

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

**“TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE LA LAGUNA “LA ENCANTADA”
APLICANDO LA ELECTROCOAGULACIÓN”**

PRESENTADO POR:

RICHARD ALBERTO DAVILA PUELLES

ASESOR:

Ing. Víctor Raúl Coca Ramírez

CIP 48044

HUACHO – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Esta Tesis se la dedico a mi madre Nelly Puelles Adrianzen, mi padre Alberto Davila y docentes que me apoyaron y creyeron en mi sin dudar. Un logro mas al gran almacén que tengo en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

Ese triunfo profesional tiene como agradecimiento sobre al Ing. Mg. Jose Jimenez, a el Ing. Chuquilin Teran, que sobre todas las cosas nos brindo su apoyo incondicional en mi formación como Ingeniero. Un noble agradecimiento que siempre estará presente. Agradecimiento a todas los colegas, profesionales que hicieron posible el desarrollo y culminación de esta tesis.

**“Tratamiento de las aguas de la laguna “La encantada” aplicando la
electrocoagulación”**

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.1. Problemas Específicos.....	2
1.3. Objetivos de Investigación.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación de la Investigación.....	3
1.5. Delimitación del Estudio.....	4
1.6. Viabilidad del Estudio.....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	5

2.1. Antecedentes de la Investigación	5
2.1.1. Antecedentes Internacionales	5
2.1.2. Antecedentes Nacionales	8
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Laguna la encantada	10
2.2.2. Tecnologías de tratamiento físico para la eliminación de partículas	11
2.2.3. Tecnologías de tratamiento Químico.....	15
2.2.4. Tecnologías de tratamiento biológico.....	19
2.2.5. Proceso Electrolítico.....	21
2.2.6. Oxidación y reducción de compuestos	22
2.2.7. Teoría de electroquímica	25
2.2.8. Electroflotación y electrocoagulación	27
2.2.9. Tipos y materiales de electrodos	29
2.2.10. Tratamiento electrolítico aplicado para el tratamiento de aguas	30
2.3. Definiciones conceptuales	35
2.4. Hipótesis de la investigación	36
2.4.1. Hipótesis General	36
2.4.2. Hipótesis Especifica	36
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.1. Diseño metodológico	37
3.1.1. Tipo.....	37
3.1.2. Nivel	37

3.1.3. Diseño	37
3.1.4. Enfoque.....	38
3.2. Población y muestra	38
3.2.1. Población	38
3.2.2. Muestra	38
3.3. Operacionalización de variables	38
3.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos.....	40
3.4.1 Técnicas a emplear	40
3.4.2. Descripción de los instrumentos.....	40
3.5. Técnicas para el procesamiento de información.....	40
CAPITULO IV: RESULTADOS	41
4.1. Caracterización fisicoquímica a las aguas de la laguna “La encantada” .	41
4.1.1. Determinación de la C.E.....	41
4.1.2. Determinación de los T.D.S	42
4.1.3. Determinación de la TUB (NTU).....	43
4.1.4. Determinación del pH.....	44
4.2. Determinación del DBO y DQO	45
4.2.1. Determinación del DBO inicial	45
4.2.2. Determinación del DBO luego del tratamiento	46
4.2.3. Determinación del DQO inicial.....	47
4.2.4. Determinación del DBO luego del tratamiento	48
4.3. Caracterización fisicoquímica al agua tratada electroquímicamente	49

4.3.1. Determinación del pH.....	49
4.3.2. Determinación del % C.E.....	50
4.3.3. Determinación del % SDT.....	51
4.4.4. Determinación de % TUB	52
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
5.1. Conclusiones.....	53
5.2. Recomendaciones	53
CAPITULO V: FUENTES DE INFORMACIÓN	55
6.1. Bibliografía.....	55
ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de Operacionalización de variables	39
Tabla 2. Datos de las muestras realizadas respecto a la C.E	41
Tabla 3. Datos de las muestras realizadas respecto a los T.D.S	42
Tabla 4. Datos de las muestras realizadas respecto al TUB (NTU)	43
Tabla 5. Datos de las muestras realizadas respecto al pH.	44
Tabla 6. Datos de las muestras realizadas respecto al % de DBO.....	45
Tabla 7. Determinación del %DBO a 2,4 y 6 amperios	46
Tabla 8. Datos de las muestras realizadas respecto a la DQO.....	47
Tabla 9. Determinación del %DQO a 2,4 y 6 amperios	48
Tabla 10. Determinación del pH a 2,4 y 6 amperios	49
Tabla 11. Determinación del % C.E a 2,4 y 6 amperios.....	50
Tabla 12. Determinación del % SDT a 2,4 y 6 amperios.	51
Tabla 13. Determinación del % TUB a 2,4 y 6 amperios.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dimensiones de biodigestores tubulares	7
Figura 2. Laguna "la encantada"	10
Figura 3. Esquema general de conversión	23
Figura 4. Electrolisis con electrodo inerte	27
Figura 5. Datos de las muestras realizadas respecto a la C.E.....	41
Figura 6. Datos de las muestras realizadas respecto a los T.D.S.....	42
Figura 7. Datos de las muestras realizadas respecto al TUB (NTU).....	43
Figura 8. Datos de las muestras realizadas respecto al pH.....	44
Figura 9. Datos de las muestras realizadas respecto a la DBO.	45
Figura 10. Líneas proyectada respecto al %DQO a 2,4 y 6 amperios.....	46
Figura 11. Datos de las muestras realizadas respecto a la DBO.	47
Figura 12. Línea proyectada respecto al %DQO a 2,4 y 6 amperios.	48
Figura 13. Línea proyectada respecto al pH a 2,4 y 6 amperios.....	49
Figura 14. Línea proyectada respecto al % C.E a 2,4 Y 6 amperios.	50
Figura 15. Línea proyectada respecto al % C.E a 2,4 Y 6 amperios.	51
Figura 16. Línea proyectada respecto al % TUB 2,4 y 6 amperios.	52
Figura 17. Laguna "La encantada"	57
Figura 18. Medición del parámetro del pH	57
Figura 19. Recoleccion de la agua de la laguna "La encantada"	58
Figura 20. Medicion del pH del lado opuesto de la laguna "La encantada".....	58

RESUMEN

Respecto a todos los inconvenientes sucedidos actualmente dentro del planeta, el énfasis principal de la investigación se basa en la preocupación sobre la conservación de la laguna “La encantada”; ubicada en el distrito de Santa María, provincia de Huacho, debido a que no se encuentra del todo limpia, lo cual ha sido objeto de estudio debido a la búsqueda de una solución con el fin de tratar el agua que proviene de ella.

La alternativa menos contaminante y más adecuada es la de electrocoagulación, debido a que no presenta agentes químicos contaminantes en todo su proceso a diferencia de otros métodos, la metodología fue recolectar muestras de diferentes áreas de la laguna “La encantada” con la finalidad de someterlo al mecanismo de electrocoagulación, se recolectó aproximadamente 30 litros de agua de la laguna, posteriormente se llevó al laboratorio para su respectivo análisis, en donde se dividieron en varias sub muestras.

Los resultados iniciales de la laguna “La encantada” indican que presentó una conductividad eléctrica de 2570 $\mu\text{S}/\text{cm}$; un SDT de 255.686 mg/l ; una turbidez de 121.4 NTU y un pH de 8.76, así mismo también presentaron una DBO de 1786 mg/l y una DQO de 3782.725 mg/l ; lo cual presentaron inquietudes al investigador debido a que la turbidez presente en el agua no era la más óptima y adecuada, posteriormente las muestras se sometieron a electrocoagulación variando de manera oportuna el amperaje de 2,4 y 6 y el tiempo de 10, 20, 30 y 40 minutos respectivamente, posterior al tratamiento los datos obtenidos de la DBO más bajos se dieron en un amperaje de 6 y un tiempo de 40 minutos siendo este de 29.54% respecto a la cantidad inicial, mientras que para la DQO los datos más bajos se dieron en un amperaje de 6 y un tiempo de 40 minutos siendo este 37.99% de la cantidad inicial.

Palabras claves: Electrocoagulación, Laguna, Conductividad, Amperaje.

ABSTRACT

Regarding all the inconveniences that currently occur on the planet, the main emphasis of the research is based on the concern about the conservation of the "La Encadada" lagoon; located in the district of Santa María, province of Huacho, because it is not completely clean, which has been the object of study due to the search for a solution in order to treat the water that comes from it.

The less polluting and more suitable alternative is electrocoagulation, because it does not present contaminating chemical agents in its entire process, unlike other methods, the methodology was to collect samples from different areas of the "La Encadada" lagoon in order to submit it To the electrocoagulation mechanism, approximately 30 liters of water were collected from the lagoon, later it was taken to the laboratory for its respective analysis, where they were divided into several sub-samples.

The initial results of the "La Encadada" lagoon indicate that it has an electrical conductivity of 2570 us / cm; a TDS of 255,686 mg / l; a turbidity of 121.4 NTU and a pH of 8.76, as well as a BOD of 1786 mg / l and a COD of 3782,725 mg / l; which showed concerns to the researcher because the turbidity present in the water was not the most optimal and adequate, subsequently the samples were subjected to electrocoagulation varying in a timely manner the amperage of 2,4 and 6 and the time of 10, 20 30 and 40 minutes respectively, after the treatment the data obtained from the lowest BOD were given at an amperage of 6 and a time of 40 minutes, this being 29.54% with respect to the quantity, while for the COD they were given at an amperage 6 and a time of 40 minutes, this being 37.99% of the initial amount.

Keywords: Electrocoagulation, Lagoon, Conductivity, Amperage.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la provincia de Huaura posee de manera oportuna la ventaja de un humedal de vital importancia, encontrado al sur directo a pampas de ánimas, cuyo nombre es mas conocido como la laguna “La encantada”.

Las actividades que normalmente se ejecutan dentro de su localidad, están separadas por diferentes áreas, entre ellas aproximadamente el 49% de los pobladores se encargan a la agricultura, mientras que el 24% se encarga de la obtención de junco y totora.

El 19% de los habitantes de esa localidad están en función a los recursos que brinda la laguna y su ambiente, teniendo los peces denominado tilapia que son los de mas frecuencia. La gran mayoría de los habitantes de ese sector están conformes que la laguna presente metas turísticas, no obstante, el 69% indico un mayor interés en manipular los peces con fines comerciales.

Es relevante efectuar un optimo manejo de las acciones respecto al entorno de la laguna, con el fin de que posea todos los requisitos necesarios de buenas prácticas ambientales, en función a la pesca, asi mismo también buscar la manera de reducir la contaminación marítima que presenta el agua a través de un método no contaminante y amigable con el medio ambiente. Estos niveles de contaminación dentro del agua deben controlarse con la finalidad de tener un ambiente sano y saludable para los habitantes de la localidad.

Normalmente dentro de la laguna podemos encontrar diversos tipos de peses como lisa, bagre, carpas entre otros, asi mismo también encontramos aves migratorias como la garza y algunos patos silvestres. Además se puede encontrar una gran amplia gama de inceptos y hormigas, los cuales se desarrollan en vegetación propia.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Descripción de la realidad problemática

Las características del agua de la laguna indican de manera visible señales de contaminación severas, las cuales se requiere una vital importancia y atención, esta investigación tiene la finalidad de colaborar de manera directa con su conservación, se ha podido apreciar que en algunos lugares dentro de la laguna se muestran una gran cantidad de plantas acuáticas, esto se debe a la alta concentración que presenta de nutrientes, esto se debe por las acciones que se emplean o desarrollan en la laguna, así como la crianza de peces, así mismo se realizan paseos en botes de la laguna, absolutamente todas esas acciones antrópicas tanto de manera directa o indirecta influyen en la disminución de la calidad del agua, lo cual genera el riesgo de la flora y fauna presentes en dicha zona.

La finalidad de la tesis presenta como meta ayudar de manera óptima a la conservación de la laguna, con la finalidad de conservar su ecosistema y así mismo asegurar el uso sostenido de sus recursos. Lo cual se efectuará en dos pasos, la primera es examinar de manera directa el agua de la laguna con el fin de medir la calidad de esta, y la segunda plantear el mecanismo adecuado para la disminución de contaminantes que presenta en ella y planear la forma de reducir su contaminación,

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera se tratará las aguas de la Laguna “La encantada” aplicando la electrocoagulación?

1.2.1. Problemas Específicos

- ¿Cómo caracterizar las aguas de la laguna “La encantada” ubicada en el distrito de Santa Maria – Huaura?

- ¿Cómo determinar los parámetros de DQO y DBO de la laguna “La encantada” ubicada en el distrito de Santa Maria – Huaura antes y después del tratamiento electroquímico?
- ¿Cual son los parámetros más adecuados y óptimos respecto al mecanismo de electrocoagulación de las aguas provenientes de la laguna “La encantada” ubicada en el distrito de Santa Maria – Huaura?

1.3. Objetivos de Investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar el tratamiento adecuado de las aguas de la Laguna “La encantada” aplicando la electrocoagulación.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las aguas de la laguna “La encantada” ubicada en el distrito de Santa Maria – Huaura.
- Determinar los parámetros de DQO y DBO de la laguna “La encantada” ubicada en el distrito de Santa Maria – Huaura antes y después del tratamiento electroquímico.
- Determinar los parámetros más adecuados y óptimos respecto al mecanismo de electrocoagulación de las aguas provenientes de la laguna “La encantada” ubicada en el distrito de Santa Maria – Huaura.

