hasta llegar a 60° C, para electrodos de aluminio, siendo el punto máximo, para luego descender (Chen y otros, 2000). Mientras tanto, usando electrodos de aluminio, el incremento de la eficiencia con la temperatura, es gracias al incremento en la destrucción de la película de óxido de aluminio que sucede en la superficie del electrodo. Ello también ocurre con la eficiencia de la energía eléctrica, el consumo de energía llega a un máximo de 35° C.
- Conductividad; Al aumento de la conductividad eléctrica, se incrementa la densidad de corriente, siendo constante el voltaje alimentado a la celda de electrocoagulación. También al incrementarse de la conductividad, se mantendrá constantemente la densidad de la corriente, generando la disminución del voltaje aplicado (Bayramoglu y otros, 2004).
- Al adicionar algunos electrolitos tales como NaCl o CaCl₂ se genera un aumento en la conductividad del agua residual (Jiang y otros, 2002); asimismo los iones de cloruro pueden disminuir los efectos adversos de iones como

HCO₃⁻ y SO₄⁼ ante la presencia de iones carbonatos o sulfatos puede producir la precipitación de Ca⁺² y Mg⁺² produciendo una capa insoluble depositada en los electrodos, aumentando el potencial entre los electrodos y reduciendo la eficiencia de la energía eléctrica.

2.2.13. Aguas residuales

Las aguas residuales o simplemente llamadas también “aguas negras” por el color que les caracteriza, son originadas por actividades antrópicas, las cuales representan un gran peligro, pues contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos (Estrada y otros, 2017). Para ser tratadas integralmente las aguas residuales, se emplean un conjunto de tecnologías, actividades operacionales y diversos procesos físicos, químicos y biológicos (Baquerizo y otros, 2019) y (Bustamante, 2020), las que son empleadas con la finalidad de purificarlas, hasta lograr alcanzar un nivel para obtención de la calidad requerida, para su aprovechamiento mediante el reuso y la llegada a su disposición final (Sehircilik, 2009).

El criterio de Baque et al. (2019), menciona que los contaminantes pueden proceder de diferentes fuentes, en tanto que Barreto & Chica (2021), afirma que el agua residual puede variar dependiendo de la situación socioeconómica, el clima o las costumbres de la población. La United Nations. UNESCO, (2019) hace referencia que las aguas residuales en el mundo aproximadamente en un 80%, llegan a su deposición final, sin recibir tratamiento alguno. Para disminuir emisiones de gases invernadero, es importante realizar el tratamiento de la materia orgánica antes de ser vertida a su deposición final. UNESCO (2020). Los países que cuentan con ingresos económicos altos. Son aquellos que tratan en un 70% las aguas contaminadas, disminuyendo relativamente en países de ingresos medios-

altos en un 38%, y a un 28% en países que cuentan con ingresos medios-bajos, y en países que cuentan con bajos ingresos económicos, lamentablemente el 8% del agua residual tiene tratamiento Bokova & Ryder (2017). América Latina registra que el 70% de las aguas residuales no cuenta con tratamiento de aguas residuales, afectando el ciclo del agua Larios y otros (2015).

2.2.14. Contaminación de cuerpos de agua

En el Perú, la contaminación del agua es uno de los grandes problemas ambientales que aqueja a las diferentes regiones del país (Cusiche Pérez & Miranda Zambrano, 2019) desarrollaron el trabajo de investigación “Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional ‘Lago Junín’, Perú” citan a (Custodio, 2013), refiriéndose a la fragilidad de dichos ecosistemas acuáticos que impacta negativamente, destruyendo a la biodiversidad, cuya biota local concentra comunidades ecológicas únicas. La presión antropogénica de los alrededores del Lago Junín y sobre todo las mineras que operan allí, no tienen pleno conocimiento ni sensibilidad para la conservación y darle la sustentabilidad al medio ambiente y la biodiversidad. Lamentablemente priman las necesidades productivas (pecuaria, agrícola y extractiva) para satisfacer muchas necesidades, se incluye la presión de las empresas mineras e industriales como la minería, hospitales y mercados; quienes depositan aguas residuales al lago de Chincaycocha afectando su medio ambiente.

La contaminación por residuos domésticos en la actualidad es uno de los principales problemas principalmente por el efecto negativo contaminante de las aguas para consumo humano, animales, riegos, piscinas entre otros, daños al medio ambiente y el impacto que representan para los ecosistemas. El medio ambiente acuático tiene una gran variedad de parámetros que influyen integralmente sobre el

mantenimiento del homeostasis, muy esenciales para el crecimiento y la reproducción de las especies acuáticas como los peces. Ahora, al afectar estos factores se modificarán más allá de los límites permisibles causándoles algún tipo de enfermedades. (Celenza, 2000).

En los últimos años el medio ambiente acuático ha estado amenazado por descargas contaminantes que provienen de la agricultura, los desechos de origen urbano e industriales. Estos contaminantes hacia los cuerpos de agua afectan directamente a las especies acuáticas como los peces. Se modifican la temperatura, el pH, la presión de oxígeno, la alcalinidad y la dureza del agua; la presencia del barro, restos de carbono, metales pesados, etc. Los metales pesados que causan intoxicaciones minerales son el arsénico, plomo, cobre, zinc, mercurio, cadmio, cromo, magnesio y hierro, introduciéndose al sistema acuático mediante los desagües. La contaminación por metales pesados y metaloides en los ambientes acuáticos tiene una gran importancia por tratarse de elementos bioacumulables y fácilmente se introducen en la cadena trófica. Ramallo (1996).

2.3. Definición de términos básicos

Ánodo; Es el electrodo positivo de una celda electrolítica donde se dirigen los iones negativos, recibiendo el nombre de aniones.

Cátodo; Es el electrodo negativo de un generador eléctrico, donde se dirigen los cationes de la disolución.

DBO; (Demanda Biológica de Oxígeno): Es un parámetro que mide la cantidad del oxígeno molecular consumido al ser degradado la materia orgánica de una muestra líquida.

Demanda química de oxígeno (DQO); Es un tipo de prueba que determina la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica en una muestra

de agua, mediante las condiciones específicas del agente oxidante, temperatura y tiempo. Cuan mayor sea el valor del parámetro, más contaminada se encontrará el agua. (Jimeno, 1998).

pH; El pH viene a ser una medida de la acidez o la alcalinidad de una disolución acuosa. Este parámetro indica de cómo está concentrada los iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones.

Electrocoagulación. Es un proceso electroquímico donde son se desestabilizan las partículas de contaminantes emulsionadas, suspendidas o disueltas en un medio acuoso, inducido mediante la corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales. Es ahí donde se puede separar compuestos orgánicos emulsionados, metales pesados, sólidos en suspensión, y otros contaminantes del agua. La electricidad reemplaza a los reactivos químicos. Posteriormente por filtración, decantación o flotación, el lodo generado por este proceso son separados (Restrepo Mejía et al., 2020).

Electrólisis del Agua; Cardona (2021) menciona que “la electrólisis como herramienta de separación, lleva siendo utilizada e investigada varios siglos; y al avanzar en el tiempo, se le han agregado nuevas aplicaciones; desde la producción mineral, generación de ácidos e hidróxidos, separación de gases, etc.” La electrólisis del agua viene a ser es la descomposición del agua en los gases oxígeno e hidrógeno, usando corriente eléctrica continua, sea por una fuente de alimentación, o utilizando una batería o una pila, el cual es conectada mediante electrodos al agua. Para reducir la resistencia al paso de corriente mediante el agua, se debe de subir la acidez añadiendo ácido sulfúrico en pequeñas cantidades o añadiendo un electrolito fuerte como el hidróxido de sodio. (Espinosa Pérez et al., 2018).

Densidad de corriente; La densidad de corriente no viene a ser más que una magnitud vectorial, similar a la cantidad de movimiento; es decir, cuanta más carga se tenga, mayor será la densidad de corriente y cuanto más rápido sea el movimiento, mayor es la densidad. En tanto, si no existe cargas o no se mueve la densidad de corriente se anula (Chen y otros, 2000).

