



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Efecto del tiempo y número de placas en la remoción de DQO y  
turbidez en agua residual del proceso de curtido por  
electrocoagulación**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental**

**AUTORES:**

Arana Rivera, Danaysha Briggitt (ORCID: 0000-0001-7333-6902)

Peña Infante, Frank Anthony (ORCID: 0000-0003-0805-7397)

**ASESOR:**

MSc. Ing. Isidoro Valderrama Ramos (ORCID: 0000-0003-4001-3255)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**TRUJILLO – PERÚ**

**2019**

## **Dedicatoria**

A nuestros padres,

ya que son ellos quien nos motivaron y apoyaron a salir adelante, y nunca rendirnos con las adversidades que nos da la vida.

A nuestra familia

Por su cariño y apoyo incondicional, ya que siempre confiaron en nuestras capacidades y nunca nos dejaron solos.

A nuestros amigos

Por su aprecio y apoyo cuando los hemos necesitado, por haber ayudado cuando nuestro equipo no funcionaba, y por ser una pieza clave en nuestras vidas.

## **Agradecimiento**

Damos gracias en primer lugar a Dios por haberme guiado y cuidado durante todo el día de mi vida universitaria.

De igual manera un sincero y especial agradecimiento a nuestros padres por todo el apoyo incondicional y por habernos apoyado hasta el último día de nuestra vida universitaria. Este logro no sería posible si ustedes.

También expresar mi sincera gratitud a nuestros asesores, el Ing. Isidoro, Ing. Sandra, y al Ing. Antis, gracias por su paciencia, motivación y sobre todo por brindarnos sus conocimientos.

## Índice de contenidos

Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	v
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	15
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	15
3.2. Variables y operacionalización .....	19
3.3. Población, muestra y muestreo .....	20
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	20
3.5. Procedimientos.....	21
3.6. Método de análisis de datos.....	26
3.7. Aspectos éticos .....	26
IV. RESULTADOS.....	27
V. DISCUSIÓN: .....	35
VI. CONCLUSIONES: .....	38
VII. RECOMENDACIONES: .....	39
REFERENCIAS.....	40
ANEXOS .....	47

## Índice de tablas

Tabla 1.	<i>Diseño de investigación</i> .....	16
Tabla 2.	<i>Diseño de investigación</i> .....	17
Tabla 3.	<i>Diagrama de bloques del procedimiento experimental</i> .....	18
Tabla 4.	<i>Tiempo y número de placas</i> .....	19
Tabla 5.	<i>Parámetros fisicoquímicos: Turbidez y DQO</i> .....	19
Tabla 6.	<i>Normativa de parámetros</i> .....	20
Tabla 7.	<i>Normativa de calidad</i> .....	21
Tabla 8.	<i>Parámetros a evaluar en la muestra inicial 1 y muestra con pre tratamiento</i> .....	24
Tabla 9.	<i>Caracterización de la muestra del agua de curtido</i> .....	27
Tabla 10.	<i>Influencia del tiempo y número de placas en el proceso de Electrocoagulación</i> .....	28
Tabla 11.	<i>Porcentaje de remoción de DQO y Turbidez con variaciones de placas</i> .....	29
Tabla 12.	<i>Prueba de normalidad</i> .....	31
Tabla 13.	<i>Prueba de homogeneidad de varianzas de error, test de Levene</i> .....	31
Tabla 14.	<i>Análisis de varianza ANOVA de un factor</i> .....	32
Tabla 15.	<i>Comparaciones múltiples de Duncan en la variable porcentaje de remoción DQO.</i> .....	33
Tabla 16.	<i>Comparaciones múltiples de Duncan en la variable porcentaje de remoción de turbidez</i> .....	34
Tabla 17.	<i>Tabla de operacionalización de variables</i> .....	51
Tabla 18.	<i>Tabla de presupuesto</i> .....	53
Tabla 19.	<i>Cronograma de actividades</i> .....	54
Tabla 20.	<i>Ficha de Instrumento de recolección de datos</i> .....	55
Tabla 21.	<i>Tratamiento de electrocoagulación por triplicado</i> .....	57

## Índice de figuras

Figura 1.	Porcentaje de remoción de DQO de las aguas de curtido por electrocoagulación .....	30
Figura 2.	Porcentaje de remoción de Turbidez de las aguas de curtido por electrocoagulación .....	30
Figura 3.	Gráfico de medias de la variable de respuesta porcentaje de remoción de DQO vs Tratamientos. ....	56
Figura 4.	Gráfico de medias de la variable de respuesta porcentaje de remoción de Turbidez vs Tratamientos. ....	56
Figura 5.	Recolección de la muestra de curtido de la curtiembre ecológica del norte. ....	58
Figura 6.	Tamizado de la muestra para su previa aireación.....	58
Figura 7.	Aireación de la muestra para su previo tratamiento. ....	59
Figura 8.	Agitación de la muestra, antes de aplicarle el NaOH para el pre tratamiento. ....	59
Figura 9.	Aplicación del NaOH, para aumentar el pH y sedimente el Cr. ....	60
Figura 10.	Medición de pH, obteniendo un Ph mayor a 9.....	60
Figura 11.	Placas de electrocoagulación (electrodos de aluminio y fierro).....	61
Figura 12.	Armado de nuestra celda de electrocoagulación.....	61
Figura 13.	Equipo de electrocoagulación ya terminado.....	62
Figura 14.	Vertimiento de la muestra para dar inicio al proceso de electrocoagulación. ....	62
Figura 15.	Proceso de electrocoagulación con 06 placas .....	63
Figura 16.	Proceso de electrocoagulación con 8 placas .....	63
Figura 17.	Recolección de muestra para evaluar parámetros de DQO. ....	64
Figura 18.	Recolección de muestra para evaluar parámetros de Turbidez. ....	64
Figura 19.	Medición de DQO.....	65
Figura 20.	Medición de Turbidez.....	65

## Resumen

Las curtiembres son las industrias más contaminantes, por la constante generación de aguas residuales caracterizada por una alta concentración de materia orgánica tóxica, cromo, sulfuros, no cuentan con un tratamiento y se vierten sus efluentes al alcantarillado. Es por ello que la presente investigación determinó el efecto del tiempo y el número de placas en la remoción de DQO y Turbidez en el proceso de curtido por electrocoagulación. Se empleó electrodos de aluminio y hierro, con una variación de placas de 6 y 8 intercaladamente, con una muestra de agua residual de curtido de 1.5 Lts, suministrada a una Fuente de poder con 20 Voltios 10 Amperios, para ello se empleó tiempos de 30 – 50 minutos con un tiempo de residencia de 60 minutos. El tratamiento de electrocoagulación, presentó mejoró los niveles de remoción a los 50 minutos, aplicando 6 y 8 placas con un nivel de 81% y 80.88% en porcentajes de remoción, siendo 915 mg/L y 920 mg/L en DQO, disminuyendo considerablemente el nivel de DQO. Finalmente hubo un nivel de remoción de turbidez de 79% aplicando 6 placas y un nivel de remoción de 81% aplicando 8 placas, después de 50 minutos de tratamiento.

**Palabras claves:** Electrocoagulación, curtido, DQO, electrodos, residencia

## **Abstract**

Tanneries are the most polluting industries, due to the constant generation of wastewater characterized by a high concentration of toxic organic matter, chromium, sulfides, they do not have a treatment and their effluents are discharged into the sewage system. For this reason, the present investigation determined the effect of time and number of plates on the removal of COD and turbidity in the electrocoagulation tanning process. Aluminum and iron electrodes were used, with a variation of 6 and 8 plates alternately, with a tanning wastewater sample of 1.5 Lt, supplied to a power source with 20 Volts 10 Amps, for this purpose, times of 30 - 50 minutes with a residence time of 60 minutes were used. The electrocoagulation treatment, presented improved the removal levels at 50 minutes, applying 6 and 8 plates with a level of 81% and 80.88% in removal percentages, being 915 mg/L and 920 mg/L in COD, considerably decreasing the COD level. Finally, there was a turbidity removal level of 79% applying 6 plates and a removal level of 81% applying 8 plates, after 50 minutes of treatment.

**Keywords:** Electrocoagulation, tanning, COD, electrodes, residence.



## I. INTRODUCCIÓN

El proceso de curtido ha sido considerado como una de las industrias más contaminantes y de gran impacto en el medio ambiente, además del gran uso de recursos que se emplea en dicha actividad, se excluye el hecho de que utilizan un subproducto putrescible y una lenta biodegradación (Córdova, Vargas et al, 2014, p. 1).

Las empresas de curtiembre en la actualidad son reconocidas por su ardua labor de transformar las pieles en cuero siguiendo una serie de procesos en donde se elimina la carne restante en la piel, los filamentos que esta pueda tener y también la grasa, esto para que valla directamente al curtido. Previamente de curtir las pieles, es imprescindible limar en lavados salados y alcalinos, como consecuencia de ello se generan gran cantidad de aguas residuales que contienen niveles elevados de metales tóxicos. (Garzón 2012, citado en Baca 2018), (Guerrero, 2017, p. 5). También hay grandes impactos en la economía, pero también en la sociedad y aún más en el medio ambiente social, el proceso del curtido de pieles es una actividad muy importante y productivo en el país, como lo es la industria del calzado que se utiliza como materia prima especialmente bovinos, vacuno y otros, las curtiembres de la ciudad de Trujillo realizan el mercadeo de pieles de especies caprina, vacuna y ovina. Ofreciendo productos de buena calidad y con buen acabado. (Guerrero, 2017, p. 4).

La transformación de la materia, se ven en la necesidad de utilizar agentes químicos y procesos que indirectamente terminan contaminando el agua, el suelo y el aire. Los residuos que generan las curtiembres a la larga causan efectos negativos y producen impactos sobre el ambiente, el cómo tratar las aguas residuales y los residuos sólidos, así como también los gases que se pueden almacenar en Fuentes de agua, aire y suelo degradando los recursos e incluso causando daños irreversibles. (Lenntech, 2017, p. 8). (Romero, 2016, p. 1)

El hombre ha tomado conciencia de los problemas de contaminación que existen actualmente y es por ello que ha surgido la búsqueda de proteger el medio donde habita, es donde ha creado procesos para revertir algunos daños y mitigar los

impactos. Para hacer una pequeña comparación, los residuos generados por una curtiembre son tan similares que al de una mina ya que se emplean componentes químicos agresivos con el ambiente, tan solo para obtener un producto que es necesidad del hombre. (Gómez, 2018, p. 6).

Esta problemática principalmente afecta a las poblaciones aledañas a estos establecimientos, ya que son ellos quienes están expuestos a emanar estas sustancias, así como también tener un contacto directo si en caso alguno de los efluentes sale. Hay una gran diversidad de tratamientos de aguas residuales, en Perú se emplean tecnologías poco amigables con el medio ambiente en el tratamiento de aguas residuales industriales, como se ya se había mencionado la coagulación es uno de ellos, siendo un proceso fisicoquímico empleando coagulantes como el  $Al_2(SO_4)_3$  y polímeros sintéticos, se emplean comúnmente en las PTAR, pero existen riesgos en la salud si se realiza una sobredosificación de estos químicos, además de ello también genera cierto residuo como los lodos. (Romero, 2016, p. 12) (De la Cruz, 2019, p. 1).

El problema de la coagulación es el empleo de coagulantes, además de ser costosos, son sensibles a condiciones de pH y temperatura, en consecuencia de ello se ha propuesto emplear electricidad para tratar las aguas residuales con ayuda de electrodos (aluminio y hierro) como medios conductores, emplear esta tecnología presenta ventajas además del equipo simple que se emplea para su funcionamiento, los lodos que se generan son más compactos y en menor cantidad, además del ahorro de costos en la operación y de reactivos como el  $Al_2(SO_4)_3$ , la generación de gases de esta aportan a la mezcla de la solución generando fenómenos de electro-floculación y electro-flotación. (Gómez, 2018, p. 6) (Aoudj, 2017, p.1).

El proyecto de investigación tiene la finalidad de encontrar una solución a dicho problema mediante alternativas nuevas en el tratamiento de aguas en el país, teniendo como referencia la electrocoagulación con resultados exitosos, alcanzando porcentajes de remoción de contaminantes altas además dicha tecnología no emplea coagulantes, si no electrodos que mediante la electricidad desestabiliza las partículas logrando una precipitación y aglomeración para

posterior a ello depurar el agua contaminada cumplimiento con la normativa ambiental vigente en el país. (Huda, 2017, p.1).

¿Cuál será el efecto del tiempo y número de placas en la remoción de DQO y turbidez en agua residual del proceso de curtido por electrocoagulación?

¿Qué tiempo de electrocoagulación será la más eficaz?

¿Se podrá evaluar el nivel de remoción de DQO en las aguas residuales del proceso de curtido?