1.4. Justificación de la Investigación

Esta indagación presenta una justificación optima, debido a que el estudio se enfocará en determinar los parámetros adecuados para la laguna “La encantada”, asi mismo también la DBO y DQO, posterior a un tratamiento electroquímico, que permitirá de manera adecuada mostrar los parámetros del agua tratada, brindando asi un adecuado uso y tratamiento para la laguna “La encantada”. No obstante, se necesitó una amplia

bibliografía respecto al tema, en donde se utilizaron mecanismos de tratamiento de aguas residuales, en donde el más adecuado fue el de electrocoagulación.

1.5. Delimitación del Estudio

De acuerdo con las limitaciones de tiempo, el proyecto será ejecutado dentro de un periodo de 8 meses, empezando aproximadamente en noviembre del 2019 y culminando el mes de julio del 2020.

De acuerdo con la limitación de lugar, la investigación es empírica realizándose los procedimientos respecto al análisis de agua en los laboratorios de la UNJFSC, así mismo también el límite del campo de recolección abarca toda la laguna “La encantada”.

1.6. Viabilidad del Estudio

El proyecto es viable porque el investigador presenta de manera oportuna los recursos óptimos y necesarios con el fin de llevar a cabo la investigación, así mismo como su culminación, también presenta la asesoría necesaria con expertos en el tema a tratar.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Indicando a (Olvera, 2016) en su indagación, nos concluye lo mostrado a continuación:

- A través de los datos calculados que tienen correspondencia directa al análisis empleado en la indagación y sabiendo los parámetros fisicoquímicos del agua; se calculó de manera directa la implementación del mecanismo del plan de lagunaje a través del rediseño, lo cual se define a continuación:
- Se determinó la existencia de una sobredimensión en la laguna anaerobia, la que presenta un área de 7650 m² mientras que en el análisis se obtuvo un área de 3440 m², lo que representa una reducción del 45% del área de trabajo, estableciendo que el presente estudio se considera para el 100% de la población urbana conectada al sistema de alcantarillado sanitario.
- En la eficiencia del sistema calculado tenemos que el agua residual cruda ingresa con 260 mgDBO₅/l a la laguna anaerobia, la cual remueve el 50% es decir, el efluente de esta laguna será de 130 mgDBO₅/l. Mientras que la eficiencia de remoción de la laguna facultativa es del 67%, dejando un efluente final de descarga al cuerpo hídrico de 43 mgDBO₅/l, el que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA.
- El cálculo de la laguna facultativa presenta un incremento en el área de 2130 m², lo que significa el 25% que debe ser considerada a futuro. El aumento del área está en función de la carga superficial y la temperatura de la cabecera cantonal de Palestina.

De acuerdo con (Lozano & Orellana, 2017) indicaron en su indagación, las siguientes conclusiones:

- En función a los datos adquiridos respecto al mecanismo de vital importancia empleado en el agua residual originada del establo denominado la estación, se llegó a la conclusión que es de tipo anaeróbico, esto más que todo es debido a que presenta carga orgánica, por ende se ayudo de un pretratamiento con el fin de homogenizar la mezcla, así mismo también para prevenir algún posible inconveniente dentro de la digestión anaeróbica y por ende aumentar la calidad del efluente.
- El gas biológico obtenido posee un énfasis positivo respecto al mecanismo presentado, esto mas que todo siempre y cuando se brinde de manera adecuada el 90% de su aprovechamiento. Respecto a la propuesta mencionada esta puede suplir el 100% de acuerdo con la demanda calorífica necesitada dentro de la cocina del sector de la empresa, así reduciendo de manera vital la proporción de proporción de gas propano requerido.
- El gas biológico obtenido luego de la digestión anaeróbica, tienden a ser reutilizados de manera adecuada en el riego de poteteros, así como también el diversas zonas verdes de la misma empresa, también son utilizados y empleados como abono para las diversas acciones agrícolas efectuadas de manera empírica.
- Respecto al biodigestor de menos costo y mas adecuado para el mecanismo anaeróbico y de acuerdo con el agua originada dentro de la empresa es de polietileno, por el cual se efectuó un reacomodo de dos diferentes tipos de biodigestores, los cuales fueron el de laguna cubierta y el tubular; en donde se

colocaron de manera paralela. Los datos adquiridos por ambos a través de fórmulas son los siguientes:

Biodigestor de laguna cubierta		Biodigestores Tubulares	
Volumen de biodigestor (V_L)	41.6 m ³	Volumen de biodigestor (V_b)	20.88 m ³
Zanja		Diámetro biodigestor	1.59 m
Ancho inferior (A_i)	1.0 m	Longitud del biodigestor (L_L)	10.46 m
Largo Superior (L_s)	15.80 m	Ancho de manga (A_{manga})	2.5 m
Largo inferior (L_i)	13.60 m	Zanja	
Geomembrana		Volumen (V_{zanja})	14.48 m ³
Largo	15.80 m	Largo Superior (L_s)	1.34 m
Ancho	3.40m	Largo Inferior (L_i)	1.13 m

Figura 1. Dimensiones de biodigestores tubulares

- Al examinar y analizar la experiencia que presenta la misma empresa respecto a la utilización de biodigestores, la opción mas optima para ejecutar el plan, es el digestor tubular, y por ende a un futuro utilizar de manera optima el de laguna cubierta, si fuese el caso de cambiarse.
- Con el diseño del plan propuesto y su fabricación a un periodo no lejano se conseguirá disminuir de manera óptima la polución originada en los sueños y agua, debido a que brindan como opción una alternativa innovadora y novedosa respecto al mecanismo de desechos orgánicos del establo, así reducción el impacto al entorno ambiental originado al desprenderse en la quebrada del rio Cacapa.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

De acuerdo con (Rojas, 2016) en su investigación, nos indica de manera amena lo siguiente:

- Se caracterizó fisicoquímicamente en sus principales parámetros cuyos resultados se muestran en las tabla presentadas, donde se observa que una gran concentración de nutrientes que fomenta el desarrollo de flora y fauna extraña a la laguna
- Durante su desarrollo de esta flora y fauna producto de un proceso de eutrofización implica el uso de una gran cantidad del oxígeno disuelto y producción de materia orgánica formando gran cantidad de fangos que se van depositando paulatinamente en el fondo de la laguna.
- Se encontró a nivel superficial en las aguas de la laguna solidos disueltos y suspendidos en una proporción moderada según la zona de toma muestra, apreciándose una tendencia a su reducción a medida que las aguas se aproximan a la zona de rebose de la laguna por la activación de los mecanismos de autorregulación de la laguna por mantener sus equilibrios bioquímicos propios.
- Observando las tablas se deduce del parámetro fisicoquímico un importante porcentaje de remoción de contaminantes por afición natural de la laguna, esa remoción podría incrementarse si se tomaran medidas correctivas a nivel de acción antrópica motivada por una política municipal de cuidado y protección ecológica de la laguna La Encanada.
- La prueba estadística confirma, el resultado óptimo logrado naturalmente por la laguna por un tratamiento de autorregulación de la laguna, aplicando el

MINITAB ANOVA unidireccional y la Distribución “F”, pero que aún no alcanza una significancia al 5%.

Según (Humire, 2013) en dicha indagación realizada, nos indica de manera precisa lo siguiente:

- Se realizó la evaluación del sistema de lagunas de estabilización de la ciudad de Azángaro, basándonos en la metodología planteada. Pudiéndose determinar que el sistema no está trabajando eficientemente ya que su eficiencia de remoción es baja. La eficiencia de tratamiento del sistema mediante Los parámetros evaluados es: DBO5 37.04%, DQO 34.06%, Aceites y Grasas 54.04%, Sólidos totales en suspensión 46.41%. También se determinó la eficiencia de remoción de Coliformes Totales 69.44% y Coliformes Fecales 61.07%.
- La eficacia respecto al porcentaje de remoción a partir de los datos de DBO5 y Coliformes Fecales en función a los modelos, son la eficacia de remoción de sustancia orgánica, CEPIS 81% Maris-Shaw 71.15%; y la eficacia del porcentaje de remoción de Coliformes Fecales, Marais – Shaw 81.74%, Wehner y Wilhelm 96.95%.
- El sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Azángaro, debe de tener un comportamiento en sus lagunas como facultativas, lo que se sustenta al comparar la carga superficial aplicada 243.80 (Kg.DBO5/Has/día), es menor a la carga superficial máxima admisible 266.76 (Kg.DBO5/Has/día) y están dentro del rango para cargas de diseño de lagunas facultativas de 50 y 300 kg de DBO/Ha/día. Lo que confirma que las lagunas operan como facultativas, sin embargo la profundidad útil de las lagunas es de 0.60cm. lo que significa q estas lagunas están trabajando como aerobias.

- De acuerdo con el equilibrio hidráulico se halla o determino que los gastos respecto al caudal en em mecanismo son de 1.70 lts/seg, lo que es igual al 12% de gasto dentro del efluente, dato que es sobreestimado, debido a que supera de manera considerable los parámetros dados, ya que el valor tiene que ser bajo, para ser mas precisos mejor al 10% del caudal ingresado, pero por algún motivo no demasiado elevado.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Laguna la encantada

La laguna “la encantada” se encuentra ubicada en el distrito de Santa Maria, aproximadamente a unos 6,9 km de distancia de la UNJFSC, a $11^{\circ}8'06''$ de latitud y $-77^{\circ}33'$ de longitud, así mismo también presenta una altitud de 135 msnm.



Figura 2. Laguna "la encantada"

2.2.2. Tecnologías de tratamiento físico para la eliminación de partículas

Los procesos de separación sólido-líquido se utilizan ampliamente a nivel industrial y el tratamiento del agua no es una excepción. Estas separaciones engloban una variedad de equipos y técnicas, teniendo en cuenta el tipo de separación, su fuerza motriz o el modo de funcionamiento (continuo o discontinuo). (Santo, 2015)

Los procesos de separación sólido-líquido se pueden clasificar en dos modos principales de separación:

Sedimentación: la separación se realiza en base a la diferencia de densidades entre las partículas y el fluido, cuando se aplica un campo de fuerza. Las partículas se depositan en el fondo y el líquido se clarifica. Cuando se trata de la retención de partículas muy pequeñas, es fundamental recurrir al uso de coagulantes y floculantes. (Santo, 2015)

Lechos Granulares Mixtos: la suspensión a separar pasa por un medio filtrante donde se retienen las partículas, clarificando el fluido. (Santo, 2015)

Las tecnologías asociadas al tratamiento físico del agua, para la eliminación de partículas finas, pueden ser las de retención en lechos granulares y las tecnologías que utilizan membranas. (Santo, 2015)

Retención en lechos granulares mixtos

Los mismos lechos granulares no se han aplicado en el tratamiento de aguas municipales e industriales, así como en el tratamiento de aguas residuales. Aparte de la sedimentación, este es el proceso más utilizado para separar las partículas existentes de las aguas residuales. Las aplicaciones más comunes de este tipo de ley, en estaciones de tratamiento de aguas residuales, son (Santo, 2015):

Eliminación de flóculos, químicos y biológicos, dos efluentes, segundo o secundario tratamiento, después de las estaciones de tratamiento,

Eliminación de sólidos seguida de coagulación química de aguas residuales, no tratamiento terciario.

El uso de lechos granulares envuelve el paso del agua, a través de un medio compuesto de material granular, dando como resultado dos depósitos sólidos que no se leen. Con el tiempo, la pérdida de carga a largo plazo se vuelve excesiva o la capacidad de eliminar sólidos disminuye. Por lo tanto, es necesario limpiarlo o leerlo, para restaurar las condiciones de operación y la calidad del efluente, para aceite fresco. El tiempo de funcionamiento entre los lavados de la cama y el llamado ciclo. (Santo, 2015)

Un lavado bajo denominado "retrolavado", se lleva a cabo mediante un flujo de agua de lavado ascendente y un flujo de arco comprimido, en un régimen turbulento. Lavado ascendente estratifica o lecho según la velocidad de sedimentación de partículas de medio, determinado tamaño de cabello forma y gravedad específica de dos materiales de medio. Normalmente, del 5% al 10% del volumen procesado se utiliza para lavar agua. (Santo, 2015)

En el tratamiento de agua, o el uso de columnas de lecho fijo (retención en lechos mixtos) es una práctica más común en este tipo de equipos que se abordará con más profundidad. (Santo, 2015)

Los equipos pueden ser columnas fechadas, permitiendo presiones de entrada superiores a la atmosférica, o columnas abiertas, donde apenas existe presión hidrostática sobre el lecho, para superar la pérdida de carga (lechos de gravedad). (Santo, 2015)

Retención a largo plazo, ha depositado partículas en suspensión, sobre la superficie del lecho, provocando un bloqueo al paso del líquido, como si se tratara un filtro de aire. Este fenómeno provocará un aumento de la pérdida de carga durante un

largo período de tiempo y una disminución del flujo de paso, ya que este tipo de equipo solo es adecuado para suspensiones con bajo contenido de sólidos (alrededor de 0,5 g / L). (Santo, 2015)

Lechos de gravedad

Los lechos de gravedad se caracterizan por utilizar la gravedad como fuerza motriz en el flujo de suspensión, a través del medio poroso. Las camas pueden ser de velocidad superficial lenta o rápida. (Santo, 2015)

Lechos de gravedad: velocidad superficial lenta

El medio filtrante normalmente utilizado es arena fina, con diámetros entre 0,15 y 0,35 mm, y la velocidad de flujo es muy lenta (entre 0,1 y 0,4 m / h). (Santo, 2015)

Esta operación se caracteriza por la formación de una capa de materia biológica en la superficie del lecho de arena. Este biofilm contiene algas, bacterias, hongos y otros organismos acuáticos y se encarga de retener eficazmente los sólidos en el agua a tratar, como si se tratara de un filtro de arena. (Santo, 2015)

A medida que el agua pasa a través del lecho mixto, las partículas suspendidas quedan atrapadas y el material orgánico disuelto se adsorbe en el lecho.