Conductividad; Es una medida de la propiedad que tienen las soluciones acuosas para la conducción de la corriente eléctrica, dependiendo de iones presentes, movilidad, concentración, valencia y temperatura de la medición.

Temperatura; Es una magnitud física que se encuentra relacionada con la energía cinética promedio de las partículas, las que se encuentran formadas en un cuerpo o un sistema. Es necesario tener en cuenta que, a mayor energía cinética, mayor temperatura.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. *Hipótesis general*

H1: La aplicación del método de la electrocoagulación en la depuración de las aguas residuales del colector San Juan en Cerro de Pasco, tiene una influencia significativa.

2.4.2. *Hipótesis específicas*

- a. Caracterizar las aguas residuales urbanas en el colector de San Juan – Cerro de Pasco en sus componentes fisicoquímicos y biológicos, permitirá optimizar las operaciones de depuración.
- b. Evaluando el porcentaje de remoción de las aguas residuales urbanas del colector de San Juan – Cerro de Pasco, se conocerá la composición de los contaminantes removidos.

- c. El voltaje de corriente optimiza el proceso en el proceso de depuración de las aguas residuales urbanas del colector de San Juan – Cerro de Pasco.
- d. Si se determina el tiempo de residencia, se optimiza el proceso de las aguas residuales urbanas del colector de San Juan – Cerro de Pasco.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Definición conceptual

2.5.1.1. Variable independiente

Método de la electrocoagulación

El método de la electrocoagulación se basa principalmente en la desestabilización de las partículas al inducir corriente eléctrica y precipitar las macromoléculas. Al proporcionar corriente eléctrica a las láminas metálicas tales como el fierro y el aluminio, se van generando los coagulantes en el mismo lugar por efecto de la disolución del ánodo. El cátodo va liberando burbujas de hidrógeno, que a la vez proporciona una cierta fluidez al proceso. Las partículas con una determinada densidad flotan brindando a la vez una mejor superficie de contacto, debido a la agitación casual que se genera, evitando la agitación mecánica (Chen y otros, 2000).

2.5.1.2. Variable dependiente

Depuración de aguas residuales

Proceso que conlleva la disminución de concentraciones (o intensidades) de elementos (o energías) no deseadas presentes en el agua. Este concepto se maneja también con las dos acepciones antes señaladas,

recibiendo de hecho denominación distinta. Depuración: Cuando se trata de aguas usadas (o «servidas» y que se trata de restituir a sus condiciones previas. (WWAP & UNESCO, 2017).

2.5.2. Definición operacional Depuración de aguas residuales Indicadores

- Color
- pH
- DQO
- DBO
- Turbidez

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Las pruebas experimentales para la remoción de aguas residuales se realizan mediante el método electroquímico de Electrocoagulación. En ella se usan electrodos de aluminio y fierro. La celda electrolítica por lo general es de material termoplástico y el trabajo se desarrolla en un sistema discontinuo (Batch). El estudio será dividido en 3 partes.

El primero: se ha construido una celda electrolítica de material termoplástico de forma rectangular con una altura de 18 cm, un largo de 14 cm. y un ancho de 10.5 cm.

La segunda parte se ha desarrollado una serie de pruebas en el reactor electrolítico combinando diferentes distancias para hallar la distancia óptima al realizar la depuración por electrocoagulación de contaminantes de las aguas residuales.

La tercera parte consistió en una serie de pruebas para encontrar el voltaje y tiempo óptimos de residencia del proceso.

Tabla 1: Matriz de Diseño Experimental m^n para las pruebas de Electrocoagulación

FACTORES CODIFICADOS				FACTORES ACTUALES	
N	X	X	X ₁	Z ₁	Z
	1	2	X ₂		2
1	-	-	+	10	3
2	+	-	-	30	3
3	-	+	+	10	6
4	+	+	-	30	6

Fuente: Elaboración por la

tesista

Tabla 2: Matriz operacional

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	
		Dimensiones	Indicadores
V.D. Depuración de aguas residuales	“Proceso que conlleva la disminución de concentraciones (o intensidades) de elementos (o energías) no deseadas presentes en el agua. Este concepto se maneja también con las dos acepciones antes señaladas, recibiendo de hecho denominación distinta. Depuración: Cuando se trata de aguas usadas (o «servidas») y que se trata de restituir a sus condiciones previas”. (WWAP & UNESCO, 2017)	Diferencia de potencial eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> - Distancia de los electrodos - Tiempo de residencia - Voltaje de corriente
V.I. Proceso de electrocoagulación	“La electrocoagulación es un método electroquímico usado para el tratamiento de aguas residuales para remoción de un amplio número de contaminantes” (Holt & Barton, 2005).	Tiempo de electrocoagulación	<ul style="list-style-type: none"> - Color - pH - DQO - DBO - Turbidez

Fuente: elaboración por la tesista

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es aplicada o llamada investigación tecnológica. Es de tipo experimental, porque una variable experimental no comprobada es susceptible a la manipulación, lógicamente en condiciones rigurosamente controladas, con la finalidad de describir el modo o la causa que produce una situación o acontecimiento particular.

Asimismo, Tam y otros (2008), respalda a la investigación aplicada cuyo objetivo es la de crear una nueva tecnología partiendo de los conocimientos ya adquiridos producto de las investigaciones, y finalmente se puedan decidir si estos conocimientos deben ser aplicados con o sin refinamiento para los propósitos definidos.

3.2. Nivel de investigación

La investigación es de nivel descriptivo correlacional

3.3. Métodos de investigación

El método de la investigación es cuantitativo. La investigación es descriptiva pues mediante esta investigación utilizamos el método de análisis, logrando dar la caracterización al objeto de estudio o dentro de una situación concreta, que ha permitido señalar las características y propiedades pertinentes.

3.4. Diseño de investigación Diseño Factorial

El diseño factorial es aquel que se encarga de investigar las posibles combinaciones los niveles de los factores ya sea en cada ensayo completo o bien en la réplica del experimento. Esos niveles están representados por valores que pueden tomar las variables o factores. La cantidad total de experimentos llevadas a cabo ha estado definidas por la siguiente relación:

$$\text{N}^{\circ} \text{ pruebas} = m^n$$

Donde:

m: representan los niveles.

n: representan a las variables independientes.

Selección de Factores

Los factores considerados y evaluados durante el proceso de electrocoagulación durante la remoción de contaminantes de las aguas residuales dentro de una celda electrolítica bach fueron las siguientes:

Tabla 3: Niveles altos y bajos

DOMINIO EXPERIMENTAL FACTORES		NIVEL (-)	NIVEL (+)
X ₂	Tiempo de residencia	10	30
X ₃	Voltaje	3	6

Fuente: Elaboración por la tesista

Tabla 4: Niveles altos y bajos

FACTORES		DOMINIO EXPERIMENTAL	
		NIVEL (-)	NIVEL (+)
X ₁	Distancia entre electrodos	10	15
X ₂	Tiempo de residencia	10	30
X ₃	Voltaje	3	6

Para la evaluación de la electrocoagulación de las aguas residuales se utilizaron los factores densidad de corriente y tiempo de coagulación. Las variables respuesta consideradas fueron las características fisicoquímicas del agua (DBO5, DQO, pH, conductividad, turbidez). Se utilizó el diseño completamente aleatorizado (DCA) con arreglo factorial 2 x 3 con dos repeticiones, con nivel de confianza del 95 % (p = 0.05). Se utilizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para comprobar el comportamiento normal de las variables respuesta.

El modelo aditivo lineal que explica experimento utilizado es:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variables respuestas: características fisicoquímicas del agua residual antes y después de cada tratamiento.

μ = Media general

A_i = Efecto iésimo de la densidad de corriente

B_j = Efecto jésimo del tiempo de coagulación

AB_{ij} = Efecto de la interacción de los factores densidad de corriente (A) y tiempo de coagulación (B).

ε = Efecto aleatorio del error experimental.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Las aguas residuales domésticas provenientes del distrito de San Juan Cerro de Pasco.