¿Se podrá evaluar el nivel de remoción de turbidez en las aguas residuales del proceso de curtido y comparar con los resultados obtenidos según la normativa vigente?

Encontramos diversas curtiembres no tienen una planta que trate sus aguas residuales por ello comúnmente los efluentes son arrojados al desagüe provocando contaminación a través de carbonato de calcio y gran deposición de sólidos en las tuberías. La presencia de sulfuros y sulfatos, ello aumenta el daño de los materiales de cemento, afectando la calidad del cuerpo receptor y causando su deterioro. (Aldana, 2017, p. 3). Esta investigación nos con lleva a plantearnos los siguientes objetivos:

Determinar el efecto del tiempo y el número de placas en la remoción de DQO y turbidez en el proceso de curtido por electrocoagulación.

Determinar el tiempo de electrocoagulación de manera eficaz.

Evaluar el nivel de remoción de DQO en las aguas residuales del proceso de curtido.

Evaluar el nivel de remoción de Turbidez en las aguas residuales del proceso de curtido, comparar los resultados obtenidos con la normativa de las aguas residuales de las curtiembres.

Planteándose como Hipótesis:  $H_1$ : De los tratamientos evaluados se tiene que hay un efecto del tiempo y el número de placas en la remoción de DQO y Turbidez en el proceso de curtido, aplicando electrocoagulación.

## II. MARCO TEÓRICO

Las Aguas residuales industriales, son el resultado de diversos procesos productivos, entre ellas están las provenientes de las actividades agroindustriales, agrícolas, minera, energéticas, etc. (OEFA, 2014, p.3). entre ellas se encuentran las aguas residuales de curtiembre, según Esparza y Gamboa (2001, p. 42) explican que los procesos de curtiembre se realizan en medios acuosos, para ello emplean un aproximado de hasta 100 L por Kg de agua de piel salada. Según el “Centro Técnico del Cuero de Lyon”, se estima que en el año 1976 el volumen de agua residual de la industria de curtido era de aproximadamente 500 millones de m<sup>3</sup> en escala mundial, si se considera un volumen de aguas residuales urbanas por habitante al año y la carga contaminante de esta industria sería de 80 m<sup>3</sup> por persona, esto equivale a 40 millones de habitantes por día.

En Pepeira, Colombia; Gómez (2018) evaluaron la electrocoagulación como proceso de descontaminación de aguas residuales y herramienta de educación químico ambiental y propuso como objetivos, descontaminar el agua de una empresa de decorado textil de calzado para un grado 6 y 7 y también desarrollar competencias científicas para los grados 6to y 10mo de una institución educativa. Gómez, el resultado fue que el agua tratada por este proceso fue exitosa, por ello se logró descontaminar en un 85% de su estado original, con respecto a la educación ambiental, los alumnos del 6to nivel tienen más conocimientos de estos temas a comparación de otros niveles.

Al igual que Nizam, (et al) (2016) analizó la electrocoagulación mediante el uso de aluminio y acero inoxidable, su objetivo fue reducir y tratar el metal pesado que contiene el lixiviado del relleno sanitario. Los tipos de electrodos utilizados en este estudio fueron aluminio y acero inoxidable. Los rangos de pH inicial aplicado fueron pH (3, 4, 5, 6 y 7) y los voltajes aplicados fueron 1.5 V, 2.0 V y 2.5. V. Al final del proceso de electrocoagulación, las soluciones se almacenaron y analizaron mediante espectroscopia de absorción atómica (AAS). Se encontró que, los electrodos de diferencia tienen una efectividad diferente en la eliminación

del cromo total, el color y la turbidez, dependen de los tipos de electrodos (aluminio o acero inoxidable).

Romero (2015) diseñó una planta de recuperación de sulfato de cromo (III) proveniente de las aguas del proceso de curtido de cromo, se propuso como objetivo principal recuperar el sulfato de cromo de los efluentes, empleo diversos métodos como: precipitación química, acidificación y electrocoagulación. En este caso el método de electrocoagulación se trabajó con diferentes densidades de corriente y tiempos de residencia empleando electrodos de hierro, recuperando hasta un 21.9% de Cr.

Se tiene el estudio de Pinilla, (2014) donde empleo la reutilización del agua de vertimientos de curtiembres. Evaluó el porcentaje de remoción de Cr de las aguas residuales, por precipitación con NaOH, y posibilidad de reúso del agua. Además de ello determino ciertos parámetros fisicoquímicos como el cromo, DQO, DBO<sub>5</sub> y pH, para ello se precipito el Cr<sup>+3</sup> con hidróxido de sodio (98% de pureza), reduciendo el contenido de cromo del curtido desde una concentración regular de 2.465 mg/L hasta niveles inferiores a 1,0 mg/L, que permitió el aprovechamiento del agua para el proceso de lavado de las pieles donosos que ingresan a la planta de producción de cuero. (De la Cruz, 2019, p. 1).

Otro estudio tenemos de Mayta y Mayta, (2017) consistió en la remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación – Lima”, tuvo como objetivo principal remover Cr III y DQO de una muestra de agua residual de curtiduría por el proceso de electrocoagulación en un reactor electroquímico. La variación de tiempos fue de 15 a 45 min, voltajes (de 5 a 10 V), diluciones (de 0 a 2) en el proceso de electrocoagulación. Se observó aumentos de temperatura, pH y bajas de la conductividad. La remoción máxima de Cr II fue de un 98% y DQO 48 % aplicando (45 min, 10 V y dilución de 2).

Osorio y Juárez (2019) determinó los parámetros electroquímicos para la remoción de cromo (iii) y DQO en aguas de curtido a través del proceso de

electrocoagulación y tuvo como objetivo determinar la concentración inicial de Cr (VI), Cr (III) y la DQO, igualmente se comprobó el Cr (III) presente, Cr (VI) removido y DQO de las aguas de curtido, empleando un reactor electroquímico con una capacidad de 40 lts de capacidad, teniendo 7 catodos de aluminio y 7 ánodos de fierro con 1 y 2cm de separación respectivamente. En esta investigación la energía eléctrica fue provista con un transformador, esto alcanzó el valor de 0,3mg/L de Cr (III); 0,05mg/L de Cr (VI); 0,3mg/L de Cr Total y 38 mg/L de DQO, valores por debajo de los LMP, según el decreto supremo.

Otro estudio realizado por Portada, (2016) estudió el tratamiento de aguas residuales del proceso de curtido en pieles por procesos físico-químico de la curtiembre propuso esta investigación como principal objetivo de descontaminar aguas residuales de una curtiembre, en los procesos de remojo, pelambre y curtido. Determinó las mejores condiciones para la coagulación y posterior floculación de las aguas residuales de remojo utilizando  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 4H_2O$ , los porcentajes de remoción de sólidos totales fue de 98.78 %. Este tratamiento inicio aireando la muestra para su previo tratamiento, logrado como resultado final que para la oxidación de sulfuros fue de un 91.45% al igual que la remoción de Cr II y sólidos totales en un 96.22 y 73.65% respectivamente.

Por otra parte, Guerrero, (2017) estudió el tiempo y voltaje en la disminución de la carga orgánica por electrocoagulación del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C." evaluó la eficiencia del método de electrocoagulación para minora de carga orgánica. La carga orgánica fue medida por los parámetros químicos como DBO y DQO. Para la obtención de resultados, la investigación se realizó utilizando un equipo (reactor) de 2,5 L de muestra, para ello empleo electrodos de aluminio, analizando el tiempo de 20-45 min y voltaje de 8 -16 voltios, dando como resultado que a más tiempo de reacción y voltaje se obtuvo óptimos resultados de remoción con un 46,9% y 71,2% respectivamente.

Del mismo modo, Serrano, (2017) analizó la influencia de la densidad de corriente y la distancia entre electrodos en la remoción del color y DQO, de efluentes de recurtido usando electrocoagulación – ozonificación, utilizó un reactor tipo beach de 2L., en el cual el fierro sirve como ánodo y el aluminio como catado. Para la ozonificación se usó un reactor de columna de burbujeo tipo semi- batch. Dando

como resultado la mayor cantidad de remoción de DQO y color del 85.8% y 96.2%, al emplear la EC – OC, la remoción del calor bajo a un 90.8% mientras que, la remoción de DQO se incrementó hasta 87.8%, con una densidad de corriente de  $210 \text{ a/m}^2$ .

Devlin, Wei, Pagaduan, (et al) (2019) analizó la electrocoagulación de aguas residuales mediante electrodos de aluminio, hierro y magnesio” investigó la influencia de los ánodos de sacrificio en la eliminación de la DQO, nitrógeno total, fósforo total y ortofosfato durante la sedimentación. Los electrodos de aluminio y hierro proporcionaron altas tasas de eliminación de ortofosfatos (es decir,  $6.8 \text{ mg-P / mmol-e}$ ), los electrodos de magnesio, por otro lado, eliminaron el ortofosfato a tasas 8–9 veces más lentas que el aluminio y el hierro (es decir,  $0.9 \text{ mg-P / mmol-e}$ ). Los electrodos de magnesio eliminaron el 49% de la DQO y el 21% de nitrógeno total en las altas relaciones molares requeridas para la eliminación de ortofosfato.  $9 \text{ mg-P / mmol-e}$ ). El magnesio tuvo que ser dosificado en una proporción de 13.5: 1 ortofosfato para la eliminación de fósforo.

Igualmente, Núñez, Medina, Thibaut, (et al) (2019). Aplicó la electrocoagulación para la eliminación eficiente de contaminantes para reutilizar las aguas residuales tratadas en el proceso de teñido de la industria textil”. se evaluó color, turbidez y DQO, el análisis se realizó primero con las aguas residuales provenientes del proceso de teñido de la ropa, luego de aplicar el tratamiento fue posible eliminar el 86% de color, el 82% de turbidez y el 59% de DQO. Se demostró que reutilizar el agua tratada en el proceso de teñido de lana no tiene un efecto negativo en la calidad del tejido teñido. Por lo tanto, es posible implementar el proceso en la industria textil para reducir el consumo de agua.

Según Diedo y Mas (2019) determinó la influencia de la densidad de corriente y pH, para evaluar la remoción del  $\text{Cr}^{+3}$  y DQO en la efluente de etapa de curtido, mediante electrocoagulación fotovoltaica”, tuvo como objetivo determinar la influencia de la densidad de corriente y pH, sobre el porcentaje de remoción de  $\text{Cr}^{+3}$  y la DQO, mediante el método de electrocoagulación alimentando con energía fotovoltaica, para se encontró que a un pH de 8 y densidad de corriente

de 28.51 mA/cm<sup>2</sup> se obtiene una mejor reducción de 71.48% y 99.17% de DQO y Cr<sup>+3</sup> respectivamente. Además evaluó el consumo energético, en 36.58 kwh/m<sup>3</sup> en la EC + PFV, y 43.93 kwh/ m<sup>3</sup> en la EC.

Según OEFA (2014) explica a las aguas residuales como aguas con condiciones anormales ya sea alteración del ser humano o debido a su calidad se necesita un tratamiento previo antes de ser vertidas. (Oefa, 2014, p.2)

Según el OEFA Existen diversos tipos de aguas residuales:

Que son, las aguas residuales domésticas, cuyo organismo las define como aquellas que son de origen comercial y residencial que contienen desechos tales como eses y provenientes de las actividades humanas. (OEFA, 2014, p.3)

También existen las aguas residuales municipales, son aquellas combinadas con aguas residuales de origen industrial y de drenaje pluvial, para ser arrojadas a la alcantarilla de tipo combinado. (OEFA, 2014, p.3)

Las aguas de curtiembre pueden tener diferentes composiciones según el proceso productivo que emplee. A pesar de ello, se observa ciertos elementos en común como proteínas, componentes oxidables, materia en suspensión, sustancias tóxicas y productos químicos, además de un olor desagradable y un color oscuro. Cabe resaltar que el proceso de ribera es responsable en términos de DBO del 80 % de la carga total del contaminante, debido a la presencia de sus productos de degradación y proteínas, y del 60%, de los sólidos suspendidos. La presencia de cromo en la curtición y sulfuro en la etapa del pelambre ocasionan una toxicidad a las descargas por ello deben ser tratados con especial cuidado (Ver anexo Tabla 1) (Ver anexo Tabla 2) (Ver anexo Tabla 3) (Ver anexo Tabla 4). (Esparza y Gamboa, 2001, p.43).

Para la obtención del cuero la industria de curtiembre pasa por diversas etapas hasta lograr su producto, convirtiendo el cuero crudo en un producto comercializable. En la etapa de Ribera se lleva a cabo varios procesos entre ellos:



El almacenamiento y recorte del cuero crudo, es sometido a conservación para evitar su contaminación biológica.