A medida que crece la biopelícula, disminuye el flujo de filtración y el filtro pierde su eficacia. Así, cuando la caída de presión toma valores altos, es necesario remover el biofilm existente, raspando mecánicamente la superficie del medio, y también es necesario retrolavar el lecho de arena. (Santo, 2015)

Lechos de gravedad: velocidad de superficie rápida

El lecho normalmente se llena con arena con un diámetro de más de 0,55 mm. La velocidad de escorrentía superficial también alcanza valores muy superiores a los del equipo de retención lenta, situándose entre 4 y 21 m / h. (Santo, 2015)

En este caso, la retención tiene lugar en el propio medio granular y los sólidos en suspensión se retienen a lo largo del lecho. (Santo, 2015)

Durante la retención, la caída de presión aumenta a medida que se retienen las partículas. Cuando este alcanza un valor crítico, se debe realizar un lavado del lecho haciendo pasar un flujo de agua de lavado en un flujo ascendente y en condiciones turbulentas (“retrolavado”). (Santo, 2015)

Otro indicador importante de la obstrucción del lecho es el valor de turbidez del agua filtrada. A medida que el material del filtro se satura con partículas atrapadas, aumenta la turbidez del filtrado. Por lo tanto, cuando el valor de turbidez o el valor de caída de presión es alto, el lecho debe lavarse. (Santo, 2015)

Los dispositivos de retención rápida son particularmente efectivos para eliminar partículas en suspensión con diámetros desde 1 μm . Si se desea eliminar compuestos con diámetros menores, es necesario utilizar un pretratamiento, agregando coagulantes y floculantes al agua a tratar. (Santo, 2015)

Ultrafiltración de membrana

Los procesos que utilizan membranas como la ultrafiltración y la microfiltración se caracterizan como procesos de separación. A través de estos procesos, las partículas finas dispersas se pueden separar de la suspensión a tratar. Estos procesos se basan en el transporte de membranas, es decir, el paso de solutos o disolventes a través de membranas delgadas y porosas, generalmente de origen polimérico. (Santo, 2015)

En las membranas, las partículas se retienen en la superficie de la membrana, o una profundidad de 10 a 15 μm .

Hay varias condiciones que pueden afectar el funcionamiento de la membrana, como la temperatura, el pH y la presión.

La presión de trabajo puede tener dos efectos sobre la filtración de la membrana: si la presión permanece constante, el flujo a través de la membrana disminuirá con el tiempo, debido a la formación de una capa biológica cerca de la membrana. Para mantener el flujo constante, la presión de trabajo deberá aumentar con el tiempo. Sin embargo, al aumentar la presión, las moléculas atrapadas en la superficie de la membrana se ven obligadas a pasar a través de la membrana, lo que resulta en un proceso de separación menos eficiente. (Santo, 2015)

El uso de la ultrafiltración como proceso de separación tiene algunas ventajas:

La ultrafiltración es un proceso que puede operar a bajas temperaturas.

No se requieren cambios de fase para la separación de materiales

No se requieren reactivos químicos ni catalizadores para las separaciones.

La ultrafiltración, a través de membranas de fibra hueca, se ha aplicado en el tratamiento de agua, debido a la compactación de los módulos de membrana y al bajo volumen de retrolavado requerido para lavar las fibras huecas. Sin embargo, la ultrafiltración requiere presiones de trabajo más altas (1,5 - 2,5 bar) y puede tener problemas de ensuciamiento cuando el agua tiene partículas de menos de 1 μm de diámetro, lo que aumenta los costos de limpieza. (Santo, 2015)

2.2.3. Tecnologías de tratamiento Químico

Precipitación Química

La precipitación química es un proceso que implica la adición de agentes químicos en la solución, con el fin de cambiar el estado físico de los sólidos disueltos y suspendidos, facilitando su remoción, mediante sedimentación o filtración. (Santo, 2015)

En el tratamiento de aguas siempre se ha utilizado la precipitación química para ayudar al proceso de sedimentación, aumentando la remoción de sólidos en suspensión o materia orgánica, especialmente cuando se observaban variaciones en estos parámetros

en el agua. Con la necesidad de obtener una remoción más eficiente de compuestos orgánicos y nutrientes, así como de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} y Fe^{3+} existentes en el agua, el proceso de precipitación ha ganado un nuevo interés en estos tratamientos.

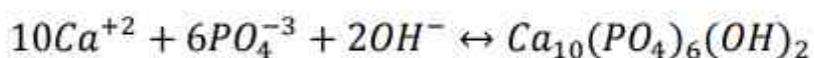
Se utilizaron diversas sustancias como precipitantes químicos, como sales de hierro, cal y aluminio. (Santo, 2015)

El grado de clarificación del agua depende de la cantidad de precipitante utilizada y del control del proceso en sí. Es posible, mediante precipitación, obtener un efluente claro, sustancialmente libre de materia en suspensión, pudiendo eliminarse entre el 80 y el 90% de materia en suspensión y entre el 40 y el 70% de materia orgánica. (Santo, 2015)

La eliminación de nutrientes del agua implica la incorporación de iones fosfato a los sólidos en suspensión y su posterior eliminación. Los nutrientes se pueden incorporar en sólidos biológicos (tratamiento biológico) o precipitados (tratamiento químico). (Santo, 2015)

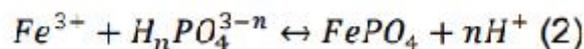
Específicamente, para la eliminación de partículas del agua, los compuestos químicos utilizados en la precipitación incluyen sales metálicas (hierro y aluminio) y cal. La precipitación química tiene lugar mediante la adición de iones polivalentes, que forman precipitados con los iones solubles en agua. Los iones más utilizados para este fin son $\text{Ca}^{(II)}$, $\text{Al}^{(III)}$ y $\text{Fe}^{(III)}$. (Santo, 2015)

El calcio normalmente se agrega en forma de cal, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Cuando se agrega cal al agua a tratar, reacciona con los iones carbonato presentes, precipitando CaCO_3 . A medida que aumenta el pH del agua, el exceso de iones de calcio reacciona con el fosfato, precipitando un compuesto llamado hidroxiapatita, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. (Santo, 2015)



El uso de cal en la precipitación química es menos frecuente ya que aumenta sustancialmente la masa de lodos en el tratamiento del agua.

Las reacciones de los iones de hierro y aluminio se muestran a continuación.



La eficiencia de la eliminación de la precipitación química se ve afectada por varios factores, incluido el pH del agua, su alcalinidad, la dosis de coagulante utilizada, la velocidad de agitación y las sustancias que pueden interferir. (Santo, 2015)

La eliminación de nutrientes por el aluminio es altamente dependiente del pH, con un pH óptimo entre 5.7-6., Y para este valor de pH, una concentración de 80 mg / L eliminó el 83% de las partículas. En el caso del calcio, la eficacia de eliminación aumenta al aumentar el pH. (Santo, 2015)

Con respecto a la eliminación de calcio y magnesio del agua para alcanzar valores muy bajos, alrededor de 8 ppm como CaCO₃, es recomendable utilizar fosfato de sodio o hidrofosfato de sodio. (Santo, 2015)

Se pueden aplicar coagulantes como sales de aluminio y cloruros férricos antes del tratamiento con lechos mixtos o ultrafiltración para aumentar el tamaño de las partículas y facilitar el proceso de separación. (Santo, 2015)

Una de las alternativas más estudiadas en la adición de coagulantes y floculantes, para la remoción de compuestos solubles, es el uso de adsorbentes en lechos fijos. Los compuestos más utilizados son los hidróxidos férricos granulares, los compuestos granulares de aluminio y las zeolitas. El mecanismo de eliminación es un proceso que combina intercambio iónico complejo y precipitación química. La afinidad y capacidad del adsorbente para adsorber aniones solubles depende del pH, la fuerza iónica y la materia orgánica soluble. (Santo, 2015)

Adsorción

La adsorción es un proceso para separar sustancias solubles a través de una interfaz gas-líquido, líquido-líquido o sólido-líquido. Para la eliminación de partículas, solo se abordará la adsorción sólido-líquido. (Santo, 2015)

En el pasado, el proceso de adsorción no se utilizaba en el tratamiento de efluentes líquidos, pero las demandas actuales de un efluente de mejor calidad llevaron a su uso con carbón activado. (Santo, 2015)

El carbón vegetal se utiliza para eliminar una parte de la materia orgánica disuelta que todavía está presente en el agua. Además de la materia disuelta, el carbón activado aún retiene partículas en su lecho.

Normalmente, se utiliza una columna de lecho fijo como medio de contacto entre el carbón activado y el agua a tratar. El agua entra por la parte superior de la columna y se recoge en la parte inferior de la columna y el carbón se mantiene inmovilizado, a través de un soporte, en la parte inferior de la columna. (Santo, 2015)

Se lleva a cabo un retrolavado para limitar la acumulación de caída de presión, causada por la eliminación de material particulado, dentro del lecho de carbón. Para superar este problema de pérdida de carga, se desarrollaron operaciones con lechos expandidos o lechos de carbón móviles. (Santo, 2015)

En las columnas de lecho expandido, la alimentación entra por la parte inferior de la columna (flujo ascendente), lo que hace que el lecho se expanda durante el procesamiento del flujo a tratar, asemejándose a un "retroceso ceniza". En los lechos móviles, el carbón reutilizado se desplaza a través de la entrada de carbón fresco, por lo que no hay acumulación de pérdida de carga, dado el movimiento de las partículas de carbón en el lecho. (Santo, 2015)

Además del carbón activado, existen otros materiales adsorbentes que pueden usarse para eliminar nutrientes. Los estudios indican que la calcita tiene la capacidad de adsorber materia soluble [23, 24], cuando está presente en pequeñas concentraciones (alrededor de 20 μM) [25]. Cuando las concentraciones de nutrientes son más altas, la calcita se forma precipita, teniendo en cuenta reacciones previas.

2.2.4. Tecnologías de tratamiento biológico

A lo largo de los años se han desarrollado procesos de tratamiento biológico para eliminar nutrientes como alternativa a los tratamientos químicos en plantas de tratamiento de aguas residuales. (Santo, 2015)

En este tipo de tratamientos, los nutrientes se eliminan mediante su asimilación en el tejido celular. La eliminación, por tratamiento biológico, se produce a través de la exposición alterna de los microorganismos a condiciones aeróbicas y anaeróbicas, provocando un ambiente estresante para los organismos, por lo que su absorción de nutrientes cae por encima de los niveles normales. (Santo, 2015)

Los nutrientes del suelo se utilizan en el mantenimiento de las células y el transporte de energía, que también se almacenan para su uso posterior. (Santo, 2015)

En promedio, entre un 10 y un 30% de las partículas iniciales de agua se eliminan en un tratamiento secundario, en las plantas de tratamiento. Este valor podría incrementarse significativamente utilizando los procesos biológicos que se describen brevemente a continuación. (Santo, 2015)

Proceso A / O

Este proceso utiliza un sistema de lodos activados, que combina secuencialmente una zona anaeróbica y una zona aeróbica. En condiciones anaeróbicas, los nutrientes presentes en las aguas residuales y en la masa celular reciclada se liberan como materia soluble. (Santo, 2015)

Luego, las células absorben los nutrientes en la zona aeróbica. Finalmente, la eliminación de estos compuestos se realiza desde el líquido hasta el lodo activado.

Mediante este proceso es posible obtener valores de concentración final de 1 mg /L, que pueden ser menores si se agregan coagulantes al final del proceso.

El modo de funcionamiento relativamente sencillo y el valor añadido de los lodos activados como fertilizante son algunas de las ventajas que tiene este proceso. Por otro lado, su incapacidad para lograr altas tasas de remoción de nutrientes al mismo tiempo y la escasa flexibilidad del control del proceso son algunos de los inconvenientes de esta operación en plantas de tratamiento. (Santo, 2015)

Secuencia de reactores "discontinuos"

Estos reactores pueden funcionar para combinar fenómenos de oxidación del carbono y eliminación de nutrientes. La reducción de estos constituyentes se puede lograr con o sin el uso de coagulantes. Al igual que en el proceso anterior, la liberación de estos compuestos tiene lugar en la fase anaeróbica mientras que su incorporación al tejido celular tiene lugar en la fase aeróbica. Los ciclos de trabajo pueden variar de 3 a 24 horas. (Santo, 2015)

Es un proceso muy flexible y combina la reducción de varios constituyentes y es simple de operar. Sin embargo, solo es posible operar con pequeños caudales y la calidad del efluente depende mucho de la operación de sedimentación. (Santo, 2015)

Proceso PhoStrip

En este proceso, una parte de los lodos activados del tratamiento biológico se dirige a un tanque de scripting, donde se retiene durante 8 a 12 horas. En este tanque, los nutrientes se liberan en el sobrenadante mientras que el lodo, que está agotado en nutrientes, regresa al tanque aeróbico para capturar más nutrientes. El sobrenadante, rico en nutrientes, es tratado químicamente, agregando coagulante, en un tanque de

sedimentación, de manera que se produzca la separación de sólidos y la consecuente remoción de nutrientes en los precipitados. (Santo, 2015)

Los valores finales de concentración de nutrientes en el agua, con este proceso, son inferiores a 1,5 mg / L

Este proceso utiliza cantidades más pequeñas de coagulantes que el tratamiento químico convencional y se puede incorporar fácilmente a los sistemas de lodos activados existentes. EBPR ("Eliminación biológica mejorada") (Santo, 2015)

Como se mencionó anteriormente, la eliminación de nutrientes, por medios biológicos, se puede lograr a través de dos mecanismos: adsorción directa por microorganismos (asimilación) o, aumentando la capacidad de almacenamiento de estos compuestos, como el polifosfato, por los organismos presentes en los lodos activados.