3.5.2. Muestra

200 litros de agua residual tomados de la población por muestreo pirobalística.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se han tomado muestras puntuales de la matriz del efluente del colector San Juan Cerro de Pasco, considerando los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda.

Tabla 5: Matriz de Diseño Experimental mn para las pruebas de Electrocoagulación

MATRIZ DE EXPERIMENTOS					
N	FACTORES CODIFICADOS			FACTORES ACTUALES	
	X ₁	X ₂	X ₃	Z ₁	Z ₂
1	-	-	+	10	3
2	+	-	-	30	3
3	-	+	+	10	6
4	+	+	-	30	6

Fuente: Elaboración por la tesista

Se tomaron muestras con volúmenes de 20 litros de 2 puntos distintos. Las muestras de agua residual se identificarán para la muestra de agua colectada del colector de agua residual. La recolección de los datos se realizó conforme la matriz de diseño propuesto a continuación: Recolectar datos implica la selección de un instrumento de medición que se encuentra disponible o simplemente se tiene que elaborar uno propio, luego se aplica el instrumento de medición para luego preparar las mediciones obtenidas analizándola correctamente. En esta investigación se han medido variables que se encuentran contenidas en las hipótesis. El instrumento de medición debe cubrir los dos requisitos: confiabilidad y validez.

Prueba de filtrado. En este procedimiento hemos empleado una muestra de agua cruda, y como materiales tuvimos a bien de usar dos probetas de ensayo de 100 ml. y 50 ml. respectivamente, papel filtro 1300/80. El procedimiento fue la siguiente: a) la probeta de ensayo se llenó hasta los 100 ml. con agua, b) se ha colocado el papel filtro en la probeta de ensayo, el cual se ha tornado en forma de cono, c) se ha vertido el agua cruda, c) se hizo reposar por espacio de 60 minutos.

Construcción de la celda electrolítica (reactor de electro coagulación) de ciclo fijo con capacidad de 1.0 litro:

- Celda de cristal de 30x30x30 cm y 6mm de espesor
- 6 electrodos de aluminio de (27x4x1) cm.
- El espacio entre los electrodos en la distribución es de 4cm
- Fuente de poder de corriente continua de 4 amperios y 12 Voltios

Para caracterizar las aguas residuales se emplearon un conjunto de parámetros que permiten cuantificar los contaminantes anteriormente definidos. Los parámetros considerados para los Límites Máximos Permisibles (LMP) están consideradas: Aceites y Grasas, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5), Sólidos en Suspensión y como metales principales consideramos al Hierro y Plomo.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Confiabilidad de instrumentos

Tabla 6: Estadística de confiabilidad

<u>Estadística de fiabilidad</u>		
	<u>Alfa de</u>	<u>N de</u>
<u>Cronbach</u>	<u>elementos</u>	<u>0,8 10</u>

Juicio de Expertos. Está referido al grado en que aparentemente un instrumento de medición mide la variable en cuestión, de acuerdo con expertos en el tema.

Tabla 7: Valores de los niveles de validación de los instrumentos

Valores	Nivel de fiabilidad
91 – 100	Excelente
81 – 90	Bue no
71 – 80	Muy bueno
61 – 70	Regular
51 – 60	Deficiente

Fuente: Elaboración por la tesista

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos se ha trabajado con toda la información obtenida de los resultados, creándose una base de datos en los programas de Microsoft Office. En tanto para analizar los datos se realizaron los siguientes:

- Crear una base de datos en Microsoft Excel.
- Ordenar y codificar datos.
- Tabular datos.
- Calcular la eficacia global del sistema de tratamiento.
- Usar un software para presentar los resultados gráficos como el Microsoft Excel o SPSS o Minitab.
- Analizar e interpretar datos más frecuentes y relevantes.
- Interpretar los resultados.
- Discutir los hallazgos.

3.9. Tratamiento estadístico

Referente a los efectos de las variables, se ha realizado el cálculo de los efectos principales, entendiendo por “efecto” de un factor, al cambio en la respuesta que va desde el nivel inferior (-) al superior (+) de ese factor. Estos efectos

principales van a medir el efecto medio de esa variable a todas las condiciones de las otras variables.

Si el efecto de un factor va a depender del nivel en el que está otro de los factores, estos factores interactuarán significativamente. El efecto para cada una de las variables e interacciones se ha calculado mediante la ecuación estadística (Ayala & Pardo, 1995).

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

El trabajo de investigación realizada, ha tenido a bien de seguir los principios y valores de honestidad y transparencia en el manejo del trabajo de campo in situ con datos reales y el buen manejo de las referencias bibliográficas de acuerdo a los instrumentos aplicados, del mismo modo se practicó los valores de responsabilidad, puntualidad y la ética profesional. De la misma manera se ha realizado una reseña de literatura concisa que nos ha apoyado en los resultados encontrados de estudios realizados en este tema de investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Descripción del trabajo de campo

La investigación se llevó a cabo utilizando aguas residuales del colector san Juan de la ciudad del Cerro de Pasco, donde se ha medido el pH, DQO y conductividad eléctrica. Para el establecimiento del diseño experimental se ha tenido a bien de realizar la prueba de tamizado, observando de cómo se comporta las diferentes variables fisicoquímicas en un medio acuoso. Se hizo la recolección información a priori donde se ha determinado los valores de corriente eléctrica, distancia entre electrodos, tiempo de tratamiento y pH, para realizar el tratamiento de electrocoagulación más eficientes teniendo en cuenta lo del diseño experimental. Es así como se ha diseñado el experimento completamente al azar, considerando la estructura factorial, con factores de pH con niveles de 5, 7 y 8, densidad de la corriente (J) con niveles 32.43 y 43.23 A/m² y el tiempo (t) con observaciones que datan en 5, 10 y 15 minutos. El ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, ambos de grado reactivo, han ajustado el pH de las soluciones.

Se ha empleado el método de micro-DQO calorimétrico para hallar el porcentaje de remoción de la DQO. Se han realizado mediciones de este parámetro antes y después de cada tratamiento. En este proceso se ha medido los valores de pH y la conductividad del medio acuoso. Estos análisis se evaluado con los procedimientos del Standard Methods.

Para llevar a cabo el proceso de la electrocoagulación se ha trabajado mediante lotes, cada celda tuvo una capacidad de dos litros, conteniendo seis electrodos: tres de hierro (electrodos de sacrificio) y otras tres de aluminio separadas por un centímetro en forma paralela y dispuestos alternadamente. Luego fueron conectados a una fuente de voltaje activados con control para la corriente en un rango de 0 a 25 A.

Se han realizaron tres repeticiones para cada una de los experimentos, determinando las variables de respuesta como el porcentaje de remoción de DQO y color.

4.1.1. Equipos y Materiales Utilizados

A continuación, mencionamos a los equipos y materiales que fueron utilizados en el proceso de electrocoagulación:

4.1.1.1. Equipos e Instrumentos:

Transformador. Características: Marca Phyne N° 7430 con un rango de conversión de 0 a 25 voltios. Compuesto de dos circuitos eléctricos aislados, las que están atravesados por circuitos magnéticos permitiendo la transmisión de la energía desde un circuito de alto voltaje a otro menor voltaje.

Rectificador. Sus características son: Marca Phyne N° 7440 siendo su rango de conversión de 0 a 20 voltios. Este aparato convierte la corriente alterna en corriente continua.

Voltímetro. Tiene las siguientes características: Marca Phyne con un rango de trabajo de 0 a 10 voltios. Este equipo mide la diferencia de potencial entre electrodos,

Amperímetro. Sus características son: Marca Phyne con rango de trabajo de 0 – 1A, 1-10 y 0 – 20^a. La función del amperímetro es la de medir la intensidad de corriente.

Celda Electrolítica. Es de un tipo bach elaborado de un material termoplástico. Sus dimensiones son:

- ✓ Ancho: 10 cm.
- ✓ Largo: 14 cm.
- ✓ Altura: 18 cm.