Seguido de ello el cuero es remojado y lavado, con detergentes y agua para eliminar residuos como la sal, se elimina el pelo aplicando un tratamiento enzimático o químico en el proceso de pelambre y encalado, luego pasa por el escarnado en la cual mediante cuchillas se elimina el tejido subcutáneo como grasas y musculo y se produce dos capas, cortando la piel por la mitad de su espesor.

En la etapa de Curtido se aplica disoluciones acuosas de ácidos, para eliminar los productos alcalinos y la cal que presenta el cuero en su interior, seguido de ello se hace una ligera peptización y aflojamiento en la estructura del colágeno, en el piquelado se emplea  $Cr_3$  con el fin de depurar el álcali que resta en el cuero, el cuero pasa por otro proceso que es el desengrase en la cual mediante agentes tensoactivos como detergentes sintéticos o kerosene se elimina el contenido de grasa en pieles lanares, en el siguiente proceso se encuentra el curtido en la cual se transforma la piel en el cuero comercial aplicando una técnica de fijación de agente de curtido en la piel como curtientes naturales y sales de, luego la piel es lavada para quitar el exceso que hay de curtiembre, con el fin de lograr un cuero más suave y flexible este pasa por un proceso de engrase en el cual consiste en la adición por impregnación de aceites animales y vegetales, en el proceso de Recurtido se logra un cuero más lleno, además de que obtiene mejor resistencia al agua, mayor blandura, como penúltimo proceso tenemos el teñido, en la cual se tiñen las pieles mediante colorantes ácidos o básicos y por última etapa esta la terminación, se le da al cuero ciertas características dependiendo el producto final. Por otro lado, Según Electrochemistry (2015) la electroquímica es el estudio de producción de electricidad que es liberada durante las reacciones químicas espontaneas y el uso de energía eléctrica para provocar las transformaciones químicas, una gran cantidad de metales, hidróxido de sodio, cloro, flúor y diversos productos químicos son producidos por métodos electroquímicos, la electroquímica es importante ya que ayuda a la creación de nuevas tecnologías que son ecológicas (p.63).

Según Bharath, Krishna y Manoj (2018) explica la electrocoagulación como un proceso que implica una reacción de oxidación y reducción en la que la desestabilización de contaminantes (suspendidos, emulsionados o disueltos) ocurren debido a la aplicación de corriente eléctrica a la solución electrolítica. La unidad de electrocoagulación consta de una celda electrolítica y electrodos de metal (Al o Fe) que están conectados a una Fuente de alimentación externa, las placas metálicas conductoras son bien conocidas como "electrodos sacrificios" que son compuesto por materiales iguales o completamente diferentes como ánodo o cátodo. En el proceso de la electrocoagulación, genera coagulantes in situ junto con iones hidroxilo y gas hidrógeno en el cátodo. Estas coagulantes in situ provocan la formación de flóculos dentro del tipo de hidróxidos de metal (Al o Fe) y / o poli (hidróxidos). El gas de hidrógeno generado en el cátodo trae flóculos a la superficie del agua al proporcionar mayor flotabilidad (p.289).

La electrocoagulación es un tratamiento muy variado debido a su aplicación en diversos tipos de aguas residuales de proceso como: aguas residuales galvanoplastia, refinería de petróleo pesado, aguas residuales textiles, de productos lácteos, de destilería, lixiviados, siendo tratamientos aplicados con éxito (Bharath, Krishna y Manoj, 2018, p. 290). Esta técnica implica varias etapas, como la Oxidación de electrodo que provoca la formación de coágulos, la Desestabilización de contaminantes, el rompimiento de emulsiones y la suspensión de partículas, para la formación de flóculos se agrega partículas desestabilizadas y se emplea la flotación y sedimentación para la remoción del material contaminante (Gilpavas 2017, p.17).

La electrocoagulación encierra diversos mecanismos químicos y fenómenos físicos, que utiliza electrodos consumibles para reemplazar iones en el agua residual. El proceso involucra tres etapas sucesivas: Formación de los coagulantes por oxidación electrolítica del electrodo de sacrificio, desestabilización de los contaminantes, partículas suspendidas y rotura de la emulsión, asimismo de la adherencia de las fases desestabilizadas para crear flocs. (Laguna y Manrique 2014, p.18) (Gómez, 2018, p. 10).

A continuación, se describe el rompimiento de emulsión, partículas suspendidas y el mecanismo de desestabilización de los contaminantes: Presión de la doble capa difusiva alrededor de las especies cargadas por la interacción de los iones generados por la oxidación del ánodo de sacrificio. Estos iones coagulantes disminuyen la repulsión electrostática entre partículas lo que causa la coagulación y de este proceso resulta una carga neta igual a cero, Los flocs que se forman como consecuencia de la coagulación crean una capa de lodos que coge y conduce las partículas coloidales que permanecen en el medio acuoso. (Mollah, 2004, p.199-210)

Las siguientes reacciones fisicoquímicas forman parte de una celda de electrocoagulación: Reducción catódica de las impurezas presentes en el agua residual, descarga y coagulación de las partículas coloidales, Ausencia electroforética de iones en solución, Electroflotación de las partículas coaguladas ocasionada por las burbujas de hidrógeno y oxígeno procedentes de los electrodos, Reducción de los iones metálicos en el cátodo, entre Otros procesos químicos y electroquímicos". (Mollah,2004, p.199-210)

Es propicio hablar también de que es un reactor de electrocoagulación constituido por una celda electrolítica que cuenta con un cátodo y un ánodo enlazados a una Fuente voltaica que al pasar corriente eléctrica contribuye con iones desestabilizadores de partículas coloidales produciendo así compuestos metálicos que sustituyen funciones de compuestos químicos ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , y otros). Existen diversos tipos de electrodos que se emplean en una celda electrolítica, este cambia de acuerdo al sistema que se usa, pueden ser de aluminio, acero, hierro, cobre, o aleaciones de magnesio y aluminio (García, 2017, p. 19).

Son varios los factores que entran en el proceso de electrocoagulación y algunos de estos tienen más influencia sobre el proceso, entre ellos se encuentran:

El pH interviene en la eficiencia de corriente para formar hidróxido 14 en la disolución del metal. Durante el método de electrocoagulación el pH varía, pero esto depende también del tipo de electrodo que se emplee y del pH inicial en el que se encuentre la muestra. Cuando se emplea aguas residuales ácidas, el pH puede aumentar. Sin embargo, el pH puede bajar en aguas alcalinas, debido. En efecto el Ph influye en la eficiencia del método. (Restrepo, et al, 2006)

Otra de las variables eléctricas que también influye en el método, es la densidad de corriente. La densidad de corriente ayuda en la eficiencia de la remoción y ayuda que el agotamiento de la energía aumente (Restrepo, et al, 2006)

Un aumento en la conductividad eléctrica genera un aumento en la densidad de corriente. Se produce un decrecimiento del voltaje aplicado, cuando el voltaje alimentado a la celda de electrocoagulación se conserva constante y adicionalmente el aumento de la conductividad, manteniendo la densidad de corriente firme. (Restrepo, et al, 2006)

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno expresado en mg/l, consumido debido a la oxidación de las sustancias reductoras presentes en el agua. Para ello se emplea diversos oxidantes químicos, como el dicromato potásico. Se emplea el ensayo de la DQO para medir el contenido de materia orgánica ya sea de aguas residuales o naturales. (Hanna instruments, 2019)

La turbiedad es causada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). Para medir la turbiedad se emplea un equipo llamado nefelómetro u turbidímetro expresado en NTU (Alvarado y Gonzales, 2016, p 15).

Por otro lado, según Sedapal (2000), determina a la coagulación como un proceso en el cual se neutralizan las fuerzas que los mantiene separados, produciendo una desestabilización química de las partículas coloidales debido al uso de coagulantes químicos y la energía empleada en el proceso de mezclado, posteriormente de la coagulación, deberá suceder el fenómeno de la floculación.

Este último realiza el contacto entre partículas coloidales ya neutralizadas para permitir su desarrollo, así aumenta el tamaño y el peso para poder así separar con facilidad. (Arango, 2012, p. 2) (López, 2016, p. 15).

La coagulación es eficaz según datos de tratamientos previos, pero presenta también elevados gastos cuando este no está bien realizado, pero cuando la aplicación es realizado acorde se eliminan una gran cantidad de sustancias con bajo costo. Se podría señalar que el proceso de coagulación puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua si es que dicho proceso está mal realizado. (Sedapal, 2000)

Así mismo según Laster (1988) define ánodo como, electrodo por el cual fluye corriente eléctrica liberado por el cátodo, este electrodo provoca una liberación de electrones debido al calor, en su mayoría las válvulas el cátodo se caldea para generar esta emisión termodinámica. Laster nos dice que las celdas eléctricas son circuitos eléctricos formados por electrodos (cátodo - ánodo) y una solución de electrolitos, producen reacciones químicas como producto de un potencial aplicado. La densidad de corriente, según Laster, la define como una magnitud vectorial y finalmente al electrodo como conductores ya sea de carbono o metal que son sumergidos en electrolisis.

Según Pinilla (2014) para tratar las aguas residuales mayormente se emplea agentes tales como:  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $NaHCO_3$  y  $NaOH$ . El  $MgO$  y  $CaO$  no son adecuados para el tratamiento debido a que se contaminaría el agua con calcio y magnesio, esto produciría una dureza elevada,

Según Minan hay una norma establecida para el vertimiento de aguas residuales al cuerpo receptor, esto establecido en el D.S. N° 003 – 2010 MINAM lo cual establece que existen ciertos parámetros que se debe cumplir para el vertimiento de estas (Ver Tabla N° 05).

Existe una gran variedad de normas que se encuentran vigentes con respecto a la determinación de turbidez, están son normas nacionales como internacionales, de las cuales se nombran algunas de ellas:

“ISO 7027. (1999). Water quality - Determination of turbidity”. Como también, “DIN 38404-10. (1995). German standard methods for the examination of water, waste water and sludge. Por otro lado, exista de igual manera”, “ASTM D1889-00. Standard test method for turbidity of wáter. De igual manera”, “Method 180.1 USEPA: Determination of turbidity by nephelometry”. “NMX-AA-038-SCFI-2001: Análisis de agua - determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas”. Y por último, “NOM-127-SSA1-1994: Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización”. De manera general estas normas contemplan el método de medición, materiales de referencia para calibración, equipo; toma de muestra, expresión de resultados, almacenaje, así como los límites de control de la turbidez en la calidad del agua.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

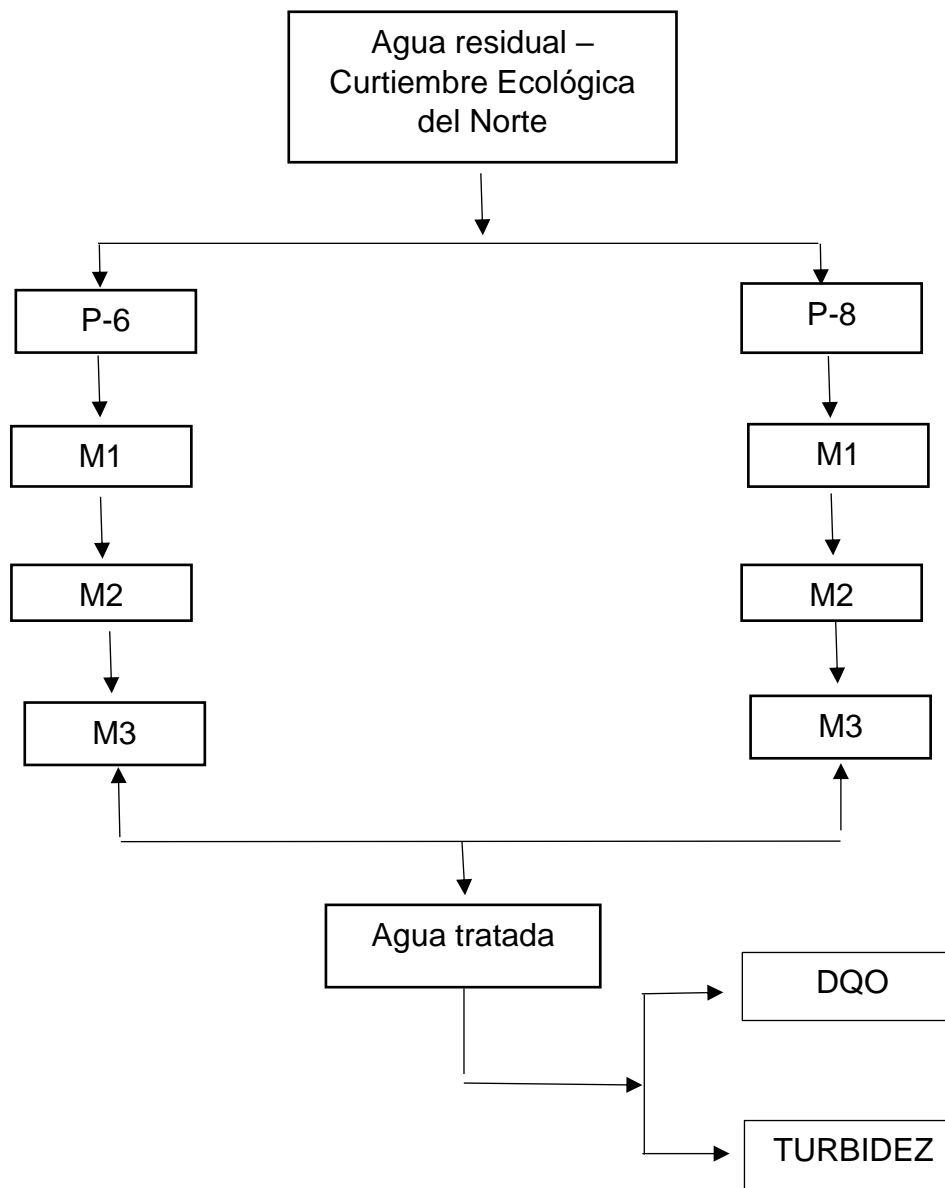
##### **3.1.1. Tipo de investigación.**

El tipo de investigación es analítica consiste en la comparación de variables determinadas entre grupos de control y de estudio, registrando el modo en que los resultados se dan en la práctica para poder comprobar o refutar alguna hipótesis previamente establecida.