EBPR es un tratamiento utilizado en plantas de tratamiento de aguas residuales basado en el enriquecimiento de bacterias que acumulan polifosfato inorgánico, como ingrediente en sus células. Este proceso involucra ciclos metabólicos, induciendo a los microorganismos a condiciones de incubación alternando entre condiciones anaeróbicas, ricas en carbono, y aeróbicas, escasas en carbono. (Santo, 2015)

2.2.5. Proceso Electrolítico

El tratamiento electrolítico se ha utilizado para la purificación de diversos efluentes. Los procesos que componen este tratamiento disocian irreversiblemente determinadas moléculas de forma iónica mediante una corriente eléctrica, lo que permite separar los residuos de la fase líquida durante el proceso. (Fonseca, 2017)

Según Rodríguez (2001), a pesar de que el tratamiento electrolítico surgió a fines del siglo XIX, la investigación se ha intensificado y aplicado desde entonces en áreas como: tratamiento de aguas residuales domésticas, industrias alimentarias, industrias mecánicas, fabricantes de equipos de producción de petróleo, remoción de pesados

metales, decoloración de efluentes de las industrias del papel, celulosa y textil y también en el tratamiento de lixiviados.

En cuanto al tratamiento de aguas residuales domésticas, foco de este trabajo, los mecanismos de tratamiento del proceso electrolítico pueden ser: reacciones de oxidación anódica y reducción catódica, electrodiálisis y electrocoagulación, electro floculación y electroflotación. En la construcción de un reactor electrolítico, factores como el tipo de electrodos, la corriente o potencial eléctrico aplicado y el caudal del efluente deben adaptarse a cada caso y tipo de efluente. (Fonseca, 2017)

El proceso electrolítico ha ganado interés en los últimos años para el tratamiento de aguas residuales. Este tipo de tratamiento se puede adaptar a diversas aplicaciones y se puede combinar fácilmente con otras tecnologías, su diseño modular y compacto lo hace atractivo para el tratamiento descentralizado de aguas residuales (Radjenovic y Sedlak 2015).

2.2.6. Oxidación y reducción de compuestos

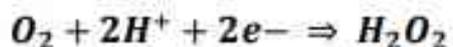
Crespilho y Rezende (2004) describen que, al aplicar una diferencia de potencial (DDP) entre dos electrodos sumergidos en una solución electrolítica, se producen reacciones electroquímicas de oxidación y reducción en el ánodo y el cátodo, respectivamente. (Fonseca, 2017)

La oxidación puede ocurrir mediante el intercambio de electrones entre el contaminante directamente, es decir, directamente de la superficie del electrodo, o indirectamente, en la generación de especies catalíticas capaces de promover la oxidación del contaminante debido al alto poder oxidante de estas especies. (Fonseca, 2017)

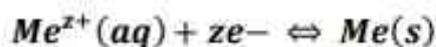
El término electrólisis directa se usa para representar los procesos en los que la reacción de transferencia de electrones hacia o desde el contaminante no deseado tiene lugar en la superficie del electrodo. La electrólisis indirecta, por otro lado, se refiere al

Fuente: (Fonseca, 2017)

El proceso de reducción catódica, en presencia de electrodos apropiados, se puede utilizar para que la reacción produzca peróxido de hidrógeno en un medio ácido, a través de la Ecuación (Fonseca, 2017):



La reducción catódica tiene su mayor uso en la remoción de metales presentes en solución, transformándolos de su forma iónica soluble (Me^{z+}) en metal sólido (Me) depositado en el ánodo, que puede ser representado por la reacción general (Fonseca, 2017):



Como resultado de la disociación de moléculas de ácidos, bases y sales en el agua, los iones se mueven hacia el cátodo y el ánodo cuando se establece un campo eléctrico entre los electrodos. El campo eléctrico es creado por DDP generado por una fuente de energía externa. En el caso de las alcantarillas sanitarias, los iones se mueven de esta forma (Fonseca, 2017):

Al cátodo (-): hidrógeno

Para el ánodo (+): Oxígeno y Cloro

Si durante la transferencia de electrones, los iones alcanzan los electrodos respectivos (antes de reaccionar químicamente con sustancias que puedan existir en el líquido), estos se neutralizan eléctricamente formando moléculas de gas que permanecen en solución hasta cierto límite, y luego ascienden a la superficie en la forma de microburbujas. (Fonseca, 2017)

Numerosos procesos electrolíticos usados para controlar la contaminación ambiental involucran reacciones directas de especies en la superficie del electrodo. Sin embargo, cubren la producción de especies activas en el electrodo y la reacción con los contaminantes que se pretenden destruir (Fonseca, 2017).

2.2.7. Teoría de electroquímica

Primero, uno debe comprender el fenómeno de la electrólisis. Cuando se aplica una diferencia de potencial, generalmente en el rango por debajo de 10 V, a dos electrodos sumergidos en una solución que contiene electrolitos, se observan reacciones químicas en las superficies de los electrodos y estos fenómenos asociados se denominan electrólisis. (Fonseca, 2017)

A través de dos leyes establecidas por Faraday, el consumo de electricidad se asocia con la cantidad total de sustancias reaccionadas, que incluye el desgaste de los electrodos (corrosión) en el proceso de electrólisis. Las leyes de Faraday se establecen de la siguiente manera:

La 1ª ley: "La cantidad de sustancias producidas por electrólisis es proporcional a la cantidad de electricidad utilizada".

La segunda ley: "Para una determinada cantidad de electricidad, la cantidad de sustancias producidas es proporcional al gramo equivalente de material del electrodo".

El paso de corriente eléctrica a través de una solución que contiene electrolitos ocurre desde el electrodo negativo, llamado ánodo, al electrodo positivo, llamado cátodo. La concentración de electrolitos, su composición química y el número de oxidación de sus iones son responsables de su conductividad específica, que es directamente proporcional a la facilidad de corriente o conductancia en la solución de electrolitos. (Fonseca, 2017)

Durante una reacción electroquímica, los electrones se transfieren individualmente entre las moléculas de sustrato y los electrodos. El sustrato se convierte primero en un compuesto intermedio junto con un electrón desapareado. La transformación de este compuesto intermedio en el producto final implica una secuencia de reacciones de formación, unión y escisión, es decir, separación. (Fonseca, 2017)

La reacción electroquímica completa requiere un ánodo y un cátodo, solo uno de estos electrodos está involucrado en la reacción química de interés, ya sea oxidación en el ánodo o reducción en el cátodo. El segundo electrodo, llamado contraelectrodo, es donde ocurren reacciones simples, como la liberación de hidrógeno si se trata de un cátodo, o la liberación de oxígeno si se trata de un ánodo. El espacio entre los electrodos generalmente se llena con una solución de sal ionizada, y la carga eléctrica pasa a través de esta solución entre los electrodos por migración de iones (Grimshaw, 2000).

El potencial suministrado a una celda electrolítica debe ser al menos igual al potencial de la reacción a invertir. Si hay más de una especie en la solución que se puede reducir, se reducirán preferentemente las especies con mayor potencial de reducción. El mismo principio se aplica en la oxidación. (Fonseca, 2017)

Es necesario que la diferencia de potencial a aplicar sea mayor que el potencial de la celda; así será posible invertir la reacción espontánea y obtener una velocidad significativa de formación del producto. La diferencia de potencial adicional que varía con el tipo de electrodo se denomina sobrepotencial. Varias investigaciones en células electroquímicas buscan reducir el exceso de potencial y así aumentar la eficiencia de los procesos electrolíticos (Atkins y Jones, 2006).

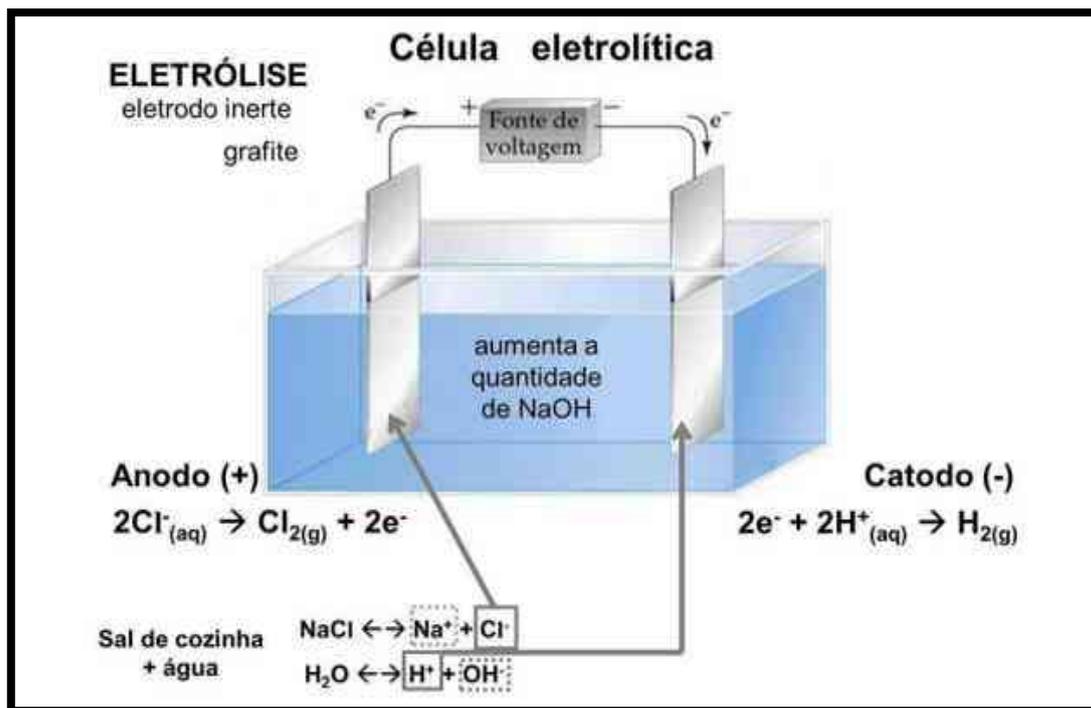


Figura 4. Electrolisis con electrodo inerte

Fuente: (Silva et al, 2012)

2.2.8. Electroflotación y electrocoagulación

El método electrolítico permite ampliar la capacidad de tratamiento de los sistemas fisicoquímicos tradicionales, ya que utiliza los mismos principios básicos de coagulación-floculación y además aporta elementos que potencian el método al generar oxígeno e hidrógeno en reacciones de electrólisis. (Fonseca, 2017)

De esta forma se genera un flujo ascendente de microburbujas que interactúa con todo el efluente presente en el interior del reactor electrolítico, el cual es sometido intensamente a reacciones de oxidación y reducción, lo que facilita la floculación y flotación de la carga contaminante existente y aumenta la eficiencia del proceso de tratamiento. Durante el proceso electrolítico, en la electrocoagulación, se produce coagulante en la celda electrolítica, lo que resulta en la eliminación de los sólidos en suspensión. (Fonseca, 2017)

La disolución química de los ánodos comprende la formación del agente coagulante. El coagulante generado varía según el material del electrodo reactivo utilizado. Los fenómenos de electrocoagulación y flotación, vía electroflotación, están asociados y ocurren simultáneamente en el reactor electrolítico (Sinoti, 2004).

La electroflotación es un proceso electroquímico que promueve la separación de las fases sólida y líquida mediante la generación de burbujas de gas (generalmente O₂ o H₂), que reemplazan a los aditivos floculantes. De esta forma, los gases liberados se elevan y se adhieren a las partículas sólidas en suspensión presentes en el efluente. Así, forman un aglomerado que se espesa en la superficie, separándose de la fase líquida. (Fonseca, 2017)

El proceso se basa en cuatro pasos: (i) generación de pequeñas burbujas de gas; (ii) contacto entre burbujas y partículas en suspensión; (iii) adsorción de pequeñas burbujas de gas en la superficie de las partículas y (iii) ascenso de las partículas / burbujas fijadas a la superficie. En consecuencia, el material suspendido se electro-flota, lo que promueve la limpieza del efluente tratado. En la superficie se forma una capa de espuma (sobrenadante) que contiene las partículas de flotación que se eliminan fácilmente (Pereira, 2007)

El grosor de la capa de espuma sobrenadante aumenta progresivamente a medida que se incorpora una mayor cantidad de material de flotación. La flotación del material sobrenadante está asegurada no solo por los gases acumulados inmediatamente debajo de él, sino también por sus características de formación gaseosa, que le confieren gran porosidad y baja densidad inicial. (Fonseca, 2017)

En el caso de alcantarillas sanitarias y también en diversos residuos líquidos industriales sometidos a ensayos electrolíticos, la escoria permanece en su estado original después de largos períodos de interrupción de la electrólisis o incluso en regímenes

hidráulicos relativamente turbulentos en superficie. Parece que esta espuma es bastante rígida y consistente, ya que la estructura está formada por impurezas arrastradas por los gases de electrólisis (Wiendl, 1998).

2.2.9. Tipos y materiales de electrodos

Según Rajeshwar e Ibanez (1997), la interfaz electrodo / electrolito es posiblemente el componente más importante de un sistema electrolítico.

Esta es la unión entre el conductor electrónico (electrodo) y el conductor iónico (electrolito). Los materiales generalmente utilizados para la fabricación de electrodos son el aluminio o el hierro, por ser de bajo costo y fácil disponibilidad. Sin embargo, se han estudiado otros materiales como el grafito, los óxidos de titanio y rutenio, el platino, el cobre y el zinc.