Electrodos para las pruebas Ánodo: Fue utilizado el fierro. Sus dimensiones son:

- Altura: 9 cm. - Ancho: 9 cm.

Cátodo: Se utilizó el aluminio permaneciendo constantemente con las dimensiones siguientes:

- Altura: 9 cm. - Ancho: 9 cm.

4.1.1.2. Construcción de la Celda Electrolítica

Este sistema se caracteriza por que opera como reactor Bach a escala prototipo. Su capacidad para tratar es de 1.0 litro de agua residual. Consta de una celda electrolítica de 1.0 litro en la cual están sumergidos los electrodos, las cuales son placas de forma rectangular metálica de hierro y

aluminio que se encuentran dispuestas paralelamente, conectadas a la corriente directa que provee de energía eléctrica suficiente para la electrocoagulación. Esta fuente de voltaje se caracteriza por tener controles de corriente y voltaje que son independientes y regulables.

La construcción del reactor está fundamentada en la dimensión del reactor donde se llevará a cabo la electrocoagulación, Se debe tener en cuenta las siguientes variables consideradas como importantes:

Volumen de la cuba de reacción.

Tipo de electrodos.

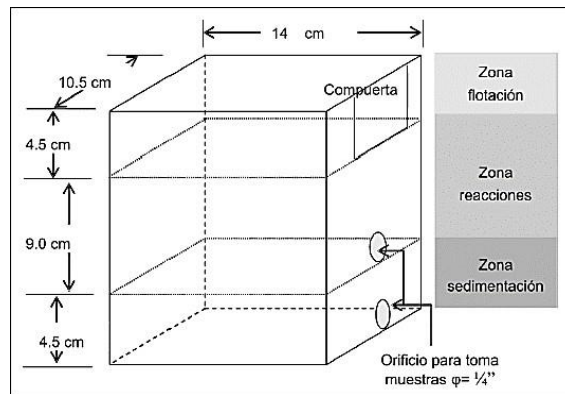
Forma y dimensiones de los electrodos.

Distancia entre los electrodos

4.1.1.3. Celda de electrocoagulación

La celda para electrocoagulación está diseñada con una distribución volumétrica contemplada en tres regiones: La región superior llamada Zona de Flotación la que está destinada para el depósito de lodos menos densos y las espumas (lodos de flotación); la Zona de Reacción es una región media donde ocurren las reacciones electroquímicas, es allí se hallan a los electrodos; y finalmente se cuenta con la Zona de Sedimentación en la región inferior, Allí se depositan los lodos de precipitación o lodos más densos. Ver Figura N° 10.

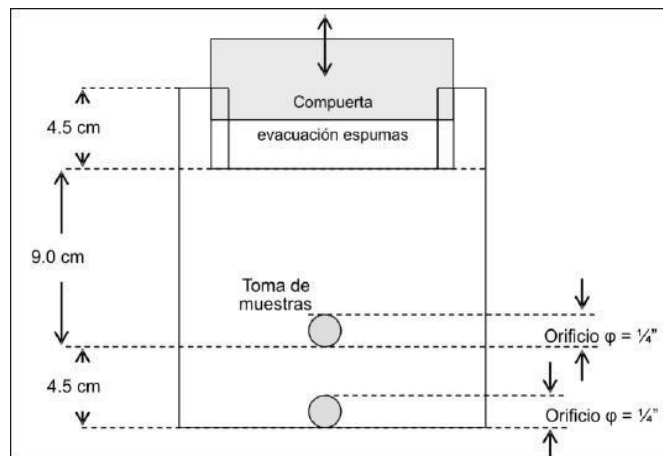
Ilustración 9: Dimensiones de la celda para electrocoagulación



Fuente: (Arango & Garcé, Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales, 2007)

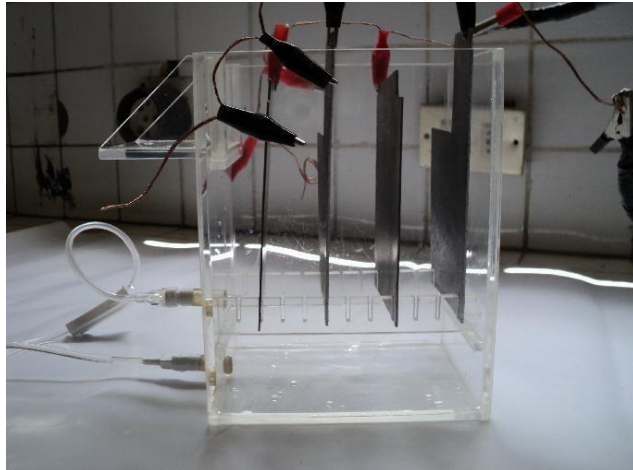
En la Figura N° 11 observamos detalles de la compuerta para espumas y la ubicación de los orificios que sirven para tomar las muestras. Ver

Ilustración 10: Detalle cara toma de muestras y evacuación de lodos



Fuente: (Arango & Garcé, Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales, 2007)

Ilustración 11: preparación de la celda electrolítica



Fuente: elaboración por la tesista

Selección del Material y dimensiones de los Electrodo:

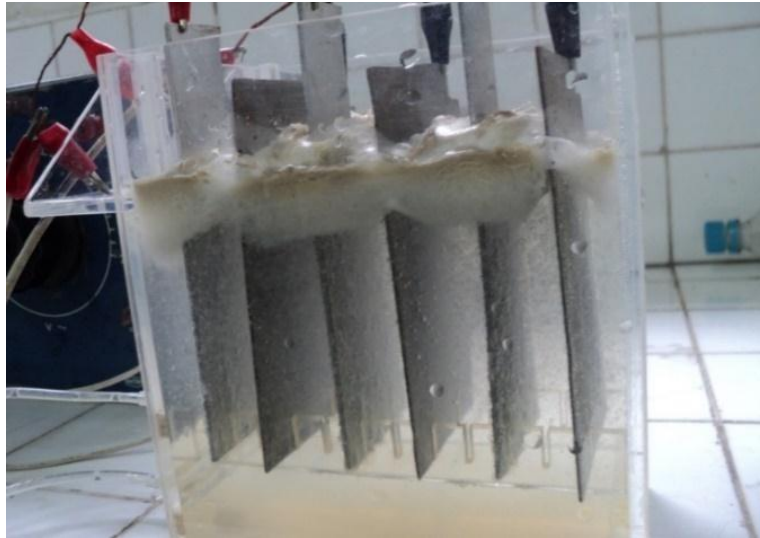
Los electrodos de hierro y aluminio fueron probados por las razones siguientes:

Existe disponibilidad de los metales

Materiales de costo barato

La amplia información bibliográfica favorece para reportar la eficiencia de las remociones de contaminantes. Los electrodos están diseñados con placas de forma rectangular que se encuentran dispuestas en serie. Estos son láminas de 3 mm de espesor. La distancia se ha establecido a una distancia de 2 cm entre placas. Con esta distancia el flujo del agua residual durante la electrolisis permite el flujo. Los electrodos estuvieron a una altura igual a la altura de la Zona de Reacción (9 cm.)

Ilustración 12: Electrodo (aluminio y fierro)



Fuente: elaboración por la tesista

Constantes y Parámetros

El ingreso de constantes o parámetros referidos ya sea a las propiedades del fluido (físicas, químicas, electroquímicas) o características propias del electrodo metálico, los valores consignados de los parámetros en el dimensionado se consideran invariables puesto que el proceso electroquímico es isotérmico además están medidos y adaptados a las condiciones de la ciudad de Huancayo es decir a una temperatura promedio de 15 °C y a una presión de 520 mm Hg.