##### **3.1.2. Diseño de la investigación:**

Se determinó un diseño experimental correlacional, mediante la manipulación de variables con el propósito de describir que causa y de qué modo se produce dicho acontecimiento, se planteó el efecto que tendrá una o más variables independientes, cuyo arreglo factorial es  $A * B$  en el que A corresponde a Turbidez y DQO presente en el agua de curtido y B equivalente a los intervalos de tiempo y número de placas que afectaran al factor A (Fernández, 2014).

Tabla 1. Diseño de investigación



Fuente: Elaboración propia

Dónde:

- P: Placas.
- M1, M2 y M3: Tiempo 30', 40', 50'.
- (M1, M2, M3 de muestra con 6 y 8 placas son por triplicado).



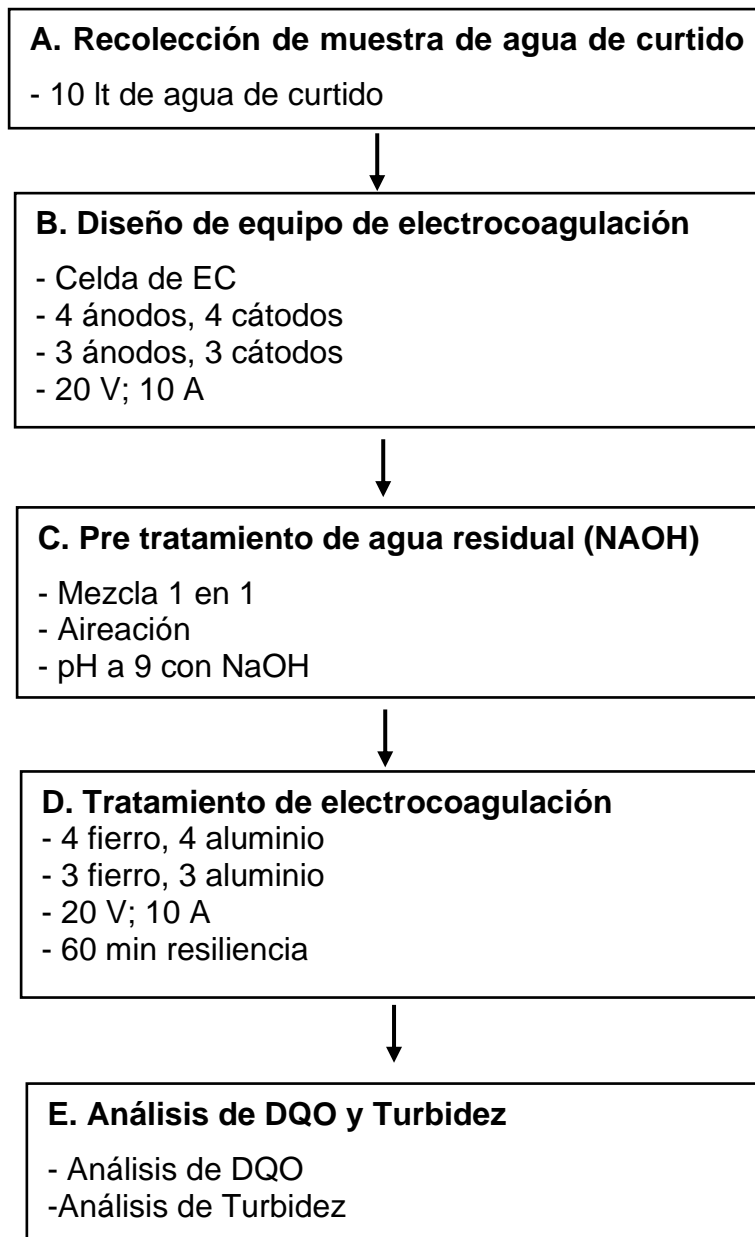
Tabla 2. Diseño de investigación

REPETICIONES	PLACAS	TIEMPO	PARAMETROS			
			DQO	TURBIDEZ	pH	Conductividad
1 R	6 placas	M1 - 30	3	3	3	3
		M2 - 40	3	3	3	3
		M3 - 50	3	3	3	3
	8 placas	M1 - 30	4	4	4	4
		M2 - 40	4	4	4	4
		M3 - 50	4	4	4	4
2 R	6 placas	M1 - 30	3	3	3	3
		M2 - 40	3	3	3	3
		M3 - 50	3	3	3	3
	8 placas	M1 - 30	4	4	4	4
		M2 - 40	4	4	4	4
		M3 - 50	4	4	4	4
3 R	6 placas	M1 - 30	3	3	3	3
		M2 - 40	3	3	3	3
		M3 - 50	3	3	3	3
	8 placas	M1 - 30	4	4	4	4
		M2 - 40	4	4	4	4
		M3 - 50	4	4	4	4

Fuente: Elaboración propia.

**El procedimiento experimental se desarrolló siguiendo la secuencia**

*Tabla 3: Diagrama de bloques del procedimiento experimental.*



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2. Variables y operacionalización

#### 3.2.1. Variable independiente: Número de placas y tiempo

*Tabla 4. Tiempo y número de placas*

<b>Número de placas Tiempo(min)</b>	<b>PRUEBA I, 6 PLACAS</b>	<b>PRUEBA II, 8 PLACAS</b>
30	6	8
40	6	8
50	6	8

*Fuente: Elaboración propia*

#### 3.2.2. Variable dependiente: DQO y Turbidez

*Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos: Turbidez y DQO*

<b>Demanda Química Oxígeno</b>	<b>PRUEBA I, 6 PLACAS</b>	<b>PRUEBA II, 8 PLACAS</b>
DQO 1	GGGJYK''''''''	8
DQO 2	6	8
DQO 3	6	8

<b>Turbidez</b>	<b>PRUEBA I, 6 PLACAS</b>	<b>PRUEBA II, 8 PLACAS</b>
T. 1	6	8
T. 2	6	8
T. 3	6	8

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.3. Operacionalización de variables (Ver Anexo 7)

### 3.3. Población, muestra y muestreo

#### 3.3.1. Población.

Volumen de agua residual del proceso de curtido aproximadamente 6000 Lt de la curtiembre Ecológica del Norte SA

#### 3.3.2. Muestra.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó aproximadamente 10 Lt de agua residual del proceso de curtido.

#### 3.3.3. Muestreo.

Es de tipo no probabilístico, se utilizó una unidad de muestra de 1.5 Lt de agua para cada análisis, se empleó un tipo de muestreo por conveniencia.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.4.1. Técnica.

En el trabajo de campo de la presente investigación, se empleó fichas de recolección e instrumentos de medición, para la toma de datos experimentales. Además, se utilizó los métodos estandarizados para evaluar el agua residual, según se muestra en la Tabla 12.

*Tabla 6. Normativa de parámetros*

<b>PARAMETROS</b>	<b>NORMA</b>
<b>DQO</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 5220, A y D. 22nd Ed.2012
<b>Turbiedad</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2130, A y B. 22nd Ed. 2012
<b>pH</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22nd Ed.
<b>Conductividad</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed.

*Fuente: APHA, AWWA, WPCF – 1998 (citado por Camacho, 2017)*

#### 3.4.2. Instrumento de recolección de datos

Libreta de notas de campo

Fichas de recolección de datos (Ver anexo 8)

### 3.4.3. Validez Y Confiabilidad

Los instrumentos y equipos que se ha empleado en esta investigación se encuentran calibrados según lo estipula la ley N° 30224, Ley que crea el Sistema Nacional para la calidad y el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) donde tiene como objetivo la normalización, acreditación, metrología y evaluación de la conformidad realizadas (Tabla. 13)

Se empleó los instrumentos de Turbidímetro, equipo de DQO, Espectrofotómetro, los cuales son calibrados por la universidad para su adecuado funcionamiento.

Por otro lado, nuestra Fuente de alimentación de energía, ya está configurada de fábrica con 20 voltios y 10 amperios, la cual aportara carga eléctrica a las placas de Fierro y Aluminio.

*Tabla 7. Normativa de calidad*

<b>Código</b>	<b>Español</b>
<b>NMP 009.18.1999</b>	Para los pH-Metro
<b>Norma ISO 7027</b>	Para medición de turbiedad
<b>Norma PNTP 360.501:2016</b>	Calidad de agua. Determinación de la demanda química de oxígeno

*Fuente: Camacho, 2017*

## 3.5. Procedimientos

### 3.5.1. Recolección de muestra:

Se recolecto muestra del proceso de curtido, aproximadamente 10 lts de agua residual, la toma de muestra se realizó en recipientes de plástico debidamente lavados, enjuagados y rotulados.

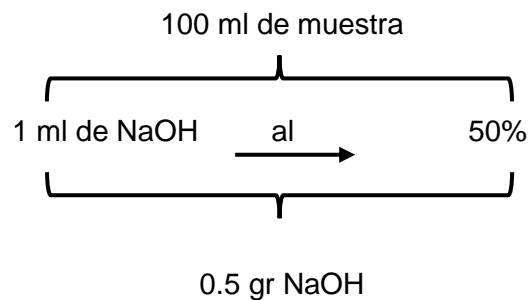
### 3.5.2. Diseño de equipo de electrocoagulación

Se construyó una celda de electrocoagulación de forma rectangular de vidrio con medidas de: largo 15 cm, ancho 13 cm, y Altura 16 cm. Se emplearon 4 placas de aluminio (ánodo) y 4 placas de fierro (cátodo) para la prueba de 8

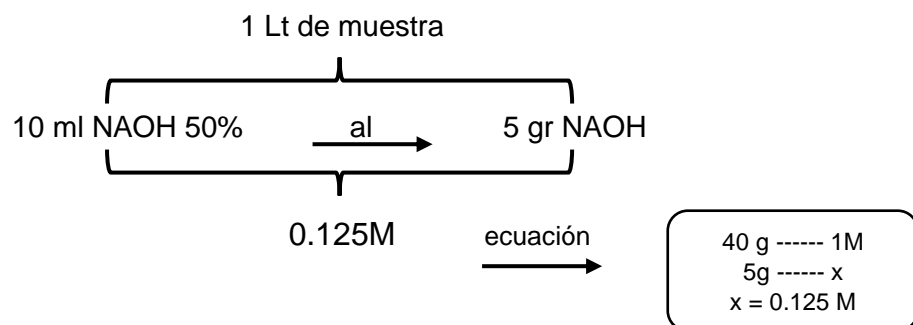
placas y 3 placas de aluminio (ánodo) y 3 placas de hierro (cátodo) para la prueba de 6 en forma intercalada, con medidas de 10 x 10 cm y de 1,5 mm de espesor, para separar las placas se crearon bases de acrílicos con una separación de 1,3 cm entre cada electrodo. Se empleó 1.5 litros de agua residual para cada tratamiento de electrocoagulación. Dicha celda fue conectada a una Fuente de alimentación de energía con un voltaje de 20 V. (ver anexo figura 5)

### 3.5.3. Pre tratamiento de agua residual

Posterior al proceso de EC, se mezcló la muestra con agua potable 1 en 1, las muestras se mantuvieron en reposo durante 2 h y el sobrenadante se filtró en papel Watman Nro. 2, además de ello se hizo un pre tratamiento a las muestras de aguas residuales debido a su alta carga orgánica que presentan, para ello se empleó hidróxido de sodio, subiendo su pH a 9, empleando un agitador magnético durante 20 min a 400 rpm, con 12 horas de sedimentación, se separó el sobrenadante y se utilizó para el tratamiento



Entonces la molaridad es:



#### **3.5.4. Análisis inicial de la muestra**

Se realizó un análisis inicial de la muestra de curtido mediante método volumétrico para determinar el DQO inicial que presenta la muestra. Se empleó método por precipitación, la cual se basa en el empleo de la titulación de reacciones que van acompañada de formación de compuestos difíciles de disolver.