Cuando un electrodo no sufre cambios en su estructura, incluso en tales condiciones, se le llama electrodo no destructivo y su función es el simple intercambio de electrones con la solución, los electrodos no destructivos más comunes son el grafito y el platino. Por otro lado, el electrodo destructivo, además de transferir electrones, participa químicamente en la electrólisis, siendo también modificado por la acción de la corriente eléctrica, formando iones metálicos. (Fonseca, 2017)

En los procesos de oxidación anódica, los investigadores han utilizado electrodos de grafito modificados por la deposición de películas u óxidos metálicos. El uso de una matriz de grafito se justifica por su alta porosidad, lo que se traduce en una mayor superficie (Mattiusi et al., 2015).

Se están desarrollando diferentes tipos de electrodos no convencionales para el tratamiento de soluciones diluidas, como cilindros rotativos, electrodos de lecho fijo y fluidizado, e incluso electrodos tridimensionales. Este último tipo tiene numerosas aplicaciones, desde el almacenamiento de energía eléctrica y la síntesis químico-orgánica

hasta la deposición y recuperación de metales pesados y preciosos con fines ambientales y económicos, respectivamente. (Fonseca, 2017)

Los electrodos se pueden clasificar como electrodos planos o de difusión de gas (EDG) según su estructura. La forma más extendida es la plana, que son placas de metal. Este electrodo se aplica generalmente en la electro-reducción de CO₂, el reactivo se solubiliza en el electrolito y luego reacciona en el electrodo. En cuanto al EDG, es poroso y tiene más puntos catalíticos para la ocurrencia de reacciones.

Durante el uso de EDG, el reactivo se alimenta directamente al electrodo, sin necesidad de solubilizarlo en el electrolito, por lo que el problema de la baja solubilidad del CO₂ en la solución se reduce o se resuelve (IKEDA et al., 1995 apud Ferreira, 2011). Los diversos tipos de electrodos se pueden disponer en celdas concentradoras y celdas para recuperación directa.

El primer modelo produce soluciones concentradas o un depósito metálico del que se recupera el metal mediante procedimientos pirometalúrgicos o disolución química, para producir una solución concentrada. (Fonseca, 2017)

En las celdas de recuperación directa, los metales se producen en forma adecuada para su comercialización. En un sistema de reacción apropiado, el metal depositado previamente en el cátodo de la celda de electro recuperación puede recuperarse por inversión de polaridad de la celda electroquímica original. (Fonseca, 2017)

2.2.10. Tratamiento electrolítico aplicado para el tratamiento de aguas

Rodríguez (2007) exploró las ventajas del método electrolítico como tratamiento primario y postratamiento de efluentes de una serie de lagos que reciben lixiviados de un relleno sanitario. El sistema operó por lotes y con la adición de NaCl. La densidad de corriente aplicada fue de 15 A / m² y se probaron electrodos de Al, Fe, G / Al y C / Fe.

Los resultados obtenidos tanto en el tratamiento primario como en el postratamiento fueron prometedores para casi todas las configuraciones de electrodos utilizadas y para las variaciones del lixiviado crudo y con la adición de sal. En cuanto a la comparación del rendimiento de los electrodos ensayados, se puede afirmar que los electrodos de hierro produjeron una mayor cantidad de lodo que los electrodos de aluminio, por lo que requirieron unidades de decantación para este lodo. (Fonseca, 2017)

En el postratamiento, el electrodo de Al funciona mejor y logra un 86% de remoción de DQO, mientras que con otras configuraciones, el 52% de remoción de DQO se obtuvo del suelo. Con base en los resultados de la investigación, se encontró que el postratamiento fue superior al tratamiento de lixiviados crudos. En una tercera etapa del trabajo, el reactor electrolítico se ensambló en flujo continuo y si trabaja con electrodos de Al y Fe. Sin embargo, en esta configuración, siguieron los resultados obtenidos con el reactor discontinuo. (Fonseca, 2017)

Silveira (2012) propuso el desarrollo de un reactor electrolítico para el tratamiento de lixiviados. La investigación se realizó a escala piloto, operando en lote con recirculación.

Se utilizaron electrodos de Ti recubiertos con 70% de TiO_2 y 30% de RuO_2 . El objetivo del trabajo fue reducir el color, la carga orgánica y la toxicidad del efluente. Luego de 60 minutos de tratamiento con densidad de corriente de 250 mA / cm^2 , concentración de electrolito de NaCl 0.5 M y caudal de 400 L / h, fue posible remover 80% de DQO, 75% de N-NH₃, 65% de TOC y 90% de DBO. El sistema no generó lodos, ya que los electrodos utilizados (Fonseca, 2017)

en la investigación no fueron destructivos. Teniendo en cuenta solo la eliminación de amoníaco, la densidad de corriente mínima de 25 mA cm^{-2} tuvo un rendimiento excelente después de 30 minutos de tratamiento. Se encontró que la remoción de NH₃-N

no dependía del aumento en la densidad de corriente, porque cuando se aplicó la densidad de corriente más baja (25 mA / cm²) se obtuvo el mismo resultado al aplicar el rango de densidad de corriente más alto (250 mA / cm²).

Bensadok et al., (2011) trabajaron con efluentes lácteos a escala de banco en un reactor electrolítico que funcionaba en lotes. Se evaluaron remociones de DQO, fosfato y turbidez, se utilizaron electrodos de Al y Ti / Pt y se utilizó una densidad de corriente de 10 y 75 A / m². La mayor eficiencia de eliminación se obtuvo con el uso de cátodo y ánodo de aluminio.

Los valores ideales para las condiciones probadas fueron DC de 0.5 A / m², pH de 6.6, concentración de NaCl de 1.5 g / L y tiempo de electrólisis de 2 min. Para estos valores óptimos de los parámetros, la eficiencia de eliminación de DQO, fosfato y turbidez alcanzada fue, respectivamente, 80%, 59% y 96%. Como en este trabajo se utilizaron electrodos de Al, que es un electrodo destructivo, se observó su disolución durante todo el proceso, aportando un aporte a la mejora del proceso de coagulación. Además, los resultados obtenidos mostraron que los fosfatos podrían eliminarse mediante un proceso de coagulación. La turbidez, en cambio, relacionada con la materia en suspensión y coloidal, solo fue eliminada por el proceso de coagulación donde la reducción dependía de la concentración de aluminio. (Fonseca, 2017)

También vale la pena mencionar a Tchamango et al., (2009), quienes también trabajaron a escala de banco con efluentes lácteos, aunque sintéticos. El objetivo fue examinar la eficacia del tratamiento electrolítico en el ámbito de la electrocoagulación. El electrodo utilizado fue Al y la corriente eléctrica aplicada fue de 0,2 A, el tiempo de electrólisis osciló entre 15 y 210 min. Los sólidos generados durante el tratamiento se separaron por filtración.

El análisis de los filtrados mostró una reducción del 61% en DQO, 89% en fósforo, 81% en nitrógeno y 100% en turbidez. Como demuestran Bensadok et al., (2011), al comparar el tratamiento de coagulación química con la técnica de electrocoagulación, la eficiencia fue casi idéntica. Sin embargo, las eliminaciones de fósforo y DQO son ligeramente mayores por coagulación química. Sin embargo, las aguas residuales tratadas por electrocoagulación se diferencian en que presentan una conductividad más baja y un valor de pH neutro (en contraste con la naturaleza ácida de la solución tratada por coagulación química).

Además, el proceso de electrocoagulación utiliza menos reactivos. La masa de electrodo de aluminio disuelto durante el tratamiento es menor en comparación con la cantidad de sal de aluminio utilizada en la coagulación química. (Fonseca, 2017)

Rodrigues et al., (2001) combinaron el proceso anaeróbico y electrolítico para evaluar el electro floculación aplicada a las aguas residuales domésticas de un reactor UASB. Los experimentos se realizaron a escala de banco, utilizando un reactor electrolítico operando por lotes, simulando el postratamiento del efluente del reactor UASB. Se utilizaron electrodos de Fe y Al, el sistema operado a diferentes voltajes con el fin de analizar las diferentes posibilidades del tratamiento.

En algunos lotes se agregó NaCl para verificar la formación o no de cloro residual por electrólisis. Se observó que a pesar de la baja concentración de NaCl utilizada en el tratamiento, se pudo observar que, incluso en pequeñas cantidades, la adición de sal mejoraba la remoción de turbidez, que estaba por encima del 70%. El tratamiento electrolítico mostró excelentes resultados para la remoción de coliformes totales y fecales, obtenidos con electrodos de Fe, revelando la capacidad del sistema para promover la desecación. (Fonseca, 2017)

Rodrigues et al., (2001) combinaron el proceso anaeróbico y electrolítico para evaluar la electrofloculación aplicada a las aguas residuales domésticas de un reactor UASB. Los experimentos se realizaron a escala de banco, utilizando un reactor electrolítico operando por lotes, simulando el postratamiento del efluente del reactor UASB. Se utilizaron electrodos de Fe y Al, el sistema operado a diferentes voltajes con el fin de analizar las diferentes posibilidades del tratamiento.

En algunos lotes se agregó NaCl para verificar la formación o no de cloro residual por electrólisis. Se observó que a pesar de la baja concentración de NaCl utilizada en el tratamiento, se pudo observar que, incluso en pequeñas cantidades, la adición de sal mejoraba la remoción de turbidez, que estaba por encima del 70%. El tratamiento electrolítico mostró excelentes resultados para la remoción de coliformes totales y fecales, obtenidos con electrodos de Fe, revelando la capacidad del sistema para promover la desinfección en efluentes de reactores anaeróbicos. (Fonseca, 2017)

Pinhedo et al., (2009) trabajaron con el tratamiento electrolítico, a escala piloto, como postratamiento de efluentes domésticos de la Estación de Tratamiento de Aguas Servidas (ETE) del Campus de la Universidad Federal de Mato Grosso, Brasil. La prueba electrolítica se realizó en una unidad de vidrio piloto con un volumen de 80 mL.

El tratamiento consistió en aplicar una diferencia de potencial en los electrodos, provocando que una corriente eléctrica pasara por el residuo líquido provocando su degradación. Los electrodos anódicos utilizados fueron Ti / Ru y el cátodo de acero inoxidable 306. Los análisis realizados fueron absorbancia, color, coliformes totales, coliformes termo tolerantes, DQO y turbidez. (Fonseca, 2017)

Las pruebas se realizaron en diferentes tiempos de 25 y 30 minutos de residencia y diferentes densidades de corriente, buscando el mejor desempeño del sistema. Los resultados postratamiento demostraron ser eficientes principalmente con un tiempo de

residencia de 30 minutos, ya que los resultados de absorbancia, color, DQO fueron 95%, 89% y 65%, respectivamente. Los resultados de coliformes totales y coliformes termo tolerantes mostraron una eficiencia del 100%. (Fonseca, 2017)

2.3. Definiciones conceptuales

Adsorción

La adsorción es un proceso para separar sustancias solubles a través de una interfaz gas-líquido, líquido-líquido o sólido-líquido. Para la eliminación de partículas, solo se abordará la adsorción sólido-líquido.

Precipitación química

La precipitación química es un proceso que implica la adición de agentes químicos en la solución, con el fin de cambiar el estado físico de los sólidos disueltos y suspendidos, facilitando su remoción, mediante sedimentación o filtración.

Método Electrolítico

El método electrolítico es un tratamiento que permite ampliar la capacidad de los sistemas fisicoquímicos tradicionales, ya que utiliza los mismos principios básicos de coagulación-floculación y además aporta elementos que potencian el método al generar oxígeno e hidrógeno en reacciones de electrólisis.

Electrocoagulación

Es un mecanismo donde se emplean un ánodo y un cátodo, se aplica una corriente eléctrica con la finalidad de reducir y eliminar de manera adecuada la carga microbiana dentro de un recipiente.

Laguna

Es un depósito de agua, donde comúnmente es dulce, presenta longitudes pequeñas, así como también dimensiones chicas.

Electrodo

Material que permite conducir el fluido eléctrico de manera óptima, este normalmente es de material de fierro, aluminio o carbono, permite el proceso de electrocoagulación.

Sedimentación

Es la separación se realiza en base a la diferencia de densidades entre las partículas y el fluido, cuando se aplica un campo de fuerza. Las partículas se depositan en el fondo y el líquido se clarifica. Cuando se trata de la retención de partículas muy pequeñas, es fundamental recurrir al uso de coagulantes y floculantes.

Lechos Granulares Mixtos

Es la suspensión para separar pasa por un medio filtrante donde se retienen las partículas, clarificando el fluido.

2.4. Hipótesis de la investigación

2.4.1. Hipótesis General

Es posible determinar el tratamiento adecuado de las aguas de la Laguna “La encantada” aplicando la electrocoagulación.

2.4.2. Hipótesis Especifica

- Es viable caracterizar las aguas de la laguna “La encantada” ubicada en el distrito de Santa Maria – Huaura.
- Es factible determinar los parámetros de DQO y DBO de la laguna “La encantada” ubicada en el distrito de Santa Maria – Huaura antes y después del tratamiento electroquímico.
- Es posible determinar los parámetros más adecuados y óptimos respecto al mecanismo de electrocoagulación de las aguas provenientes de la laguna “La encantada” ubicada en el distrito de Santa Maria – Huaura.

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Tipo

Es de carácter experimental.

3.1.2. Nivel

Es de carácter descriptivo.