Entre los parámetros considerados se tiene:

pH del efluente a tratar	Sólidos
Conductividad del efluente a tratar	totales
DBO en el efluente a tratar	Sólidos en suspensión
	Cloruros

DQO en el efluente a tratar	Calcio
Dureza total	Hierro
Dureza cálcica	Magnesio
Alcalinidad	Plomo
Oxígeno disuelto	Aceites y grasas
Sólidos disueltos	

Estudios de la caracterización de las aguas

Caracterización de la calidad de agua distribuida a la población de la ciudad de San Juan – Cerro de Pasco

Tabla 8: Caracterización de la calidad de agua distribuida a la población de la ciudad de San Juan – Cerro de Pasco

Parámetro	Unidad de medida	Concentración	CATEGORÍA 1-A Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable
Temperatura			Δ3
pH	Unidad de pH		5,5 – 9.0
Conductividad eléctrica	μs/cm		1 600
DQO	mg/L		20
DBO ₅	mg/L		5

FUENTE: Autoridad del Agua Local

4.1.2. Procedimiento experimental

En el trabajo de investigación se ha realizado la remoción alcanzada de contaminantes en el agua residual estudiada, para confirmar el poder de la corriente eléctrica en la desestabilización del equilibrio eléctrico provocando su precipitación.

Procedimiento:

Acomodamiento de los electrodos (Aluminio - Fierro).

Los electrodos se han ubicado en la celda electrolítica, separados en paralelo, espaciados utilizando separadores para que no exista contacto alguno entre los electrodos.

En la celda electrolítica se ha adicionado la muestra a tratar para el proceso de electrocoagulación.

Los electrodos fueron conectados a la fuente de poder, para proporcionar corriente continua.

La fuente de poder fue encendida estableciendo el voltaje de trabajo y tiempo de trabajo en una distancia de 2 cm.

Se observó los fenómenos que ocurrieron en el proceso de electrocoagulación. Una vez terminado el tiempo establecido en cada prueba, para la electrocoagulación, se procedió al apagado del equipo que proporciona la corriente continua.

Se han retirado los electrodos y utilizando una paleta se han retirado los compuestos electro coagulados que se extendieron en toda la superficie.

Retirada la capa electro coagulada por un tiempo de 20 min. se ha dejado en reposo de modo que los sólidos suspendidos se precipiten o se sedimenten.

Se tomó una muestra del agua electro coagulada para llevar a análisis fisicoquímicos.

Se hizo la repetición en el proceso para cada experimento o prueba.

Determinación de la distancia óptima

Se trabajó con la mínima y máxima distancia 1 cm y 3 cm según la propuesta planteada, adicionalmente se tuvo en cuenta la distancia de 2 cm basándonos a trabajos experimentales ya realizados los cuales reportan dicha distancia como óptima, y utilizando la combinación de electrodos Aluminio - Fierro.

Se realizó diferentes experimentos de electrocoagulación para cada caso, con el objetivo de determinar la distancia óptima, para el proceso de electrocoagulación, manteniendo constante el voltaje y tiempo.

Condiciones de Trabajo para Identificar la Distancia Óptima

Las condiciones de trabajo para el proceso, se mantuvieron constantes para las diferentes distancias ya que una variación de cualquiera de ellos afectaría en el proceso de electrocoagulación y nuestros resultados.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Se analizaron muestras tomadas del colector San Juan Cerro de Pasco de aguas residuales obtenidas cada semana durante 8 semanas para la remoción de contaminantes de las aguas residuales, se seleccionó tres pruebas las más significativas dentro de ellas la prueba experimental N° 3 por el conjunto de valores que presentó la mejor remoción de contaminantes. Los resultados encontrados se presentan en las tablas que presentamos a continuación seleccionadas de tres pruebas las que más remoción se obtuvieron.

Los contenidos de las aguas residuales al inicio de las investigaciones se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 9: Prueba experimental N° 1

Condiciones de operación	
Volumen tratado	1000 mL
Tiempo de operación	20 min
Tipo de operación	Batch
Voltaje inicial	2.8 V
Corriente inicial	0.05 A
Número de electrodos	8
Separación entre electrodos	4 cm
Cátodo	4 electrodos de aluminio
Ánodo	4 electrodos de fierro
Tamaño del electrodo	(10x15x0.2) cm
Área superficial del electrodo	150 cm ²

FUENTE: Elaboración propia

Interpretación:

En la tabla observamos las condiciones de operación para la ejecución de la prueba experimental número 10

Tabla 10: Resultados de análisis del agua residual

Parámetro	% de Agua Electrocoagulada	Remoción	Agua Residual
1. Temperatura °C		13.0	12.7
2. pH	11.46	11.5	13.0
3. Turbiedad NTU	16.13	130.0	155.0
4. Conductividad mhos	21.88	1.25	1.60
5. Alcalinidad CaCO ₃ mg/L	17.97	320.0	390.0
6. DQO mg/L	61.29	120.0	3100.0
7. Aluminio mg/L	17.86	2.30	2.80
8. Fierro mg/L	16.67	1.0	1.2
9. Aceites y grasas mg/L	91.71	135.0	1120.0

CONDICIONES DE OPERACIÓN		
10. Voltaje promedio	V	2.5
11. Corriente promedio	A	0.9
12. Densidad de corriente	A/m ²	6.3
13. Potencial	Kw-h/m ³	0.13

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En la tabla que antecede se observa que la remoción de los parámetros estudiados es significativa, especialmente los valores de DQO han disminuido de 3100 mg/L a 1200 mg/L, así como los otros parámetros a las condiciones indicadas.

Tabla 11: Prueba Experimental N° 2

Condiciones de operación	
Volumen tratado	1000 mL
Tiempo de operación	12 min
Tipo de operación	Batch
Voltaje inicial	5 V
Corriente inicial	0.05 A
Número de electrodos	8
Separación entre electrodos	2 cm
Cátodo	4 electrodos de aluminio
Ánodo	4 electrodos de fierro
Tamaño del electrodo	(10x15x0.2) cm
Área superficial del electrodo	295 cm ²

FUENTE: Elaboración por la tesista

Interpretación:

En la tabla 1 observamos las condiciones de operación para la ejecución de la prueba experimental número 2.

Tabla 12: Resultados de análisis del agua DEPURADA

Parametro	Unidades	Agua electrocoagulada	Agua residual
1. Temperatura	° C	13.0	12.7
2. pH	Sin unidades	10.0	13.5
3. Turbiedad	NTU	130.0	155.0
4. Conductividad	Mhos	1.25	1.65
5. Alcalinidad CaCO3 mg/L	mg/L	320.0	390.0
6. DQO	mg/L	970.0	3200.0
7. Aluminio	mg/L	2.40	2.90
8. Fierro	mg/L	0.95	1.05
9. Aceites y grasas	mg/L	128.0	1200.0
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
10. Voltaje promedio	V	2.5	
11. Corriente promedio	A	0.9	
12. Densidad de corriente	A/m ²	6.3	
13. Potencial	Kw- h/m ³	0.13	

FUENTE: Elaboración por la tesista

Interpretación:

En la tabla que antecede se observa que la remoción de los parámetros estudiados es significativa, especialmente los valores de DQO han disminuido de 3200 mg/L a 970 mg/L, el contenido de aceites y grasas en las aguas residuales con valores de 1200 mg/L han disminuido a 128 mg/L, así como los otros parámetros a las condiciones indicadas.

4.3. Prueba de la Hipótesis

Tabla 13: Prueba Experimental N° 3

Condiciones de operación	
Volumen tratado	1000 mL
Tiempo de operación	12 min
Tipo de operación	Batch
Voltaje inicial	5 V
Corriente inicial	0.05 A
Número de electrodos	8
Separación entre electrodos	2 cm
Cátodo	4 electrodos de aluminio
Ánodo	4 electrodos de fierro
Tamaño del electrodo	(10x15x0.2) cm
Área superficial del electrodo	295 cm ²

FUENTE: Elaboración por la tesista

Interpretación:

En la tabla observamos las condiciones de operación para la ejecución de la prueba experimental.