Además de ello se analizó la muestra pre tratada, ya que con ella se realizará el tratamiento por electrocoagulación, el análisis aplicado a la muestra fue mediante espectrofotometría en llama, este es empleado para medir concentraciones químicas como el de DQO.

#### **3.5.5. Procedimiento de electrocoagulación**

1. Se limpió las impurezas presentes en las placas.
2. Se diluyó la muestra residual con agua potable 1 en 1. Luego de ello se aireó por 12h.
3. Debido al alto contenido de cromo se empleó se precipito la muestra con hidróxido de cromo, obteniendo un pH de 9.
4. Se vertió aproximadamente 1.5 litros de muestra de agua residual ya diluida y sedimentada en una celda de vidrio ya especificada.
5. Para los análisis se introdujeron 3 placas de aluminio y 3 de fierro para el primer análisis y 4 placas de aluminio y 4 placas de fierro para el segundo análisis, las placas fueron ubicadas en forma intercaladas, sumergidas a un 80% y conectadas con cables negativos y positivos.
6. Se empleó una Fuente de alimentación de energía, con una carga eléctrica de 20 V y amperaje de 10.
7. Se aplicaron diversos tiempos a 30', 40' y 50' minutos, en los cuales a los 30' de evaluación se apagó la Fuente de alimentación y se dejó un tiempo de residencia de 60 min para luego extraer la muestra en un vaso de precipitación sin olvidar de rotular, mismo procedimiento se repitió en los tiempos de 40 y 50 minutos.
8. Se analizó DQO y Turbidez de las muestras sacadas del proceso de electrocoagulación, además de ello el pH y conductividad.

Tabla 8. Parámetros a evaluar en la muestra inicial 1 y muestra con pre tratamiento

PARAMETROS	M - A	M - B
DQO		
Turbidez		
pH		
Conductividad		

*Fuente: Elaboración propia*

Donde M-A representa la muestra del agua residual neta de curtido y M-B representa la muestra de agua residual pre tratada con NaOH.

### 3.5.6. Análisis de las muestras

Al término del tratamiento por Electrocoagulación se procedió a analizar los parámetros ya mencionados como el DQO y Turbidez, además del Ph y Conductividad como factores que contribuyen al proceso.

#### a. DQO

Se analizó la demanda química de oxígeno, es decir el consumo de oxígeno para la oxidación de la materia orgánica. Para ello se llevó la muestra al espectrofotómetro en la cual se tuvo una muestra en blanco que consistió de agua destilada y la muestra testigo en donde van 2 ml de la solución de la muestra a analizar, en donde se tienen que tapar bien las cubetas y agitar para homogenizarlo y colocados en el espectrofotómetro para que arroje la cantidad de DQO presente, dicho análisis fue realizado por triplicado

#### b. Turbidez

La turbidez es una expresión de la propiedad o efecto óptico en si causado por la dispersión de los rayos luminosos que pasan a través de la muestra de Agua contaminada de la curtiembre en donde se muestra la materia orgánica presente.

En donde se procedió a utilizar 50 ml de la muestra de agua y el turbidímetro digital en donde arroja al instante la cantidad de materia



orgánica presente en la muestra, dicho procedimiento se realizó 3 corridas de 3 repeticiones cada una.

**c. pH**

El pH se basa en la cantidad de respuesta del electrodo ante las soluciones de diferente actividad de carga de iones de hidrogeno, en donde se puede determinar si una sustancia es neutra, acida o básica. Para determinar el pH de la muestra a analizar se procedió a calibrar el pH metro con una disolución patrón que viene a ser el agua destilada, se colocó la muestra a analizar en un vaso de precipitación de 50 ml en donde se introdujo el pH metro debido a que es digital la lectura es mucho más fácil de determinar, dicho procedimiento se realizó por triplicado.

**d. Conductividad**

La conductividad es la capacidad de que una sustancia pueda conducir corriente eléctrica debido a la materia orgánica presente en la muestra. Se utilizó un conductímetro digital en la cual se utilizó una muestra de 50 ml en un vaso de precipitación, en el cual los resultados son al instante, tiene una unidad de medida de ms/cm, dicho procedimiento se realizó con tres repeticiones cada una.

**3.5.7. Remoción**

La remoción tanto de DQO y Turbidez se expresaron en porcentajes de remoción utilizando la siguiente ecuación.

Dónde:

$\eta \rightarrow$  es el porcentaje de remoción,

$C_o \rightarrow$  es la concentración inicial

$C \rightarrow$  es la concentración final.

$$n = \frac{(C_o - C)}{C_o} \times 100$$

Dicha ecuación se utilizó tanto para determinar el porcentaje de remoción de DQO y Turbidez de la muestra analizada.

### **3.6. Método de análisis de datos**

#### **3.6.1. Evaluación**

El análisis del agua residual (muestras) se realizó por medio de parámetros fisicoquímicos como la turbidez y DQO contando con un pre tratamiento, el primer análisis se comparó con el resultado obtenido de las muestras que se realizó un tratamiento previo, con la finalidad de evaluar el porcentaje de reducción, comparando la eficiencia del método, todos los datos obtenidos mediante el tratamiento fueron observados y recopilados en tablas y para su posterior procesamiento en gráficos.

### **3.7. Aspectos éticos**

Este proyecto se realiza con responsabilidad y veracidad para contribuir con la disminución de los impactos ambientales que puedan generar las aguas residuales, permitiendo la mejora de la calidad de sus efluentes tóxicos, que puedan estar afectando su composición. Este proyecto se planteó como finalidad de evaluar la eficiencia del tratamiento de electrocoagulación y el tiempo que influencia en las placas.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización del agua residual de la curtiembre Ecológica

Tabla 9. Caracterización de la muestra del agua de curtido

PARAMETROS	M - A	M - B	D.S Nº 003 - 2002 -
			PRODUCE
DQO	5016 mg/L	4816 mg/L	2500 mg/L
Turbidez		124 NTU	No están en D. S
pH	3.90	6.31	6.5 - 9.5
Conductividad	36.58 ms/cm	71.24 ms/cm	No están en D. S

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la caracterización de la muestra del agua residual de curtido de la Curtiembre Ecológica del Norte, antes de aplicar el tratamiento de electrocoagulación, según se presenta en la Tabla 9. Se realizó una comparación con el D.S 003- 2002 MINAM (Anexo 5) en los cuales se observó que los valores iniciales exceden en cuanto a DQO y respecto al pH el valor de encuentra por debajo de la normativa, además los parámetros como Turbidez y Conductividad no se encuentran dentro de la normativa, siendo estos factores importantes para la realización del tratamiento de electrocoagulación.

Mediante un análisis volumétrico, se analizó el DQO inicial de la muestra teniendo 5016 mg/L de DQO, con un pH de 3.90 y una conductividad de 36.58 ms/cm, en cuanto a la Turbidez no se precisó el valor ya que sobrepasaba el límite del equipo. Además de ello según la metodología detallada anteriormente se analizó mediante espectrofotometría en llama la muestra previamente tratada con NaOH dando un DQO de 4816 mg/L, una turbidez de 124 NTU, un pH de 6.31 y conductividad de 71.24 ms/cm (tabla 19). El pre tratamiento se realizó a fin de precipitar el  $CR^{+3}$  presente en la muestra, ya que el alto nivel de cromo dificultaba proceder con el tratamiento de Electrocoagulación, sin embargo, se aprecia que en cuanto a DQO hubo una mínima reducción de materia orgánica, y también de Turbidez.

#### 4.2. Influencia del tiempo y número de placas

Tabla 10. Influencia del tiempo y número de placas en el proceso de Electrocoagulación

PROMEDIO DE ELECTROCOAGULACIÓN					
PLACAS	TIEMPO	DQO	TURBIDEZ	pH	Conductividad
		ppm O <sub>2</sub> /L	UNT		ms/cm
6 placas	M1 - 30	1954	67	7.71	72.15
	M2 - 40	1497	42	7.15	75.53
	M3 - 50	915	26	6.38	77.2
8 placas	M1 - 30	1586	36.23	7.02	72.32
	M2 - 40	1399	33.27	6.91	69.1
	M3 - 50	920	23.51	6.81	71.03

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos, aplicando el tratamiento de electrocoagulación en las aguas residuales del proceso de curtido en distintos tiempos (30';40';50') y con variaciones de placas (6;8), según las condiciones de operación:

- Volumen de Agua Residual: 1.5 Lts
- Tipo de operación: Batch
- Voltaje: 20 V
- Electrodos: 6 (cátodo = 3 fierro) (ánodo = 3 aluminio)  
8 (cátodo = 4 fierro) (ánodo = 3 aluminio)
- Espacio entre electrodos: 1.5 cm
- Tiempo de Residencia: 60 min

Todo el tratamiento de Electrocoagulación fue por triplicado (ANEXO N. 008).

### 4.3. Remoción de DQO y Turbidez de las aguas residuales de Curtido

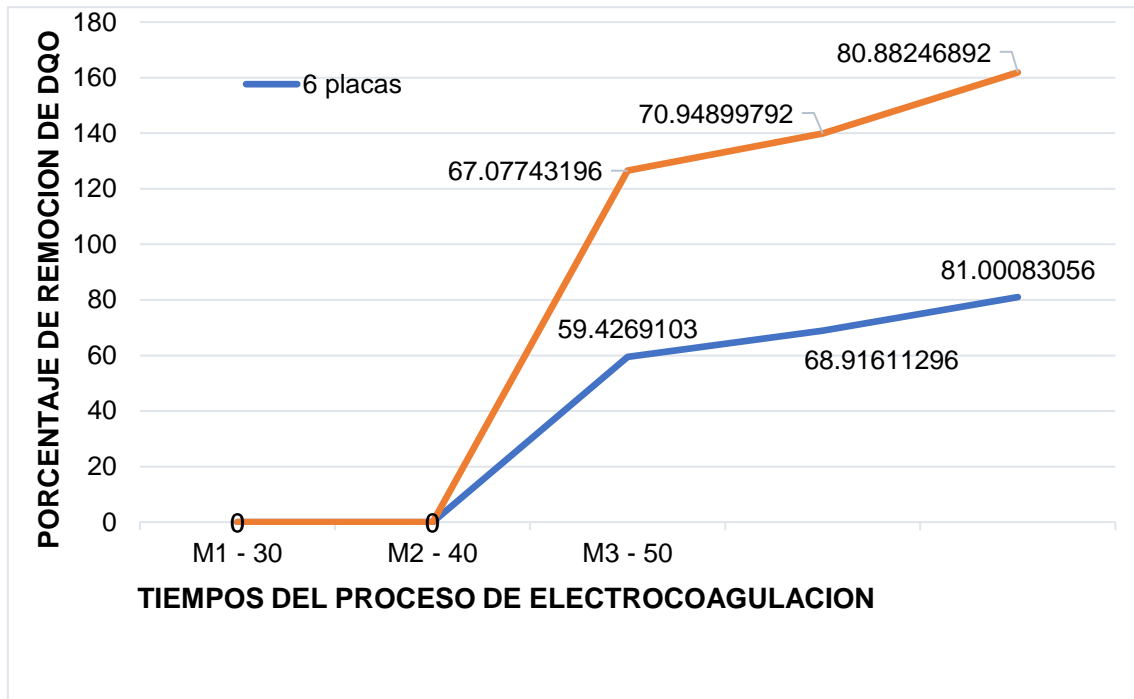
Tabla 11. Porcentaje de remoción de DQO y Turbidez con variaciones de placas

% DE REMOCION DE DQO Y TURBIDEZ			
PLACAS	TIEMPO	DQO ppm O <sub>2</sub> /L	TURBIDEZ UNT
6 placas	M1 - 30	59.43%	45.97%
	M2 - 40	68.92%	66.13%
	M3 - 50	81%	79.03%
8 placas	M1 - 30	67.08%	70.78%
	M2 - 40	70.95%	73.17%
	M3 - 50	80.88%	81.04%