3.1.3. Diseño

De acuerdo con el diseño efectuado en la investigación, es de carácter empírico, experimental, lo que realizo en primer lugar fue obtener muestras diferentes de la laguna “la encantada”, para ser más precisos 1 litro por cada lugar diferente de la laguna, posteriormente juntaron las muestras teniendo una muestra global, seguidamente se llevó la muestra para su análisis fisicoquímico respectivo dentro de las instalaciones de la UNJFSC, para ser más precisos en los laboratorios de la facultada de Ing. Química; los datos más relevantes a ser investigados son la DBO y la DQO, así mismo también se determinaron los parámetros influyentes en el mecanismo de electrocoagulación que fueron la turbidez, conductividad y los sólidos totales encontrados en el agua, estos datos obtenidos fueron plasmados en Excel con el fin de poder desarrollar las gráficas respectivas de acuerdo a los análisis previstos, seguidamente se sometió al mecanismo de electrocoagulación con la finalidad de tratar el agua de la laguna “La encantada”, esto se realizó con dos electrodos conectados a una fuentes de poder, ambos electrodos se ubicaron dentro de una celda electrolítica, el tamaño de la celda era de 80 cm de alto y 120 cm de ancho, posteriormente se pasó corriente eléctrica a través de los electrodos para el respectivo tratamiento de las aguas obtenidas de la laguna “La encantada”, el amperaje empleado en las muestras fueron de 2,4 y 6 amperios, durante un tiempo de

10,20,30 y 40 minutos respectivamente, posteriormente se realizaron sus análisis respectivos a las muestras terminadas.

3.1.4. Enfoque

Es de carácter cuantitativo.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Las aguas provenientes de la laguna “La encantada”, ubicada en el distrito de Santa María.

3.2.2. Muestra

Respecto al estudio, la muestra consta de 20 litros de agua obtenidas de la laguna “La encantada”.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 1. Cuadro de Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Tratamiento de aguas	Son diversos métodos tanto físico, químico o biológico, con el propósito o el fin de suprimir y eliminar microorganismos contaminantes en el agua, así mismo también buscan la manera de purificar el agua con el propósito de volver a reutilizarla.	Los mecanismo mas comunes y utilizados son los de floculación o coagulación, pero en esta investigación se utilizará el menos contaminante que es el de electrocoagulación.	Tiempo Amperaje	10 20 30 40 2 4 6
Laguna “La encantada”	La laguna “la encantada” se encuentra ubicada en el distrito de Santa Maria, aproximadamente a unos 6,9 km de distancia de la UNJFSC, a 11°8062 de latitud y -77°33 de longitud, así mismo también presenta una altitud de 135 msnm.	Se realizará diversos mecanismos al agua de la laguna “La encantada” como la determinación de la DBO y la DQO presente en el agua con el fin de conocer que tan contaminante es.	DBO DQO Análisis Físicoquímico	Bajo Medio Alto Bajo Medio Alto %SDT PH %C.E %TUB

Fuente: Elaboración propia

3.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos.

3.4.1 Técnicas a emplear

Respecto a la investigación las técnicas utilizadas y efectuadas dentro de la recopilación de datos son el estudio directo e indirecto, así mismo también otra técnica importante es la recopilación de referencia bibliográfica como paper y diagramas de flujos respecto al tema.

3.4.2. Descripción de los instrumentos

Respecto a los instrumentos enfocados para la recopilación de datos se encuentran en la normativa vigente basada en aguas residuales, con el fin de reaprovechar de manera óptima y sustentable el agua originaria de la Laguna “la encantada” para su posterior uso; entre los instrumentos secundarios tenemos block, cámara digital o de celular, pH metro, libreta de control, entre otros más.

3.5. Técnicas para el procesamiento de información

Respecto a las técnicas empleadas, estas fueron más que todo informáticas, debido a que se necesitó bases de datos extensas donde se puedan guardar y procesar los archivos, los programas usados son Excel, Word y Matlab.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Caracterización fisicoquímica a las aguas de la laguna “La encantada”

4.1.1. Determinación de la C.E

Tabla 2. Datos de las muestras realizadas respecto a la C.E

Muestra	C.E. (uS/cm)
01	2571.12
02	2578.23
03	2575.54
04	2568.17
05	2557.84
Promedio	2570.18

Fuente: Elaboración propia



Figura 5. Datos de las muestras realizadas respecto a la C.E

4.1.2. Determinación de los T.D.S

Tabla 3. Datos de las muestras realizadas respecto a los T.D.S

Muestra	T.D.S (mg/l)
01	254.12
02	254.23
03	254.32
04	257.43
05	258.33
Promedio	255.686

Fuente: Elaboración propia

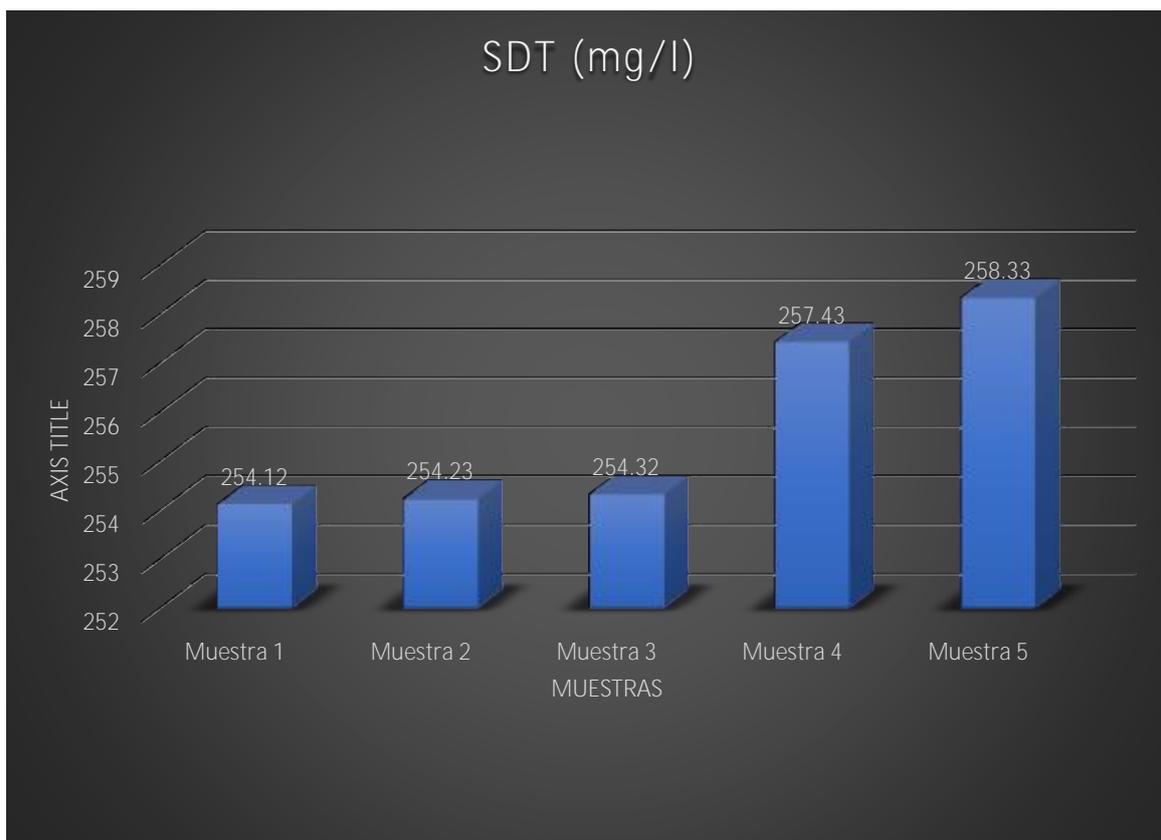


Figura 6. Datos de las muestras realizadas respecto a los T.D.S

4.1.3. Determinación de la TUB (NTU)

Tabla 4. Datos de las muestras realizadas respecto al TUB (NTU)

Muestra	TUB (NTU)
01	121
02	122
03	120
04	123
05	121
Promedio	121.4

Fuente: Elaboración propia

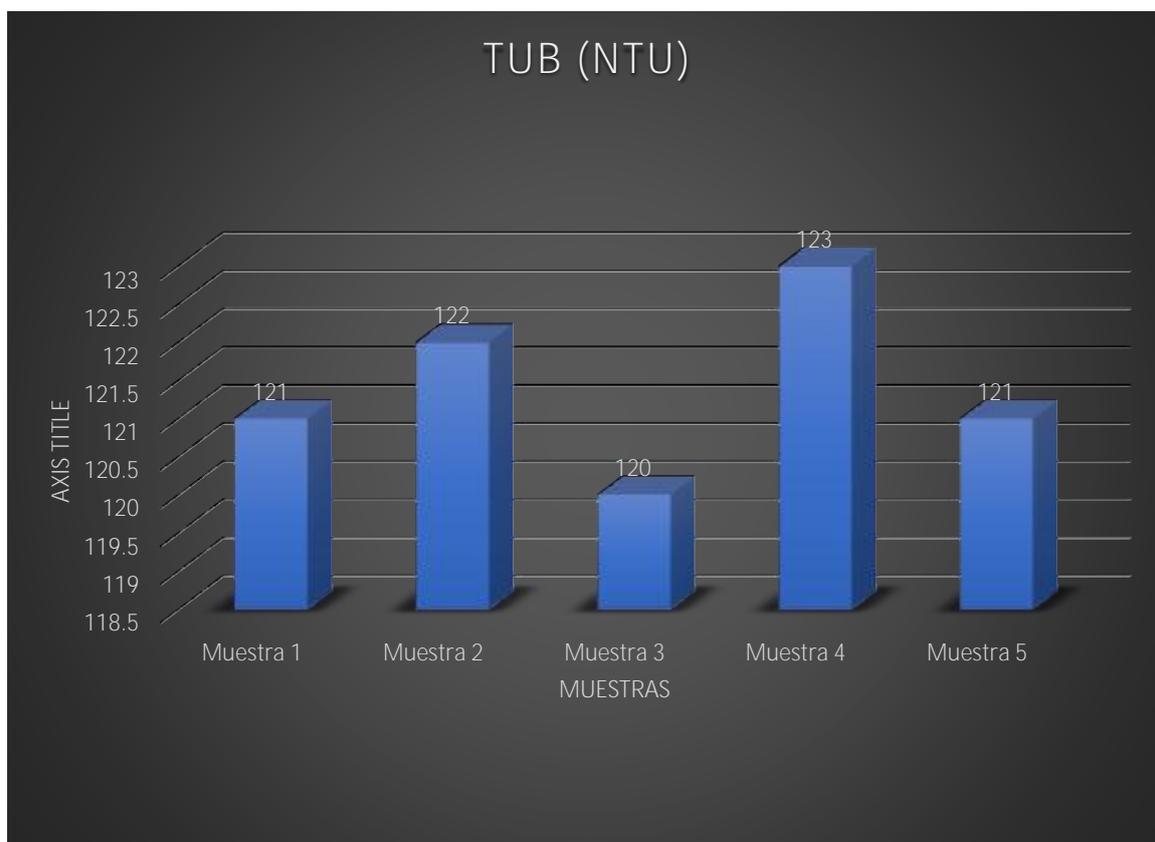


Figura 7. Datos de las muestras realizadas respecto al TUB (NTU)

4.1.4. Determinación del pH

Tabla 5. Datos de las muestras realizadas respecto al pH.

Muestra	pH
01	8.8
02	8.8
03	8.7
04	8.7
05	8.8
Promedio	8.76

Fuente: Elaboración propia

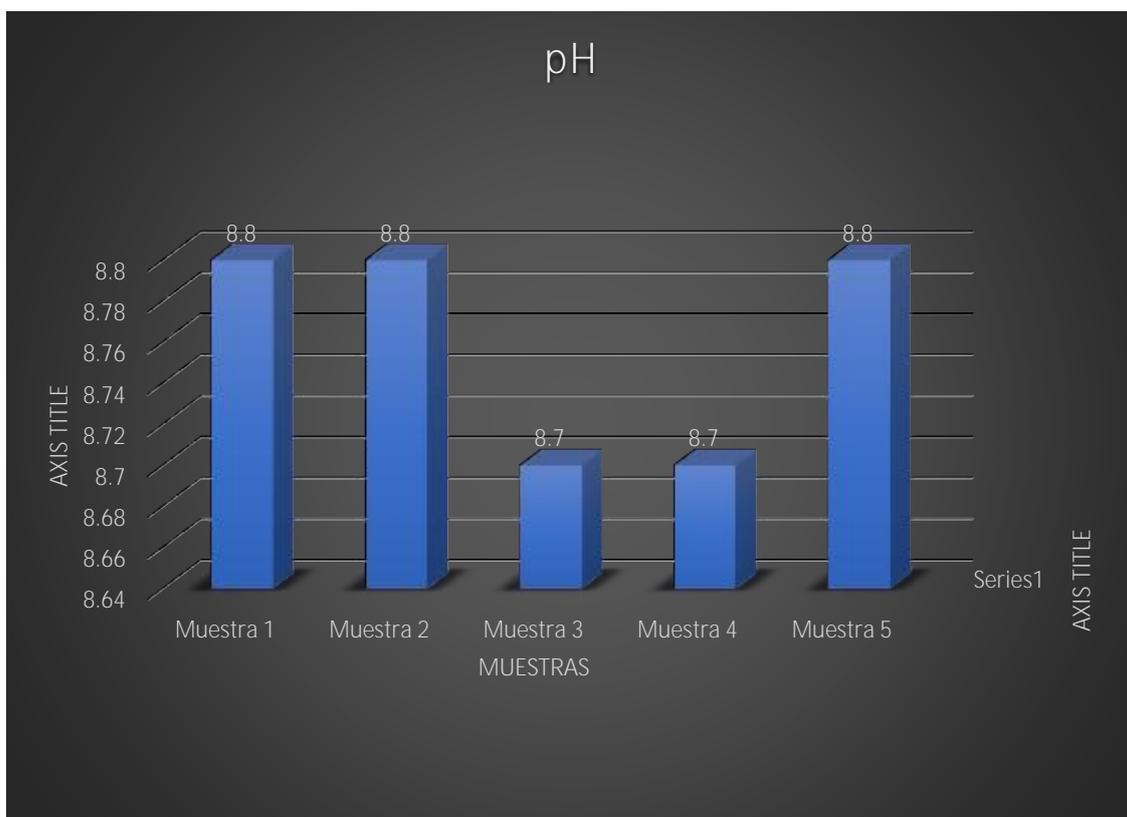


Figura 8. Datos de las muestras realizadas respecto al pH.