Tabla 14: Resultado de metales en el análisis de agua residual de Pasco

Parámetro	Unidades	Agua electrocoagulada	Agua residual
1. Temperatura	°C	13.0	12.7
2. pH	Sin unidades	9.5	13.0
3. Turbiedad	NTU	12.0	280.0
4. Conductividad	mhos	1.0	1.90
5. Alcalinidad CaCO ₃ mg/L	mg/L	25.0	405.0
6. DQO	mg/L	90.0	3000.0
7. Aluminio	mg/L	2.4	2.90
8. Fierro	mg/L	0.9	1.05

9.	Aceites y grasas	mg/L	15 0.0	1230.0
CONDICIONES DE OPERACIÓN				
10.	Voltaje promedio	V		2.5
11.	Corriente promedio	A		0.9
12.	Densidad de corriente	A/m ²		6.3
13.	Potencial	Kw-h/m ³		0.13

FUENTE: Elaboración por la tesista

Los resultados de la tabla que antecede nos parece la óptima alcanzada en el presente estudio porque se observa que la remoción de los parámetros estudiados ha superado dentro de las 10 pruebas realizadas, como se observa los valores de DQO han disminuido de 3000 mg/L a 900 mg/L, el contenido de aceites y grasas en las aguas residuales con valores de 1230 mg/L han disminuido a 150 mg/L, la disminución de 13 a 9.5 es significativo, así como la turbiedad ha disminuido de 280 NTU a 120 NTU. Indicando estos resultados que en esta prueba se ha alcanzado la mayor remoción de contaminantes de las aguas residuales.

4.4. Discusiones de resultados

Se evaluó que, para un volumen de 1000 ml con un tiempo de operación de 20 min, con un voltaje inicial de 2.5 V y una densidad de corriente inicial de 0.05 A, se obtuvo un % de remoción en aceites y grasas del 91.71 %. Determinándose así un voltaje promedio de 2.5 V.

Durante la segunda prueba experimental con una muestra de 1000 ml, con un tiempo de operación de 12 min con un voltaje promedio de 2.5 V y con una densidad de corriente de 0.9 A. los valores de DQO disminuyeron de 3200 mg/L a 970 mg/L; mientras que el contenido de aceites y grasas, se redujo un 89.4 % de 1200 mg/L a 128 mg/L.

Durante la tercera prueba experimental se determinó que, dentro de las 10 pruebas realizadas, se observa los valores de DQO han disminuido de 3000 mg/L a 900 mg/L, el contenido de aceites y grasas en las aguas residuales con valores de 1230 mg/L han disminuido a 150 mg/L, la disminución de 13 a 9.5 es significativo, así como la turbiedad ha disminuido de 280 NTU a 120 NTU.

CONCLUSIONES

Se ha logrado remover contaminantes en el agua residual estudiada en niveles significativos, confirmando la corriente eléctrica desestabiliza el equilibrio eléctrico provocando su precipitación. Estos materiales precipitados traen un incremento en los sólidos sedimentables, y la electrocoagulación necesariamente debe incluir a otras operaciones de tratamiento como la sedimentación y la filtración.

Se demostró que los sólidos precipitados y separados por la corriente arrastran materia orgánica, contaminando el agua. Asimismo, observamos una reducción en la Demanda Química de Oxígeno (DQO). También pueden darse los incrementos en el contenido de metales (hierro y Aluminio), por la misma acción del electrodo de sacrificio.

Se evaluó la distancia óptima de separación entre electrodos que resulto igual a 2 cm., y el voltaje óptimo es de 2.5 voltios, mientras que el tiempo de residencia óptimo del proceso es igual a 10 minutos para DBO5, DQO, aceites y grasas, p o r o t r o l a d o 30 minutos para sólidos suspendidos.

Se demostró que, al aumentar la densidad de corriente y el tiempo en el proceso de electrocoagulación, se incrementa el porcentaje de remoción de contaminantes en más de 90 %, influyendo significativamente en las características fisicoquímicas del agua del colector San Juan – Cerro de Pasco.

La densidad de corriente a 33.88 A/m^2 , obtuvo una mayor reducción de contaminantes en las características fisicoquímicas de agua recuperada en el proceso de electrocoagulación del colector San Juan – Cerro de Pasco.

Se concluye que la reducción de contaminantes es mayor a los demás tratamientos interactuando entre las variables interactuantes de la densidad de corriente con un valor de 33.88 A/m^2 , y un tiempo de 30 minutos.

RECOMENDACIONES

Para el tratamiento de aguas residuales que contenga materia orgánica como los del colector San Juan de Cerro de Pasco, se recomienda utilizar electrodos de aluminio en el ánodo y también en el cátodo para un tratamiento de electrocoagulación puesto que proporciona un tratamiento más limpio y ayudaría en la conservación de los electrodos.

Incorporar otros tratamientos como la sedimentación y filtración para complementar remoción de contaminantes generadores de coágulos contaminantes en el agua tratada, muy aparte del proceso de electrocoagulación

Solicitar a las Autoridades del Gobierno Regional y al Alcalde distrital de Yanacancha, para la ejecución de un proyecto destinando un presupuesto para el tratamiento de agua y este contribuir con el medio ambiente en materia de purificación de agua que llegue a las vertientes del río San Juan y al Lago de Junín.

Se recomienda el uso de mayor número de electrodos en un reactor, trabajando a una distancia mínima entre electrodos para la generación de mayor remoción en un menor tiempo de tratamiento.

Emplear diferentes generadores de energía no convencional, para contribuir con el medio ambiente.

Adicionar flujo de aire en el reactor ayuda de modo que el proceso de electrocoagulación sea eficiente, generando mayores cantidades de burbujas de aire ayudando a la suspensión de los contaminantes.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Aguilar, E. (2015). Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 18(35), Article 35. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v18i35.11843>
- Arango, A. (2005). *La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales*. *Revista Lasallista de investigación*, 2(1), 49-56.
- Arango Ruiz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Revista Universidad EAFIT*, 43(147), 56-67.
- Arévalo, D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 6, 101-126.
- Ayala, J., & Pardo, R. (1995). *Optimización por diseños experimentales con aplicaciones en ingeniería*. CONCYTEC.
- Baca Neglia, M. F. (2019). Evaluación de un sistema de tratamiento continuo por electrocoagulación para los efluentes domésticos y su reúso en el riego de jardines y áreas verdes. *Repositorio Institucional UNAC*.
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5539>
- Baque, R., Simba, L., Gonzales, B., Suatunce, P., Díaz, E., & Cadme, L. (2019). *Calidad de agua destinada al consumo humano*. *Revista Ciencia UNEMI*.
- Baquerizo, M., Acuña, M., & Solis-Castro, M. (2019). Contaminación de los ríos: Caso río Guayas y sus afluentes. *Manglar*, 16(1), 63-70.
<https://doi.org/10.17268/manglar.2019.009>
- Barışçı, S., Turkay, O., & Dimoglo, A. (2016). Review on greywater treatment and dye removal from aqueous solution by ferrate (VI). Ferrites and Ferrates: Chemistry

- and Applications in Sustainable Energy and Environmental Remediation. *ACS Publications*, 349-409. <https://doi.org/10.1021/bk-2016-1238.ch014>
- Barreto, D., & Chica, M. (2021). *Aplicación de humedales artificiales verticales para tratamiento de aguas residuales en Cuenca*. Universidad del Azuay.
- Bayramoglu, M., Kobya, M., Can, O. T., & Sozbir, M. (2004). *Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater* (Vol. 37). Separation and Purification Technology.
- Bokova, I., & Ryder, G. (2017). *Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado*. In *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura*. Obtenido de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Ag_uas_Residuales_composicion.pdf
- Bustamante, G. (2020). *Selección de microorganismos con capacidad de biorremediación provenientes de aguas residuales del Río Quevedo, Provincia de Los Ríos*. [Master's thesis, Quevedo: UTEQ].
- Cardona, I. (2021). *Desarrollo de nuevos materiales de electrodo para la obtención de Hidrógeno a partir de la electrólisis alcalina del agua*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Cabrera, J. J. H., Alcivar, L. C. M., Grijalva-Endara, A., Tinedo, R. W. S., & Tomalá, J. A. S. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Manglar*, 19(2), 177-187.
- Calderón Flores, V. R. (2019). Remoción de contaminantes orgánicos de aguas residuales industriales por electrocoagulación, con adición de peróxido de hidrógeno, en un reactor tubular. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5165>