Fuente: Elaboración propia

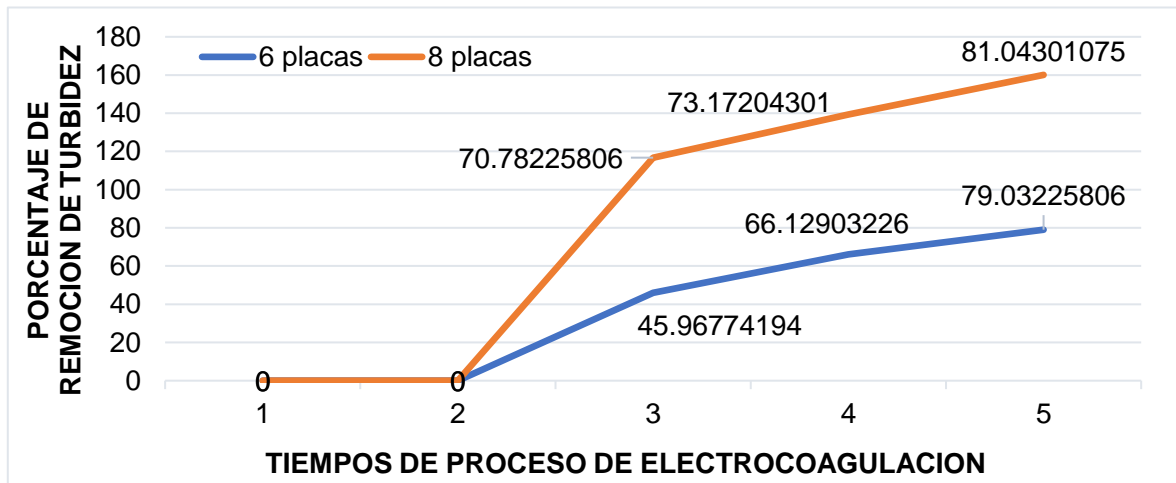
Se realizó el porcentaje de remoción en cuanto a DQO y Turbidez según muestra en la tabla 11, teniendo un menor valor de remoción de DQO de 59.43% y 67.08% aplicado a los 30 minutos con 6 y 8 placas con respecto al valor inicial tomado de 4816 mg/L, sin embargo, a los 50 minutos de tratamiento se obtuvo 81% y 80.88% de remoción aplicando a 6 y 8 placas. También se realizó el porcentaje de remoción a la Turbidez teniendo un menor valor de remoción de Turbidez de 45.97% y 70.78% aplicado a los 30 minutos con 6 y 8 placas con respecto al valor inicial tomado de 124 NTU, sin embargo, a los 50 minutos de tratamiento se obtuvo 79.03% y 81.04% de remoción aplicando a 6 y 8 placas.

Figura 1. Porcentaje de remoción de DQO de las aguas de curtido por electrocoagulación



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Porcentaje de remoción de Turbidez de las aguas de curtido por electrocoagulación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Prueba de normalidad

PRUEBAS DE NORMALIDAD							
TRATAMIENTOS	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
PORCENTAJE DE REMOCION DQO	T1(30 min-6 placas)	,176	3	.	1,000	3	,977
	T2(40 min-6 placas)	,177	3	.	1,000	3	,970
	T3(50 min-6 placas)	,175	3	.	1,000	3	1,000
	T4(30 min-8 placas)	,177	3	.	1,000	3	,972
	T5(40 min-8 placas)	,177	3	.	1,000	3	,968
	T6(50 min-8 placas)	,178	3	.	,999	3	,952
PORCENTAJE DE REMOCION TURBIDEZ	T1(30 min-6 placas)	,176	3	.	1,000	3	,983
	T2(40 min-6 placas)	,175	3	.	1,000	3	1,000
	T3(50 min-6 placas)	,178	3	.	,999	3	,956
	T4(30 min-8 placas)	,177	3	.	1,000	3	,968
	T5(40 min-8 placas)	,385	3	.	,750	3	,100
	T6(50 min-8 placas)	,385	3	.	,750	3	,600

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la tabla 12 se evalúa si los datos siguen una distribución normal mediante el estadístico de Shapiro-Wilk para pequeñas muestras; encontrándose que los datos en las variables de estudio se comportan de forma normal (p valor mayor 0.05).

Tabla 13. Prueba de homogeneidad de varianzas de error, test de Levene

	Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
PORCENTAJE DE REMOCION DQO	,351	5	12	,872
PORCENTAJE DE REMOCION TURBIDEZ	,996	5	12	,460

La tabla 13 muestra los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas, encontrándose (p valor mayor 0.05); por lo cual se sugiere que las varianzas entre los grupos que se comparan tanto para la variable DQO Y turbidez son similares.

*Tabla 14. Análisis de varianza ANOVA de un factor.*

		ANOVA				
		Suma de	gl	Media	F	Sig.
		cuadrados		cuadrática		
PORCENTAJE DE REMOCION DQO	Entre	1051,543	5	210,309	6702,468	,000
	Dentro de grupos	,377	12	,031		
	Total	1051,919	17			
PORCENTAJE DE REMOCION TURBIDEZ	Entre	2412,966	5	482,593	14085,740	,000
	Dentro de grupos	,411	12	,034		
	Total	2413,377	17			

En la tabla 14 de análisis de varianza, donde se avalúa la Hipótesis nula de igualdad de medias entre los tratamientos empleados para la reducción de la DQO y turbidez, a un nivel de confianza del 95%; encontrándose (p valor menor a 0.05%), por lo cual se rechaza dicha Hipótesis H0; concluyéndose que existen al menos 2 tratamientos que presentan medias diferentes. Por lo que, se procede a realizar pruebas post hoc a fin de comparar los niveles por pares y evaluar entre ellos la existencia de dicha diferencia significativa, con una significancia de 0.05. acepta a la H1.



*Tabla 15. Comparaciones múltiples de Duncan en la variable porcentaje de remoción de DQO.*

TRATAMIENTOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
T1(30 min-6 placas)	3	59,4267				
T4(30 min-8 placas)	3		67,0767			
T2(40 min-6 placas)	3			68,9167		
T5(40 min-8 placas)	3				70,9467	
T6(50 min-8 placas)	3					80,8833
T3(50 min-6 placas)	3					81,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	,436

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

En la tabla 15 se muestra los resultados de las comparaciones realizadas entre cada nivel de la variable independiente sobre su respuesta; mediante la prueba de Duncan, la cual se eligió por presentar una mayor capacidad de encontrar diferencias por trabajar con umbrales más pequeños permitiendo encontrar diferencias entre las medias comparadas con mejor facilidad. Los resultados sugieren que, de los 6 niveles de la variable independiente, es T1 el que presenta el menor porcentaje de remoción con 59,4267% en la DQO. A su vez, que los tratamientos T6 y T3 son los que presentan un mayor efecto en la remoción de DQO con valores de 80,88% y 81,00% respectivamente; sin embargo, dichos tratamientos no difieren significativamente, con una significancia de 0.05.

*Tabla 16. Comparaciones múltiples de Duncan en la variable porcentaje de remoción de turbidez.*

TRATAMIENTOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
T1(30 min-6 placas)	3	45,9667					
T2(40 min-6 placas)	3		66,1300				
T4(30 min-8 placas)	3			70,7833			
T5(40 min-8 placas)	3				73,1733		
T3(50 min-6 placas)	3					79,0333	
T6(50 min-8 placas)	3						81,0433
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

En la tabla 16 se muestra los resultados de las comparaciones realizadas entre cada nivel de la variable independiente sobre su respuesta; mediante la prueba de Duncan, la cual se eligió por presentar una mayor capacidad de encontrar diferencias por trabajar con umbrales más pequeños permitiendo encontrar diferencias entre las medias comparadas con mejor facilidad. Los resultados sugieren que, de los 6 niveles de la variable independiente, es T1 el que presenta el menor porcentaje de remoción de turbidez con 45,96%. A su vez, que el tratamiento T6 es el que presenta un mayor efecto en la remoción de turbidez con un valor de 81,04% con una significancia de 0.05.

## V. DISCUSIÓN:

Se evaluó los parámetros de DQO y turbidez, siendo las variables independientes en la investigación, además de ello se analizó pH y conductividad, ya que son factores que tienen influencia sobre el proceso de electrocoagulación según Álvaro (2012)

A partir de la caracterización de la muestra de las aguas residuales del proceso de curtido presente en la tabla 9, se establece las condiciones iniciales donde los parámetros evaluados sobrepasan los LMP de efluente para alcantarillado, DS N° 003-2002-PRODUCE, establece que es la medida de concentración que caracterizan al efluente, que al sobrepasar este, provoca daños tanto al medio ambiente y a la salud según, Barboza, Gloria (2011), en altas concentraciones de estos parámetros tiene consecuencias negativas, acarreado enfermedades y presentando disminución en la capacidad de autorrecuperación de agua causado por el alto contenido de carga orgánica e inorgánica. Así mismo los resultados iniciales obtenidos de DQO son de 5016 mg/L con un pH de 3.9 y una conductividad de 36.58 ms/cm, teniendo un análisis de DQO menor según la investigación de Cerón (2011) con un DQO de 18 408 mg/L, un pH ácido de 3.52 y una conductividad mayor de 127.9 ms/cm, sin embargo, presenta un DQO superior al de Pinilla (2014) con 2984 mg/L, además de un pH similar ácido de 4, esto debido a los diferentes tipos de procesos que se emplean en las curtiembres hace que la composición de las aguas residuales de estas varíe según Esparza (2001).

Los procesos de curtido producen diversos tipos de contaminación en el agua: la materia orgánica, cal, sal, colorantes y sólidos en suspensión (Alzate et al., 2004), debido a ello se diluyó la muestra con agua potable, una dilución 1 en 1 y se mantuvieron en reposo durante 2 horas para luego ser filtrado en papel Watman Nro. 2 siguiendo la metodología de Mayta (2017) además de ello se realizó un pretratamiento, ya que las industrias de cuero emplean alto niveles de cromo en la curtición para evitar la degradación de las pieles (Blackman, 2005), dificultando el tratamiento de las muestras mediante la electrocoagulación, por ello se precipito

el cromo con hidróxido utilizando un álcali; este precipitado se separa por sedimentación y se disuelve nuevamente con ácido sulfúrico para ser reusado para curtir las pieles. (Agudelo, 2007), se tomó como hidróxido el NaOH, ya que favorece la reacción con el ion Cr<sup>+3</sup> para formar el hidróxido de cromo (Gutiérrez, 2007).

Para la precipitación del cromo el pH se ajustó a 9 ya que según Pinilla (2014) explica que a un pH inicial menor de 9 se obtiene pH final menor a 7, lo que indica que, al obtenerse pH ácido, habrá déficit de hidróxido de sodio para precipitar todo el cromo, el tiempo de precipitación de las muestras fue de aproximadamente 24 horas, ya que a mayor tiempo se obtiene mejores niveles de remoción. Se separó la muestra del cromo sedimentado y se analizó los parámetros mencionados, con un DQO de 4816 mg/L, variando su pH de la inicial a 6.31 con un nivel de turbidez de 124 NTU y una conductividad de 71.24 ms/cm

En la tabla 10 se observa los resultados obtenidos de la electrocoagulación Lagunas (2014) explica que la electrocoagulación involucra tres etapas sucesivas: Formación de los coagulantes por oxidación electrolítica del electrodo de sacrificio, desestabilización de los contaminantes, partículas suspendidas y rotura de la emulsión, asimismo de la adherencia de las fases desestabilizadas para crear flocs. Para ello se aplicó diversos tiempo y número de placas en función del DQO y turbidez del agua de curtido, aplicando tiempo de 30, 40, 50 minutos de electrocoagulación, ya que según Mayta (2017) obtuvo mejores niveles de remoción de DQO entre los tiempos de (15 – 45 min) con un tiempo de residencia de 60 minutos, se aplicó electrodos de aluminio y fierro (figura N° 11) como ánodo y cátodo, fueron conectadas a una Fuente de poder a 20 Voltios y 10 Amperios, dichas muestras fueron realizadas por triplicado. Se analizó el DQO, presentando mejores niveles de remoción a los 50 minutos, aplicando 6 y 8 placas con un nivel de 81% y 80.88% en porcentajes de remoción (tabla 17), siendo 915 mg/L y 920 mg/L en DQO respectivamente (Figura 1), disminuyendo considerablemente el nivel de DQO presente en la tabla 10. Además de ello hubo un nivel de remoción de turbidez de 79% aplicando 6 placas y un nivel de remoción de 81% aplicando 8 placas, alcabo de 50 minutos de tratamiento (Figura 2)

Se analizó los parámetros extras como conductividad, manteniendo su nivel de 71.24 ms/cm (tabla 15) hasta 77.2 ms/cm (tabla 10). También se analizó el pH, siendo el inicial después del pretratamiento de 6.31, subiendo luego de haber aplicado la electrocoagulación hasta 7.71, estabilizando su pH.