4.2. Determinación del DBO y DQO

4.2.1. Determinación del DBO inicial

Tabla 6. Datos de las muestras realizadas respecto al DBO.

Muestra	DBO (mg/l)
01	1782.5
02	1792.8
03	1785.2
04	1783.5
Promedio	1786

Fuente: Elaboración propia

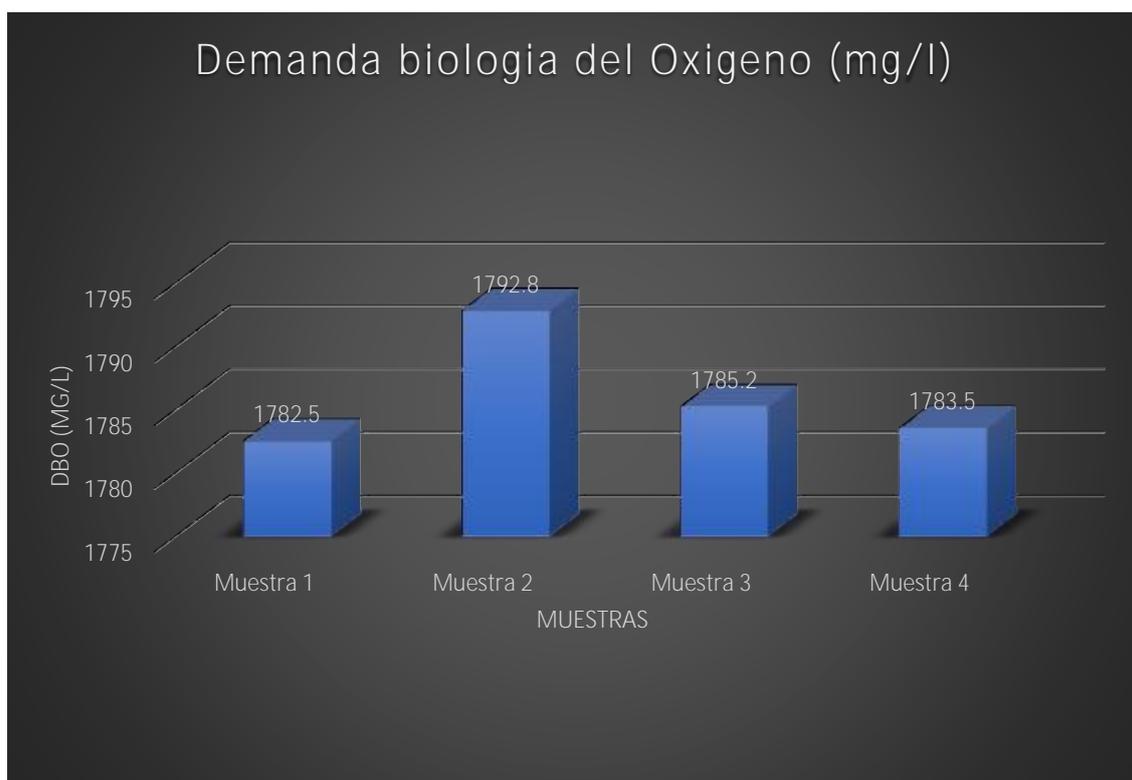


Figura 9. Datos de las muestras realizadas respecto a la DBO.

4.2.2. Determinación del DBO luego del tratamiento

Tabla 7. Determinación del %DBO a 2,4 y 6 amperios

Corriente (AMP)	Tiempo (min)	DBO (mg/l)	%R
2	10	94.87	94.69
	20	84.89	95.25
	30	75.36	95.78
	40	59.32	96.68
4	10	91.98	94.85
	20	81.79	95.42
	30	69.74	96.10
	40	49.81	97.21
6	10	90.04	94.96
	20	64.99	96.36
	30	46.35	97.40
	40	31.09	98.26

Fuente: Elaboración propia

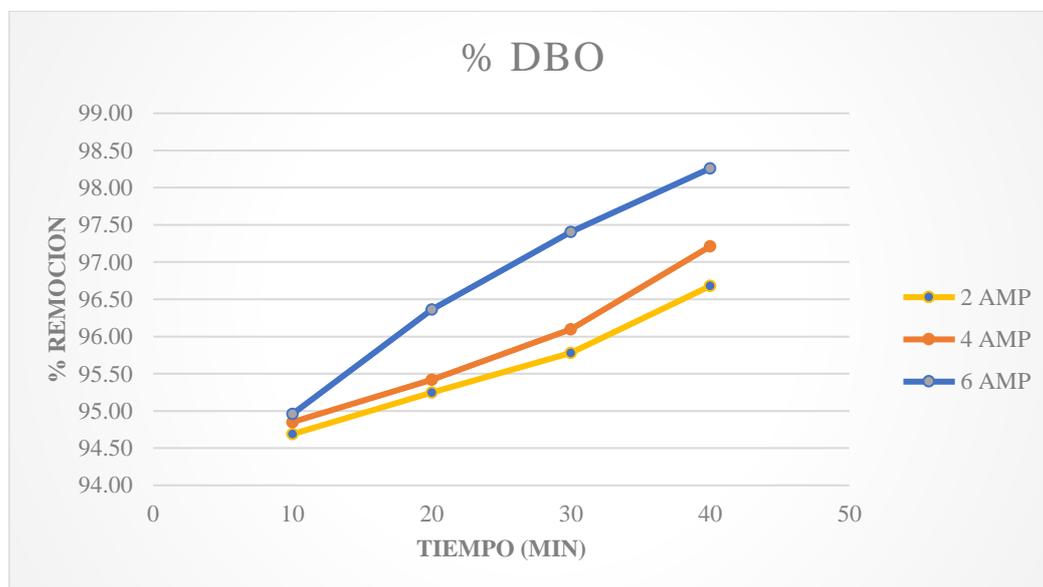


Figura 10 .% de DBO a 2,4 y 6 amperios.

4.2.3. Determinación del DQO inicial

Tabla 8. Datos de las muestras realizadas respecto al DQO.

Muestra	DQO(mg/l)
01	3798.2
02	3725.9
03	3794.2
04	3812.6
Promedio	3782.725

Fuente: Elaboración propia

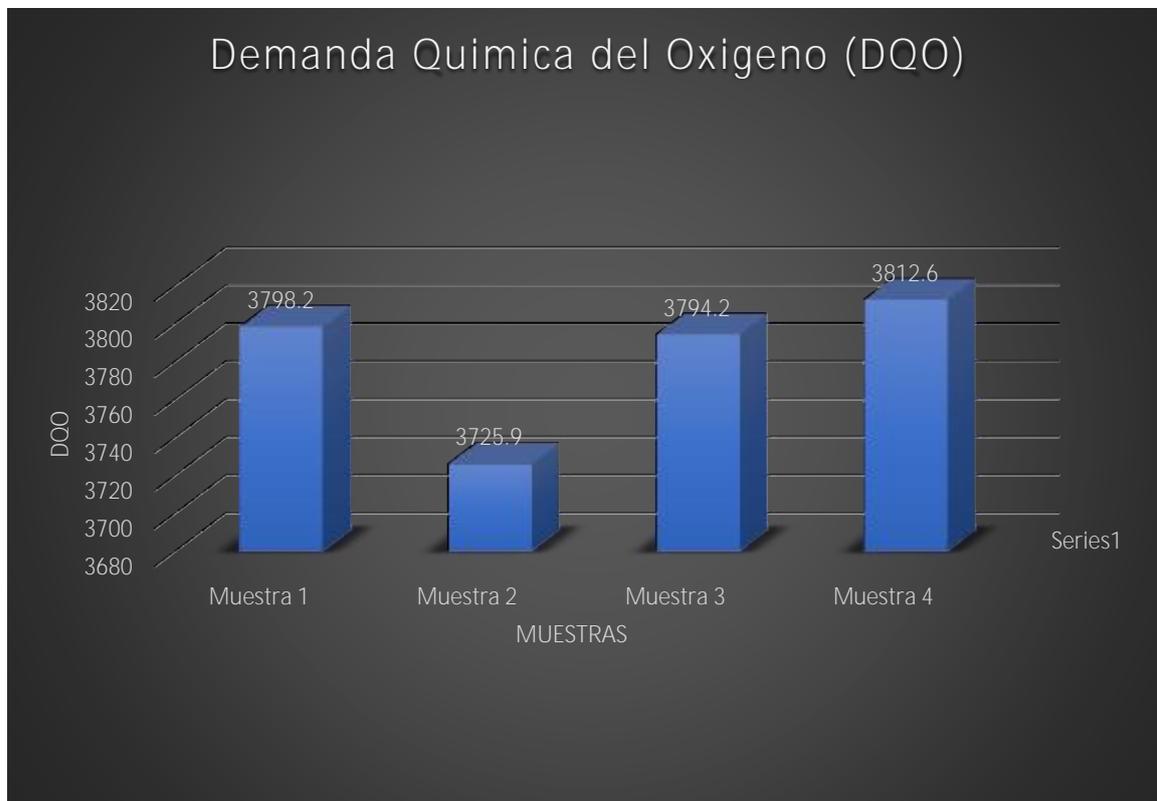


Figura 11. Datos de las muestras realizadas respecto a la DQO.

4.2.4. Determinación del DQO luego del tratamiento

Tabla 9. Determinación del %DQO a 2,4 y 6 amperios

Corriente (AMP)	Tiempo (min)	DQO(mg/l)	%R
2	10	96.39	97.45183697
	20	82.02	97.83172184
	30	70.14	98.14578115
	40	51.98	98.62585834
4	10	90.26	97.61388946
	20	81.12	97.85551421
	30	61.86	98.36467097
	40	49.83	98.68269568
6	10	75.89	97.99377433
	20	68.67	98.18464202
	30	54.35	98.5632051
	40	38.69	98.97719237

Fuente: Elaboración propia

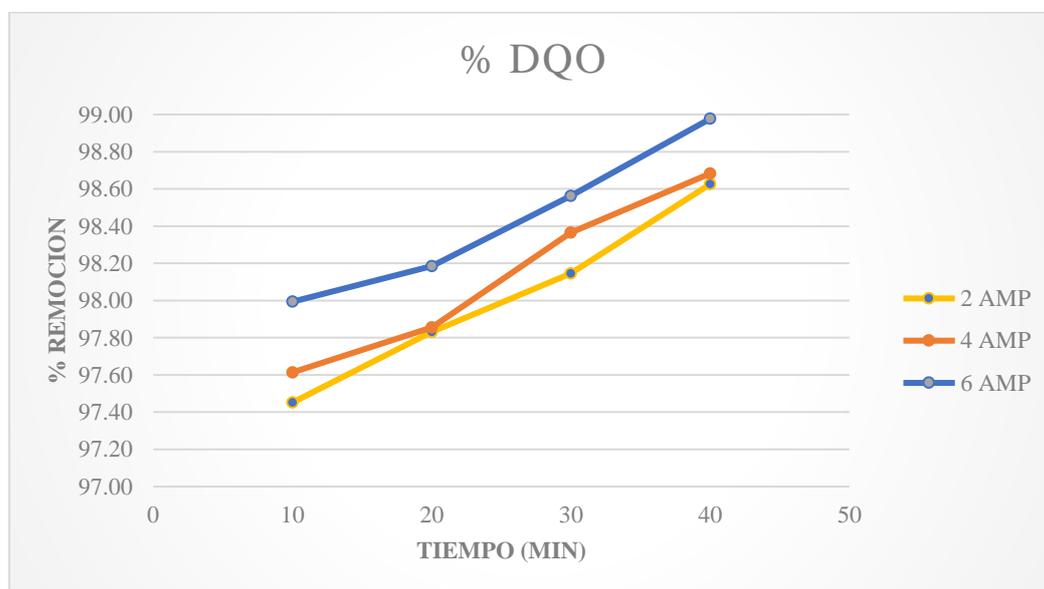


Figura 12. % de DQO a 2,4 y 6 amperios.