- Cañizares, P., Martínez, F., Sáez, C., & Rodrigo, M. (2009). La electrocoagulación, una alternativa al proceso convencional de coagulación de aguas residuales. *Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry*, 66(539), Article 539. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/276653>
- Castrillón, A. A., & Agudelo, M. C. (2007). *Estudio de la factibilidad de un sistema de electrocoagulación para tratamiento de aguas procedentes de lavanderías industriales con fines de reusó*. Ingeniería Química. (Trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana Medellín].
- Cayllahua, L., & Ricse, Y. (2007). *Eliminación de residuos orgánicos (aceites y grasas) de aguas residuales por electrocoagulación*. [Doctoral dissertation, Tesis de grado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú].
- Celenza, J. (2000). *Industrial Waste Treatment Process Engineering guide: Biological Processes* (Vol. II). Technomic Publishing. Vol II, pp 207.
- Cenkin, V., & Belevtsev, A. (1985). *Electrochemical treatment of industrial wastewater*. *Effluent & water treatment journal*.
- Chen, G., Chen, X., & Yue, P. L. (2000). *Electrocoagulation and electroflotation of restaurant wastewater*. *Journal of environmental engineering*.
- Chen, X., Chen, G., & Yue, P. (2002). *Investigation on the electrolysis voltage of electrocoagulation* (Vol. 57). *Chemical Engineering Science*.
- Cruz Toribio, C., & Guerrero Guevara, J. L. (2015). *Estudio teórico experimental del proceso de remoción de hierro y manganeso del efluente de la unidad minera San Rafael MINSUR SA mediante la técnica de electrocoagulación electroflotación utilizando electrodo de hierro*.
- Cusiche Pérez, L. F., Miranda Zambrano, G. A., Cusiche Pérez, L. F., & Miranda Zambrano, G. A. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores

de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín', Perú. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1433-1447.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1870>

Custodio, M. (2013). *Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río cunas*. [Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Centro].

de Oca, J., Sosa, E., de Leon, C., & Oropeza, M. T. (2001). *Effective factors in an electrochemical reactor with rotating cylinder electrode for the acid-cupric/copper cathode interface process* (Vol. 56). Chemical Engineering Science.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrades, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (CENTRO AGUA).

Do, J. S., & Chen, M. L. (1994). *Decolourization of dye-containing solutions by electrocoagulation*. Journal of applied electrochemistry.

Estrada, L., Gutiérrez, M., Ibarra, E., Rojas, M., & Velaverde, J. (2017). *Agua Residual y Tratamiento*. Universidad Mayor de San Simón.

Favero, A. C., Favero, B. M., Souza, F. S., & Taffarel, S. R. (2020). Treatment of re-refining effluent from lubricating oils by combining electrocoagulation and coagulation-flocculation processes. *Journal of Environmental Science and Health, Part A.*, 55(4), 402-410.

Ge, J., Qu, J., Lei, P., & Liu, H. (2004). *New bipolar electrocoagulation - electrofloatation process for the treatment of laundry wastewate* (Vol. 36). Separation and Purification Technology.

Gilpavas, E., Arbeláez, E., Sierra, L., White, C., Oviedo, C., & Restrepo, P. (2008). *Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales*. Universidad eafit, 1, 1-85.

- Holt, P., & Barton, G. (2005). *The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology*. Chemosphere.
- Huerga, E. (2005). *Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnologías limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes*.
- Hurtado, J., & Santiago, E. (2017). *Remoción del color en las aguas residuales de los procesos de teñido de la cooperativa industrial manufacturas del centro LTDA. A nivel laboratorio mediante electrocoagulación*. [tesis para optar grado de maestro. Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Jiang, J., Graham, N., André, C., Kelsall, G., & Brandon, N. (2002). Laboratory study of electrocoagulation-fotation for water treatment. *Water Research*, 36, 4064- 4078.
- Jimeno, E. (1998). *Análisis de Aguas y Desagües*. Ediciones Banco de Libros. Dirección de Bienestar universitario. UNI .
- Kobyas, M., Oncel, M. S., Demirbas, E., Şık, E., Akyol, A., & Ince, M. (2014). *The application of electrocoagulation process for treatment of the red mud dam wastewater from Bayer's process*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(4), 2211-2220.
- Kumar, P., Chaudhari, S., Khilar, K., & Mahajan, S. (2004). *Removal of arsenic from water by electrocoagulation*. Chemosphere.
- Larios, J. F., Gonzáles, C., & Morales, Y. (2015). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú*. Saber y Hacer.
- Larue, O., Vorobiev, E., Vu, C., & Durand, B. (2003). *Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions* (Vol. 31). Separation and Purification Technology.

- Mendoza, A. G., Z, M. G., & Pacheco, C. Á. (2016). Aplicación del principio de electrocoagulación en el tratamiento del agua residual textil. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 9(26), 10.
- Milla Figueroa, A. C. (2019). Equipo de electrocoagulación con electrodos móviles para el tratamiento de aguas de pozo. [Tesis para optar el grado de Maestro en Gestión Ambiental. Universidad Nacional Federico Villareal].
- Mollah, M., Schennach, R., Parga, J., & Cocke, D. (2001). Electrocoagulation (EC)— science and applications. *Journal of hazardous materials*, 84, 29-41.
- Morales Figueroa, A. (2021). *Tratamiento de agua pluvial por el proceso de electrocoagulación con electrodo de aluminio*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/110089>
- Naciones Unidas & Programa para el Desarrollo. (2011). *Informe sobre desarrollo humano 2011. Un mejor futuro para todos*. Mundi-Prensa.
- Navarro, F. M. (2007). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Castilla-La Mancha]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=77603>
- Ögütveren, Ü. B., Gönen, N., & Koparal, S. (1992). Removal of dye stuffs from waste water: Electrocoagulation of Acilan Blau using soluble anode. *Journal of Environmental Science & Health Part A.*, 27(5), 1237-1247.
- Paz Valenzuela, E. (2016). Impacto geoambiental generado por la minería en el área circunscrita al río San Juan Provincia de Pasco, Departamento de Pasco. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3020>
- Pérez, A. E., Castillo Urueta, P., Estudillo Clavería, M. J., Martínez Cuatepotzo, B., Guzmán Flores, G., & Sánchez Ornelas, A. R. (2018). Uso de foro virtual

sobre la electrólisis de agua para la construcción social del conocimiento en Química I. *Eutopía*, 11(28), 78-84.

Piña, M., Martín, A., González, C., Prieto, F., Guevara, A., & García, J. (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). *Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación*. Sustentación de Tesis [Universidad Nacional del Centro del Perú].

Poveda Ávila, J. D., & Vela Camacho, O. G. (2021). *Eficiencia de un electrocoagulador como alternativa para el tratamiento de aguas residuales de una industria alimentaria*.
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/35286>

Ramallo, R. (1996). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Madrid, España: Reverté.

Rengifo, H., Acevedo, A., Aldana, M., & Calvo, E. (2007). *Aproximación diagnóstica y propuesta de políticas generales en materia de salud ambiental*. <http://cies.org.pe/files/active/1/ib24.pdf>

Restrepo Mejía, A. P. R., Arango Ruiz, Á., & Garcés Giraldo, L. F. (2020). La Electrocoagulación: Retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Article in Producción + Limpia*, 21.

Rigola, M. (1989). *Tratamiento de aguas industriales*, Marcombo. México: Marcombo.

Rodrigo, M., Cañizares, P., Llanos, F., Lobato, J., Martínez, F., Saez, C., & Palomar, M. (2014). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. REVERTÉ EDICIONES S. A.