Los resultados obtenidos, en cuanto a porcentajes de remoción de contaminantes y efectividad del tratamiento, han sido muy alentadores; ya que Según Álvaro (2012) la electrocoagulación logra remover los contaminantes en el agua hasta en un 99%.

En las pruebas estadísticas de los resultados obtenidos de DQO y turbiedad, verifican que los datos cumplan el supuesto de normalidad para DQO y turbidez (tabla 13) aplicando estadístico de Shapiro-Wilk para pequeñas muestras; encontrándose que los datos en las variables de estudio se comportan de forma normal, ya que presentan un valor de p mayor de 0.05. Además de ello se aplicó la prueba de homogeneidad de varianza (tabla 14), presentando una similitud en cuanto a la aplicación de 6 y 8 placas en la remoción de DQO y Turbidez (tabla 12)

Se aplicó pruebas estadísticas de comparaciones múltiples de Duncan con respecto al porcentaje de remoción de DQO (tabla 15). Los resultados sugieren que, de los 6 niveles de la variable independiente, es T1 el que presenta el menor porcentaje de remoción con 59,4267% en la DQO. A su vez, que los tratamientos T6 y T3 son los que presentan un mayor efecto en la remoción de DQO con valores de 80,88% y 81,00% respectivamente; sin embargo, dichos tratamientos no difieren significativamente, esto aplicado con una significancia de 0.05.

También de aplico la estadística de Duncan con respecto al porcentaje de remoción de Turbidez (tabla 16). Los resultados sugieren que, de los 6 niveles de la variable independiente, es T1 el que presenta el menor porcentaje de remoción de turbidez con 45,96%. A su vez, que el tratamiento T6 es el que presenta un mayor efecto en la remoción de turbidez con un valor de 81,04% con una significancia de 0.05.

## VI. CONCLUSIONES:

1. El tratamiento de electrocoagulación aporta una reducción significativa en la remoción de DQO y turbidez, siendo el tiempo y número de placas factores influyentes en el tratamiento del agua de curtido.
2. El tiempo que permitió una mejor remoción en el tratamiento se determinó mediante las pruebas de Duncan donde nos dice que a los 50 minutos de electrocoagulación se obtuvo mejores niveles de remoción, tanto para T3 y T6 (6 y 8 placas).
3. En cuanto a la remoción de DQO existe una similitud según lo evaluado en la prueba de Duncan al cabo de 50 minutos de 81,00% y 80,88%, aplicando 6 y 8 placas respectivamente (T3 y T6), con una confiabilidad del 95%, rechazando así la Hipótesis de que existe un efecto del tiempo y número de placas en la remoción de DQO.
4. Teniendo un nivel de turbiedad de 124 NTU, se logró una remoción del 81.04 % de turbidez aplicando 8 placas, mientras que, al aplicar 6 placas, se removió el 79.03% de turbidez de las aguas residuales de curtido.
5. Las condiciones iniciales que presento la muestra de curtido, sobrepaso los parámetros establecidos por el D.S 003-2002 PRODUCE, teniendo un DQO por encima de la normativa, sin embargo, al cabo de aplicar el tratamiento de electrocoagulación, se obtuvo una mejor disminución en DQO, cumpliendo así con la normativa, mientras que turbiedad no está establecido en el Decreto supremo.

## **VII. RECOMENDACIONES:**

1. Se sugiere emplear una intensidad de corriente mayor al aplicado para lograr obtener mejores niveles de remoción en menores tiempos.
2. Se recomienda no emplear niveles de pH mayores a 10, ya que el cromo forma iones complejos muy solubles en agua, impidiendo su precipitación como hidróxido.

## REFERENCIAS

1. AGUILAR EDWAR. Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. [en línea]. Lima, 2015. [Fecha de consulta: 15 de octubre del 2019]. Disponible en: [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4303/Aguilar\\_ae.pdf;jsessionid=7009356BD421E0F17185062721C8AC4C?sequence=3](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4303/Aguilar_ae.pdf;jsessionid=7009356BD421E0F17185062721C8AC4C?sequence=3)
2. ALVARADO, María, GONZALES, Cindy. Estudio de tratabilidad de Aguas Residuales de bebidas gaseosas y diseño del sistema de tratamiento. Tesis. Guayaquil. 2016. Universidad de Guayaquil. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17899>
3. ANDIA, Yolanda. Tratamiento de Agua, Coagulación y Floculación. SEDAPAL. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
4. AOUDJ, S. Removal of fluoride, SDS, ammonia and turbidity from semiconductor wastewater by combined electrocoagulation–electroflotation. Elsevier. [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 20 de abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517305684>
5. ARANGO, Alvaro. Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. [en línea]. Marzo – Mayo 2012 [ Fecha de consulta: 26 de noviembre del 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n1/v7n1a06.pdf>
6. BHARATH, [et al]. “A Review of Electrocoagulation Process for Wastewater Treatment. Researchgate. [en línea]. 2018 [Fecha de consulta: 18 de abril del 2019]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/324889375\\_A\\_Review\\_of\\_Electrocoagulation\\_Process\\_for\\_Wastewater\\_Treatment](https://www.researchgate.net/publication/324889375_A_Review_of_Electrocoagulation_Process_for_Wastewater_Treatment)
7. CALDERON, Hugo. Electrocoagulación como proceso de descontaminación de aguas residuales y herramienta de educación químico ambiental. [en línea]. Pepeira, Colombia 2018. [Fecha de consulta: 15 de octubre del 2019]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/9368/T628.162%20G633.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



8. CEPIS. Tratamiento de agua para consumo humano [en línea], 1ra ed. Lima, Peru, 2004. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2019]. Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/ma1\\_tomo1\\_indice.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/ma1_tomo1_indice.pdf)
9. CHUNJIANG, An. [et al]. Emerging usage of electrocoagulation technology for oil removal from wastewater: A review. Elsevier. [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 20 de abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716325013>
10. CORDOVA, [et al]. Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza a complejantes de cromo. [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: 18 de abril del 2019]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2014000300005](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000300005)
11. DE LA LUZ, Pedro. [et al]. Pollutant Removal from Wastewater at Different Stages of the Tanning Process by Electrocoagulation. Elsevier. [en línea]. 2019 [Fecha de consulta: 20 de abril del 2019]. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2019/8162931>
12. DEVLIN, [et al]. Electrocoagulation of wastewater using aluminum, iron, and magnesium electrodes. [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 18 de abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389418309178#>
13. DIEDO, Almizar y Mas, Jorge. Influencia de la densidad de corriente y pH, para evaluar la remoción del Cr+3 y DQO en el efluente de etapa de curtido, mediante electrocoagulación fotorvoltaica. Tesis. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo, 2019. Disponible en: [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12409/DiegoPerez\\_A%20-%20MasMartinez\\_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12409/DiegoPerez_A%20-%20MasMartinez_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
14. DIEDO, Almizar y Mas, Jorge. Influencia de la densidad de corriente y pH, para evaluar la remoción del Cr+3 y DQO en el efluente de etapa de curtido, mediante electrocoagulación fotorvoltaica. Tesis. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo, 2019. Disponible en: [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12409/DiegoPerez\\_A%20-%20MasMartinez\\_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12409/DiegoPerez_A%20-%20MasMartinez_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

15. ESPARZA ELINA, G. Contaminación debida a la industria curtiembre. [en línea]. Lima: Pontifica Universidad Católica del Perú, 2001. no 1761, pp 42-50 [Fecha de consulta: 18 de abril del 2019]. Disponible en: [revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/download](http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/download)
16. FERNANDEZ, Carlos. Metodología de la investigación [en línea]. 6 edición . Mexico DF. Mcgraw-hill / interamericana editores, s.a. de c.v. [ Fecha de consulta: 26 de noviembre del 2019]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
17. GARCIA, Carlos, RODRIGUEZ, Lidia. Influencia del caudal y densidad de corriente eléctrica en el ph, remoción de color y DQO de líquidos de recurtido usando electrocoagulación continua. Tesis. Trujillo, Perú. 2017. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9880>
18. GILPAVAS, Edison. [at el]. Coagulation-flocculation sequential with Fenton or Photo-Fenton processes as an alternative for the industrial textile wastewater treatment. [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2019]. Disponible en: [https://scholar.google.es/citations?user=RmuXSXEAAAAJ&hl=es#d=gs\\_md\\_citad&u=%2Fcitations%3Fview\\_op%3Dview\\_citation%26hl%3Des%26user%3DRmuXSXEAAAAJ%26citation\\_for\\_view%3DRmuXSXEAAAAJ%3A4DMP91E08xMC%26tzom%3D300](https://scholar.google.es/citations?user=RmuXSXEAAAAJ&hl=es#d=gs_md_citad&u=%2Fcitations%3Fview_op%3Dview_citation%26hl%3Des%26user%3DRmuXSXEAAAAJ%26citation_for_view%3DRmuXSXEAAAAJ%3A4DMP91E08xMC%26tzom%3D300)
19. GÓMEZ, Hugo. La electrocoagulación como proceso de descontaminación de aguas residuales y herramienta de educación químico ambiental. Tesis. Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. 2018. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/9368/T628.162%20G633.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
20. GUERRERO. Influencia del tiempo y voltaje en la disminución de la carga orgánica por electrocoagulación del agua residual de la curtiembre CUENCA S.A.C. Perú. Universidad César Vallejo. 2017. Disponible en: [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/26426/querrero\\_ca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/26426/querrero_ca.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
21. HANNA Instruments. Guía para el análisis de la demanda química de oxígeno (DQO). [en línea]. Bogotá 2019. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2019].

- Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/blog/post/115/guia-para-el-analisis-la-demanda-quimica-oxigeno-dqo>
22. HUDA, N. [et al]. Electrocoagulation treatment of raw landfill leachate using iron-based electrodes: Effects of process parameters and optimization. Elsevier. [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 20 de abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717308137>
23. LAGUNA y MANRIQUE. Tratamiento de las aguas residuales del proceso de teñido de cuero en bombo por electrocoagulación- sector de San Benito. [en línea]. Universidad Santo Tomás facultad de Ingeniería Ambiental división de Ingenierías Bogotá D.C. 2014. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2019]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/816f/c6ea3431eef8956ddbba0044a29521cecb1f.pdf>
24. LENNTECH, “Tratamiento de purificación de agua”. [en línea]. 2017. [Fecha de Consulta: 26 de noviembre del 2019]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantescloro.htm>
25. LENNTECH\_ Tratamiento de purificación de agua. [en línea]. 2017. [Fecha de Consulta: 26 de noviembre del 2019]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantescloro.htm>
26. LOPEZ, Mario. Tratamiento de un efluente proveniente del laboratorio del cuero de CIATEC, A.C. mediante un proceso de electrocoagulación. Tesis. 2016. Guanajuato. Universidad de Guanajuato. Disponible en: <http://www.repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/107/1/339855.pdf>
27. MAYTA, Roddy, MAYTA, Jhony. Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 19 de abril del 2019]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2017000300008](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300008)
28. MINISTERIO DE VIVIENDA Y SANEAMIENTO (PERÚ). D.S. N° 021-2009. Valores máximos admisibles de las descargas de aguas no domésticas. Lima: El Peruano, 10 de enero 2015.