4.3. Caracterización fisicoquímica al agua tratada electroquímicamente

4.3.1. Determinación del pH

Tabla 10. *Determinación del pH a 2,4 y 6 amperios*

Corriente (AMP)	Tiempo (min)	pH
2	10	8.17
	20	7.67
	30	7.41
	40	7.24
4	10	7.58
	20	7.44
	30	7.36
	40	7.35
6	10	7.65
	20	7.44
	30	7.36
	40	7.26

Fuente: *Elaboración propia*

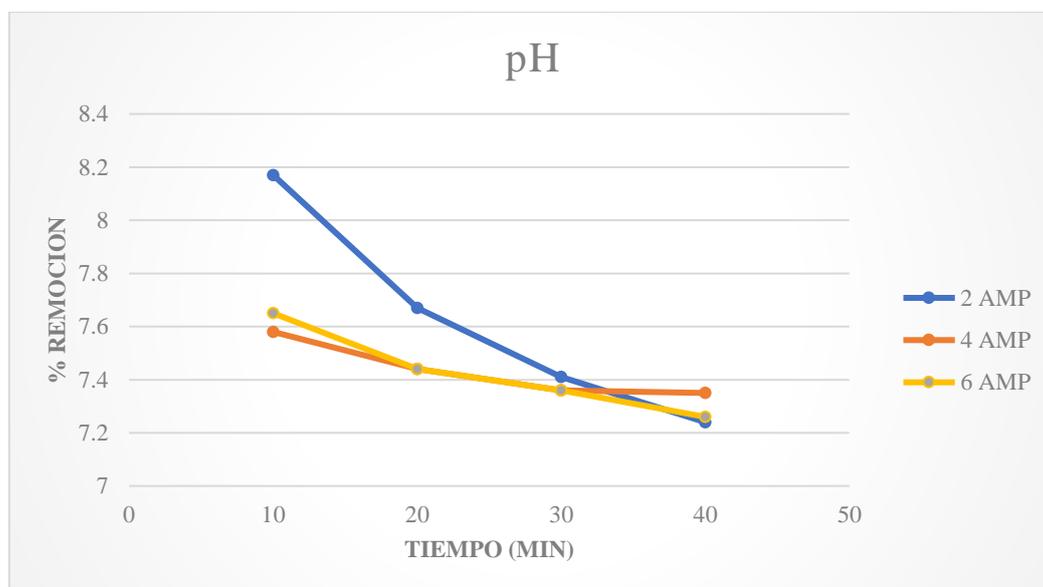


Figura 13. pH a 2,4 y 6 amperios.

4.3.2. Determinación de la C.E

Tabla 11. *Determinación del %C.E a 2,4 y 6 amperios.*

Corriente (AMP)	Tiempo (min)	%CE
2	10	18.29
	20	21.67
	30	32.39
	40	45.83
4	10	19.36
	20	20.66
	30	36.79
	40	46.73
6	10	20.03
	20	26.79
	30	38.79
	40	49.66

Fuente: *Elaboración propia*

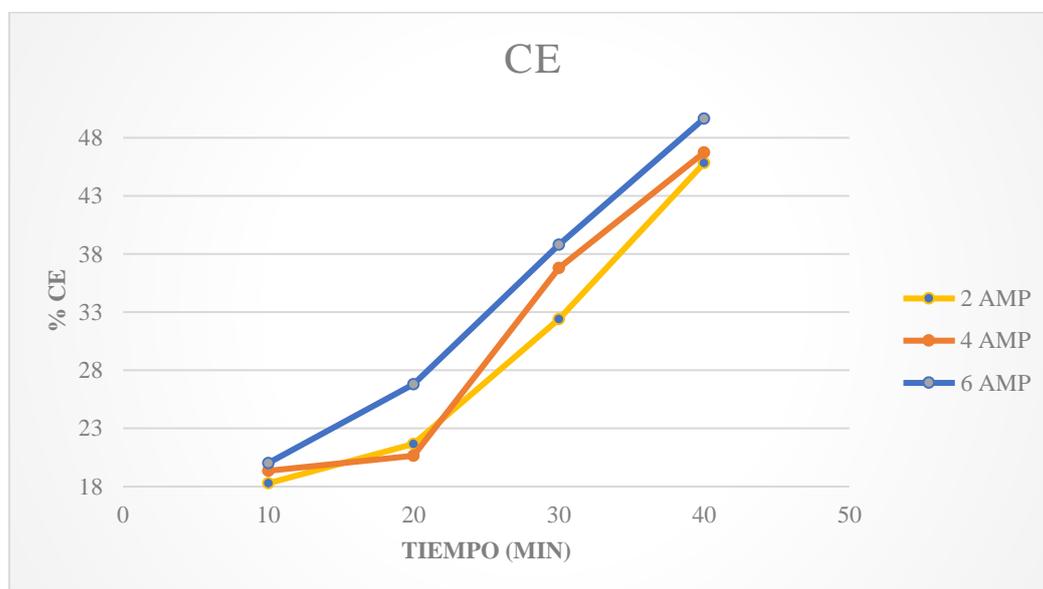


Figura 14. C.E a 2,4 Y 6 amperios.

4.3.3. Determinación de los SDT

Tabla 12. Determinación de SDT a 2,4 y 6 amperios.

Corriente (AMP)	Tiempo (min)	%SDT
2	10	98.84
	20	87.08
	30	61.33
	40	45.77
4	10	85.36
	20	68.39
	30	50.03
	40	31.88
6	10	81.81
	20	68.03
	30	47.64
	40	25.84

Fuente: Elaboración propia

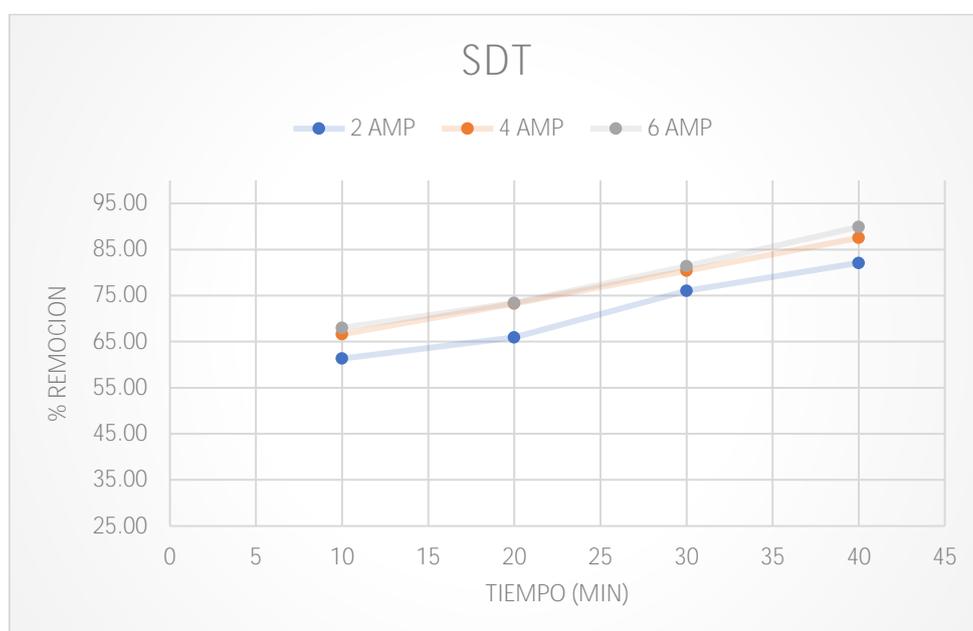


Figura 15. SDT a 2,4 Y 6 amperios.

4.4.4. Determinación de la TURBIDEZ

Tabla 13. Determinación de TUB a 2,4 y 6 amperios.

Corriente (AMP)	Tiempo (min)	TUB
2	10	97.97
	20	76.14
	30	50.36
	40	31.54
4	10	83.34
	20	76.29
	30	51.36
	40	24.84
6	10	81.32
	20	67.32
	30	47.61
	40	18.01

Fuente: Elaboración propia

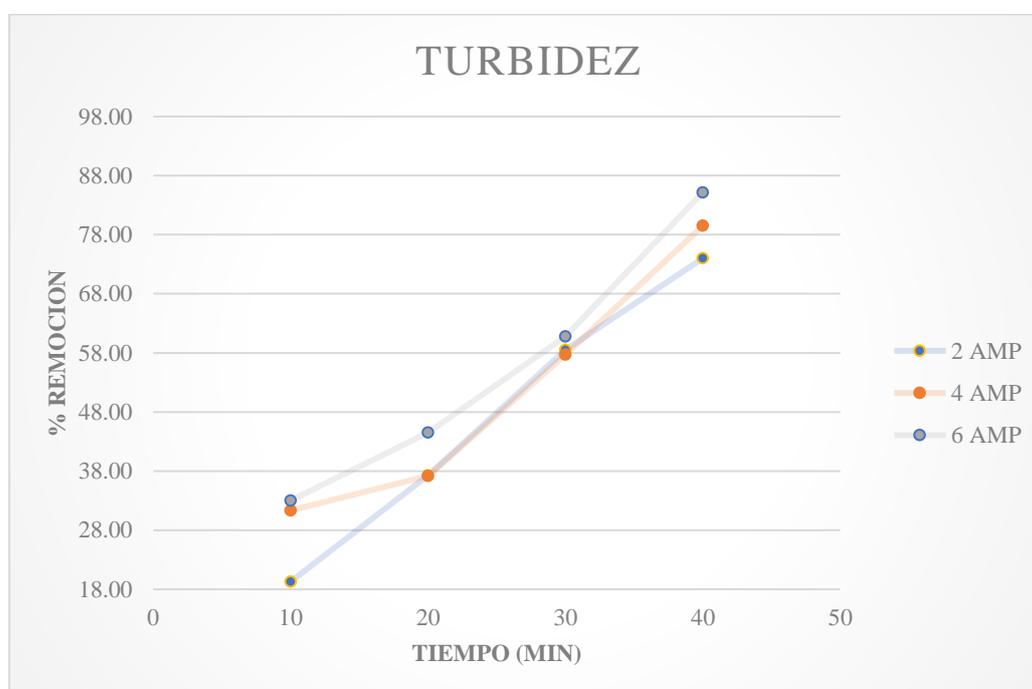


Figura 16. TURBIDEZ a 2,4 y 6 amperios.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El tratamiento mas adecuado y menos contaminante respecto al tratamiento del agua de la laguna “La encantada” es el de electrocoagulación, debido a que no presenta sustancias químicas en su mecanismo de aplicación.
- Respecto a la caracterización fisicoquímica del agua de la laguna “La encantada” presento una conductividad eléctrica de 2570.18 uS/cm, una cantidad de 255.686 mg/l de solidos totales disueltos en el agua, una turbidez de 121.4 NTU y un pH de 8.76.
- De acuerdo con los datos obtenidos de la DBO y la DQO iniciales, estas fueron de 1786 mg/l y 3782,725 mg/l , posterior al mecanismo de electrocoagulación estas disminuyeron de manera adecuado presentando finalmente una DBO de 31,09 mg/l respecto a la cantidad inicial y la de DQO presento un valor de 38,69 mg/l de la inicial, ambos datos se dieron a tiempo de 40 minutos y con un amperaje de 6, los cuales fueron los óptimos y adecuados de la investigación.
- De acuerdo con el método más adecuado de electrocoagulación, este presento datos favorables respecto a cada uno, y eso se puede observar de manera objetiva en los gráficos del apartado 4.3, los que indica la disminución del pH hasta un valor de 7.26, el aumento de la conductividad eléctrica, la turbidez del agua disminuye hasta un 85,16 % y el porcentaje de solidos disueltos baja hasta un 89,89 %.

5.2. Recomendaciones

- A fin de mejorar los resultados obtenidos se podría tomar una mayor cantidad de muestras de aguas a nivel superficial y de fondo de la laguna para cubrir

una mayor evaluación de las características fisicoquímicas y tener un mapeo más completo de la contaminación incipiente y desarrollada que presenta la laguna.

- También se podría repetir las pruebas realizadas teniendo en cuenta la variable estacionalidad, es decir desarrollar un estudio que comprende un mayor tiempo de evaluación de las características fisicoquímica de las aguas de la laguna.
- Se podría completar el estudio con una evaluación del parámetro microbiológico a fin de tener información de la contaminación antrópica por el arrojado de aguas residuales antrópicas y de que puntos se vierten estas aguas servidas.

CAPITULO V: FUENTES DE INFORMACIÓN

6.1. Bibliografía

- Fonseca, A. A. (2017). *Tratamiento de Aguas residuales mediante proceso aerobico asistido electroquimicamente*. Brasilia. Obtenido de https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/24413/1/2017_ArielaAraujoFonseca.pdf
- Humire, J. L. (2013). *Propuesta metodologica para la evaluacion de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante lagunas de estabilizacion - Azangaro*. Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5485/Quispe_Humire_Jorge_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lozano, R. C., & Orellana, T. M. (2017). *Propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales del establo de ganado bovino perteneciente a la estacion experimental de la Facultad de Ciencias Agronomicas de la Universidad de el Salvador*. El Salvador. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15122/1/Propuesta%20para%20un%20sistema%20de%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20del%20establo%20de%20ganado%20bovino%20perteneciente%20a.pdf>
- Olvera, D. M. (2016). *Propuesta de rehabilitacion del sistema de lagunaje para el tratamiento de aguas residuales de la cabecera Cantonal de Palestina*. Guayaquil. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12881/1/TESIS%20MGA%20007_%20Propuesta%20de%20Rehabilitacion%20de%20Lagunas%20Del%20Canton%20Palestina.pdf

Rojas, R. A. (2016). *Determinacion de los parametros fisicoquimicos para evaluar la calidad de agua en la laguna la encantada provincia de Huaura -2016*. Huacho.

Obtenido

de

<http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/2226/ATANACIO%20ROJAS%20ROSI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Santo, T. C. (2015). *Remediacion de agua en un estanque utilizando metodos fisicos y quimicos para su tratamiento*. Obtenido de

<https://www.gofenix.tecnico.ulisboa.pt>

ANEXOS

Anexo 01: Imágenes de la visita y recolección del agua de la laguna “La encantada”



Figura 17. Laguna "La encantada"



Figura 18. Medición del parámetro del pH



*Figura 19.*Recoleccion de la agua de la laguna "La encantada"



*Figura 20.*Medicion del pH del lado opuesto de la laguna "La encantada"