- Ronquillo Rojas, E. (2019). *Remoción de dureza en alta concentración mediante electrocoagulación* [Universidad Nacional Autónoma de México]. https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000784561
- Salas, O. (2005). *Estudio a nivel de laboratorio del tratamiento y reutilización de las aguas residuales de la empresa textil hilatex* (Vol. 21). revista electrónica ciencia y tecnológica la industria ligera cubana.
- Saur, I. F., & Forde, J. (1996). Electroflocculation: removal of oil, heavy metals and organic compounds from oil-in-water emulsions. (O. Elsevier, Ed.) *Filtration & separation*, 33(4), 295-303, 5 p.
- Sehircilik, B. (2009). *Tratamiento y reuso de aguas residuales*. Manual Para Municipios Ecoeficientes.
- Tam, J., Vera, G., & Oliveros, R. (2008). *Tipos, métodos y estrategias de investigación científica*. Pensamiento y acción.
- UNESCO. (2019). *UN World Water Development Report 2019*. Obtenido de Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás. In Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Yavuz, Y., & Ögütveren, Ü. B. (2018). Treatment of industrial estate wastewater by the application of electrocoagulation process using iron electrodes. *Journal of environmental management*, 207, 151-158.
- WWAP, & UNESCO. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado*. UNESCO Publishing.
- Yáñez Varela, J., Montes, M. M., Viguera-Carmona, S., & Delgadillo, S. (2021). *Electrocoagulación de aguas residuales de la industria farmacéutica* (Vol.

9). Coloquio de Investigación Multidisciplinaria 2021 Journal CIM.

<https://www.researchgate.net/profile/Juan-Yanez->

Varela/publication/360010711_Electrocoagulacion_de_aguas_residuales_de_la

_industria_farmaceutica/links/625cbcaa1c096a380d0c905f/Electrocoagulacion-

de-aguas-residuales-de-la-industria-farmaceutica.pdf

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos

Prueba experimental N° 1

Condiciones de operación	
Volumen tratado	1000 mL
Tiempo de operación	20 min
Tipo de operación	Batch
Voltaje inicial	2.8 V
Corriente inicial	0.05 A
Número de electrodos	8
Separación entre electrodos	4 cm
Cátodo	4 electrodos de aluminio
Ánodo	4 electrodos de fierro
Tamaño del electrodo	(10x15x0.2) cm
Área superficial del electrodo	150 cm ²

Resultados de análisis del agua residual

Parámetro	% de Agua Electrocoagulada Remoción		Agua Residual
1. Temperatura °C		13.0	12.7
2. pH	11.46	11.5	13.0
3. Turbiedad NTU	16.13	130. 0	155.0
4. Conductividad mhos	21.88	1.25	1.60
5. Alcalinidad CaCO ₃ mg/L	17.97	320. 0	390.0
6. DQO mg/L	61.29	120 0.0	3100.0
7. Aluminio mg/L	17.86	2.30	2.80
8. Fierro mg/L	16.67	1.0	1.2
9. Aceites y grasas mg/L	91.71	135. 0	1120.0
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
10. Voltaje promedio	V	2.5	
11. Corriente promedio	A	0.9	
12. Densidad de corriente	A/m ²	6.3	
13. Potencial	Kw-h/m ³	0.13	

Prueba Experimental N° 2

Condiciones de operación

Volumen tratado	1000 mL
Tiempo de operación	12 min
Tipo de operación	Batch
Voltaje inicial	5 V
Corriente inicial	0.05 A
Número de electrodos	8
Separación entre electrodos	2 cm
Cátodo	4 electrodos de aluminio
Ánodo	4 electrodos de fierro
Tamaño del electrodo	(10x15x0.2) cm
Área superficial del electrodo	295 cm ²

Resultados de análisis del agua DEPURADA

Parametro	Unidades	Agua electrocoagulada	Agua residual
1. Temperatura	° C	13.0	12.7
2. pH	Sin unidades	10.0	13.5
3. Turbiedad	NTU	130.0	155.0
4. Conductividad	Mhos	1.25	1.65
5. Alcalinidad CaCO ₃ mg/L	mg/L	320.0	390.0
6. DQO	mg/L	970.0	3200.0
7. Aluminio	mg/L	2.40	2.90
8. Fierro	mg/L	0.95	1.05
9. Aceites y grasas	mg/L	128.0	1200.0
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
10. Voltaje promedio	V	2.5	
11. Corriente promedio	A	0.9	
12. Densidad de corriente	A/m ²	6.3	
13. Potencial	Kw- h/m ³	0.13	

Procedimiento de validación y confiabilidad

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

ANEXO 4: FICHAS DE VALIACIÓN POR
EXPERTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
ESCUELA DE POSGRADO

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION

TITULO DE LA INVESTIGACIÓN:

“Depuración de Aguas Residuales Urbanas por el Método de Electrocoagulación del Colector San Juan– Cerro de Pasco”

INVESTIGADOR:

Mónica Mercedes Limaymanta Marcos

ASPECTOS	INDICADORES	PREGUNTAS/ITEMS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado								X		
2.OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables								X		
3.ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología								X		
4.ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.								X		
5.SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad								X		
6.INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias								X		
7.CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico científicos								X		
8.COHERENCIA	Entre los índices ,indicadores y las dimensiones								X		
9.METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico								X		
10.OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno o más adecuado								X		
TOTAL ES									80		

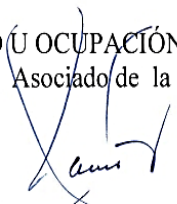
APELLIDOS Y NOMBRES DEL VALIDADOR:

Jonás Ananias RAMOS MARTINEZ

Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

CARGO (U) OCUPACIÓN:

Docente Asociado de la Facultad de Ingeniería de la UNDAC


 Firma
 DNI N° 20644899

Puntaje total= 80

LEYENDA:	00-20	DEFICIENTE()
	21-40	REGULAR ()
	41-60	BUENO ()
	61-80	MUYBUENO (x)
	81-100	MUYBUENO ()

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

ANEXO 4: FICHAS DE VALIDACIÓN POR
EXPERTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
ESCUELA DE POSGRADO

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION

TITULO DE LA INVESTIGACIÓN:

“Depuración de Aguas Residuales Urbanas por el Método de Electrocoagulación del Colector San Juan– Cerro de Pasco”

INVESTIGADOR:

Mónica Mercedes Limaymanta Marcos

ASPECTOS	INDICADORES	PREGUNTAS/ITEMS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado								X		
2.OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables								X		
3.ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología								X		
4.ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.								X		
5.SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad								X		
6.INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias								X		
7.CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico científicos								X		
8.COHERENCIA	Entre los índices ,indicadores y las dimensiones								X		
9.METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico								X		
10.OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno o más adecuado								X		
TOTAL ES									80		

APELLIDOS Y NOMBRES DEL VALIDADOR:

Mg. Wenceslao Julio LEDESMA VELITA

TITULO PROFESIONAL /GRADO ACADEMICO Y/O SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN

Maestro En Ciencia de Ingeniería.

Mención: Minería y Medio Ambiente.

CARGO U OCUPACIÓN:

Docente Universitario Asociado a D.E. de la UNDAC


Firma
DNI N° 04082345

Puntaje total= 80

FICHA

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:

“Depuración de Aguas Residuales Urbanas por el Método de Electrocoagulación del Colector San Juan– Cerro de Pasco”

INVESTIGADOR:

Mónica Mercedes Limaymanta Marcos

ASPECTOS	INDICADORES	PREGUNTAS/ITEMS											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado										X		
2.OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables										X		
3.ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología										X		
4.ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X		
5.SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad										X		
6.INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de la estrategias										X		
7.CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico científicos										X		
8.COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones										X		
9.METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico										X		
10.OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento Oportuno o más adecuado										X		
TOTALES											8		0

APELLIDOS Y NOMBRES DEL VALIDADOR:

Mg. Dr. Rojas Quinto Andrés Corcino

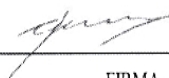
TÍTULO PROFESIONAL/GRADO ACADÉMICO Y/O SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN:

Ingeniero Químico, Doctor en Educación

CARGO U OCUPACIÓN:

Docente Universitario

Puntaje total= 80



FIRMA

DNI N° 19817308