29. MINISTERIO DE VIVIENDA Y SANEAMIENTO (PERÚ). R.M. N° 273-2013. Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales. Lima: El Peruano, 2013.
30. MOLLAH, Mohammad [et al]. Fundamentals present and future perspectives of electrocoagulation. En Journal of Hazardous Materials. [en línea] Vol. 114, No. 1-3 (oct. 2004); p. 199-210. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2019]. Disponible:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389404004170>
31. NIZAM, [et al]. Proceso de electrocoagulación mediante el uso de aluminio y acero inoxidable Electroodos para tratar de cromo total, color y turbidez. [en línea]. 2016. [Fecha de consulta: 19 de abril del 2019]. Disponible en:  
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876619616001169?token=0FDD367D10F457D79CAE53DFB8AA7E72A634DFC9F9502AFC179B5C8EA333647E6CC35A6EFFE37D1995567AFD4AF1509A>
32. NUÑEZ, [et al]. Application of electrocoagulation for the efficient pollutants removal to reuse the treated wastewater in the dyeing process of the textile industry. [en línea]. 2019 [Fecha de consulta: 18 de abril del 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389419302857>
33. OEFA. Aguas Residuales. [en línea] 1era edición. Trujillo. 2014 [Fecha de consulta: 18 de abril del 2019]. Disponible en:  
[https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
34. OSORIO, [et al]. Determinación de los parámetros electroquímicos óptimos para la remoción de cromo (III) y DQO en aguas de curtido a través del proceso de electrocoagulación en un reactor de recirculación. [en línea]. Perú. 2019. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2019]. Disponible en:  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9254/QUoscagv%26juca.ca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
35. PINILLA, Daniel. Precipitación de cromo y reutilización del agua de vertimientos de curtiembres de San Benito. Tesis. Bogotá. Universidad Santo Tomás. 2014. Disponible en:  
<https://pdfs.semanticscholar.org/3d06/812c41643ce227575bc49e1f51362f49f8dc.pdf>

36. PORTADA, Alberto. Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido en pieles por procesos físico-químico de la curtiembre de la facultad de ingeniería química de la UNA-PUNO. Tesis. Perú. Universidad Nacional del Altiplano. 2016. Disponible en: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4061/Portada\\_Mamani\\_Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4061/Portada_Mamani_Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
37. RESTREPO, [at el]. La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. [en línea]. Agosto del 2006. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2019]. Disponible en: [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/514/1/pl\\_v1n2\\_58-77\\_electrocoagulacion.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/514/1/pl_v1n2_58-77_electrocoagulacion.pdf)
38. REVISTA de la Sociedad Química del Perú [en línea]. Lima. 2017. [Fecha de consulta: 15 de octubre del 2019]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lang=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lang=es)
39. REVISTA DE QUIMICA [en línea]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2001. [Fecha de consulta: 18 de abril del 2019]. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/4756/4757>
40. REVISTA. Métodos y metrólogos asociados (La Guía Metas). [en línea]. Enero 2010. [Fecha de consulta: 26 de noviembre del 2019]. Disponible en: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-10-01-Turbidez.pdf>
41. ROMERO, Rommel. Diseño de una planta de recuperación del sulfato de cromo (III) proveniente de las aguas del proceso de curtido de cromo, mediante electrocoagulación y reacción química. Tesis. Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. 2015. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11844/1/CD-6551.pdf>
42. SANCHEZ, Lourdez, RUIZ, Joel. Aplicación de aireación en la electrocoagulación para la remoción de Cr (VI) Y DQO en aguas residuales de curtiembre. Tesis. Lima, Peru. Universidad Cesar Vallejo. 2019. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/51182/Ruiz\\_RJ-Sanchez\\_TLM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/51182/Ruiz_RJ-Sanchez_TLM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
43. SERRANO. Influencia de la densidad de corriente y la distancia entre electrodos en la remoción del color y DQO, de efluentes de recurtido usando

electrocoagulación – ozonificación. [en línea] 2017. [Fecha de consulta: 18 de abril del 2019]. Disponible en: [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9884/SerranoSantaMaria\\_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9884/SerranoSantaMaria_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

44. ZAKARIA, Al-Qodah, MOHAMMAD, Al-Shannag. Heavy metal ions removal from wastewater using electrocoagulation processes: A comprehensive review. Separation Science and Technology. [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 20 de abril del 2019]. Disponible en: <https://scihub.se/https://doi.org/10.1080/01496395.2017.1373677>

## ANEXOS

### Anexo 1.

#### Operaciones del proceso de curtiembre

---

PROCESO DE CURTIDO			
PROCESO	CURTICIÓN AL CROMO	CURTIDO VEGETAL Y SINTÉTICO	CURTICIÓN CON ACEITES Y ALTERNATIVOS
PH	3 - 4	3 – 5	10
COMPOSICION DEL EFLUENTE	Superior salinidad, abundancia de sales de cromo, fibras en suspensión, grasas emulsionadas.	Tanino pirocatequimicos y pirogálicos, fenoles y polifenoles, sales neutras y fibre de cuero.	Aceites oxidados, sales de aluminio, de circonio, de titaneo, formaldehido, aceite de bacalao (para gamusa) y glutaraldehidos.
CONSECUENCIAS	Alto contenido de cromo III y otros metales.	Disposición de lodo.	

---

*Fuente: Revista de Química*

## Anexo 2.

### Acabados

---

<b>ACABADOS</b>		
<b>PROCESO</b>	<b>NEUTRALIZADO</b>	<b>RE CURTICIÓN TINTURACION Y ENGRASE</b>
<b>PH</b>	5-6	4-5
<b>COMPOSICION DEL EFLUENTE</b>	Sales neutras y de cromo	Grasas emulsificadas, colorantes, sales neutras y recurtientes (de todo tipo).
<b>CONSECUENCIAS</b>		Descrate de solventes, generación de material particulado atmosférico, sustancias toxicas orgánicas.

---

*Fuente: Revista de Química*



### Anexo 3.

#### Características de los efluentes de la curtiembre

Parámetro	Tipo de curtido	
	Curtido vegetal (mg/L)	Curtido al cromo (mg/L)
DBO <sub>5</sub>	1 000	900
DQO	3 000	2 500
Sulfuro	160	160
Sulfato	2 000	2 000
Cloruro	2 500	2 500
Nitrógeno total	120	120
Aceite y grasa extractables en éter	200	200
Fosforo	1	1
Cromo (Cr <sup>3</sup> )	-	70
Sólidos totales	10 000	10 000
Sólidos suspendidos	1 500	2 500
Ceniza total	6 000	6 000
Ceniza en sólidos suspendidos	500	1 000
Sólidos sedimentables (2h)	50	100
pH	9	9

Fuente: Revista de Química

### Anexo 4.

#### Características del efluente por etapa

Proceso	DQO	N	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Aceites y grasa	Sólidos sedime ntables	S <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>
Hasta el pelambre	8 400	356	32.4	2 500	7 640	0	0
Pelambre	42 500	3 650	16.4	14 740	25 500	2 200	0
Hasta el curtido	18 400	296	1.2	1 586	7 780	0	0
Curtido	8 400	300	1.3	132	6 100	0	6 400

Fuente: Revista de Química

## Anexo 5.

Carga de los efluentes de pelambre y curtido (kg/día)

Proceso	DQO	N	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Aceites y grasa	Sólidos sedime ntables	S <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>
<b>Pelambre</b>	18 500	1 600	7	6 400	11 000	950	0
<b>Curtido</b>	1 550	55	2	24	1 120	0	1 180

*Fuente: Revista de Química*

## Anexo 6.

Decreto Supremo N.°003-2002-PRODUCE

Límites máximos permisibles para los efluentes de la PTAR

**VALORES REFERENCIALES DE EFLUENTES PARA ALCANTARILLADO  
Y AGUAS SUPERFICIALES DE LAS ACTIVIDADES EN CURSO  
DE LOS SUBSECTORES CURTIEMBRE Y PAPEL**

PARÁMETROS	CURTIEMBRE (Alcantarillado)	PAPEL	
		Aguas Superficiales	Alcantarillado
Grado de Acidez o Alcalinidad (pH)	6.5 – 9.5		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ), mg/l	1000	250	1000
Demanda Química de Oxígeno (DQO), mg/l	2500	1000	3000
Sólidos Suspendidos Totales (SST), mg/l	1000		
Sulfuros, mg/l	10		
Cromo +6, mg/l	0,5		
Cromo Total, mg/l	5		
Nitrógeno Amoniacal (N - NH <sub>4</sub> ), mg/l	50		

*Fuente: Minam*

Anexo 7. Operacionalización de variables

Tabla 17. Tabla de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de Medición
INDEPENDIENTE	<p>NUMERO DE PLACAS</p> <p>Pieza plana o delgada, generalmente de metal, aluminio o fierro.</p> <p><b>Placa de Aluminio:</b> De altas prestaciones, económico, ligero, y resistente a la oxidación.</p> <p><b>Placa de Fierro:</b> Este elemento se encuentra dentro de la corteza terrestre y es uno también de los más abundantes, es un metal que sirve como un buen agente reductor. (LENNTECH, 2017)</p>	<p>Se utilizó 6 y 8 placas en dos repeticiones respectivamente para determinar si la cantidad de éstas influye de manera óptima en la remoción de Turbidez y DQO.</p>	<p>Número de placas</p>	6	<p>Nominal</p>
				8	

**DEPENDIENTE**

<b>TIEMPO</b>	<p>Es una magnitud física con la que se puede medir la cronológicamente un determinado proceso. (WESTRES, 2013, pág. 75).</p>	<p>Se midió el tiempo en ambas repeticiones para determinar si esta variable influye de manera óptima en la remoción de Turbidez y DQO.</p>	<p>En minutos</p>	<p>20 min. 30 min. 40 min.</p>	<p>Nominal.</p>
<b>DQO</b>	<p>El objetivo principal que tiene DQO es medir el grado de contaminación que genera la materia orgánica y esta expresada en mg O<sub>2</sub>/L. (BARBOZA, 2011, pág.29).</p>	<p>Se midió el DQO de las muestras de aguas tomadas de la curtiembre antes y después del proceso de electrocoagulación.</p>	<p>Miligramo de oxígeno por litro</p>	<p>(mgO<sub>2</sub>/l)</p>	<p>Razón</p>
<b>TURBIDEZ</b>	<p>Es el grado de falta de transparencia en un líquido por su gran medida de las partículas que están suspendidas en dicho líquido. (MENDEZ,2011)</p>	<p>Se midió la Turbidez de las muestras de aguas tomadas de la curtiembre antes y después del proceso de electrocoagulación</p>	<p>Unidades Nefelométricas de Turbidez</p>	<p>NTU</p>	<p>Intervalo</p>

*Fuente: Elaboración propia*

## Anexo 8. Recursos y Presupuesto

*Tabla 18. Tabla de presupuesto*

CÓDIGO DEL CLASIFICADOR MEF	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (S/)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (S/)
2.1.21.21	Transporte (varios)	5	20	100
2.3.15.12	Impresiones/anillado	5	4	20
2.3.15.12	Lapiceros	1	2	2
2.3.15.12	Papel Bon A-4, 80 g/m2 (1/2 millar)	15	1	15
2.3.15.12	Laptop	1500	2	3000
2.3.15.12	Rotulador	3.5	1	3.5
2.3.15.12	Libreta de campo	2	1	2
2.3.18.21	Guardapolvo	40	2	80
2.3.18.21	Guantes de Látex	1	8	8
2.3.18.21	Vasos de precipitación 200 ml	35	12	420
2.3.18.21	Vasos de precipitación 50 ml	35	2	70
2.3.18.21	pipeta graduada (0.5 ml, 2 ml, 10 ml)	25	2	50
2.3.18.21	Agua destilada (2 litros)	5	2	10
2.3.18.21	Matraces aforados (25 ml)	30	6	180
2.3.18.21	Tubos de ensayo de vidrio con tapón	15	8	120
2.3.18.21	Varilla de vidrio	3	1	3
2.3.18.21	Envases de plástico para muestra (1 litro)	5	12	60
2.3.18.21	Gradilla para tubo de ensayo	50	1	50
2.3.18.21	Placas de Aluminio (10x10 cm)	2.5	63	157.5
2.3.18.21	Placas de Fierro (10x10 cm)	2.5	63	157.5
2.3.18.21	Cocodrilos	1.5	16	24
2.3.18.21	Cable rojo y negro (metro)	1.5	10	15
2.3.199.12	Dicromato de potasio (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) (1 litro)	50	1	50
2.3.199.12	Patrón de Ftalato ácido de potasio, 850 mg/L	45	1	45
2.3.199.12	Sulfato de mercurio (HgSO <sub>4</sub> )	50	1	50
2.3.18.21	Fuente de poder (con voltaje)	180	1	180
2.3.27.299	Análisis de caracterización de agua	180	6	1080
2.3.27.299	Determinación de cromo	150	8	1200
SUB-TOTAL				7152.5

*Fuente: Elaboración propia*

**Anexo 9. Actividades desarrolladas**

*Tabla 19. Cronograma de actividades*

ACTIVIDADES	MESES											
	SEPTIEMBRE					OCTUBRE				NOVIEMBRE		
	1º SEMANA	2º SEMANA	3º SEMANA	4º SEMANA	5º SEMANA	6º SEMANA	7º SEMANA	8º SEMANA	9º SEMANA	10º SEMANA	11º SEMANA	12º SEMANA
Compra de materiales	X											
Armado del equipo		X	X									
Recolección de muestras			X	X	X							
Análisis de muestra previa					X							
Pre tratamiento					X							
Electrocoagulación						X						
Análisis de cromo							X	X				
Caracterización de aguas								X				
Análisis de Turbidez y DQO								X	X	X		
Resultados											X	
Presentación final												X

*Fuente: Elaboración propia*

**Anexo 10.** Ficha de Observación

*Tabla 20. Ficha de Instrumento de recolección de datos*

---

**FICHA DE OBSERVACION**

---

**Título de la investigación:**

---

**Investigadores:**

---

**Instrucciones:**

---

**Procedencia:**

---

**Fecha de muestra recolectada:**

---

**Parámetros a evaluar:**

---

**Procedimiento:**

---

Electrocoagulación

**PLACAS**

**TIEMPO**

30'

40'

50'

**6**

---

---

**8**

---

---

---

*Fuente: Elaboración propia*

**ANEXO N.º 07: Media de porcentaje de Remoción de DQO y Turbidez**

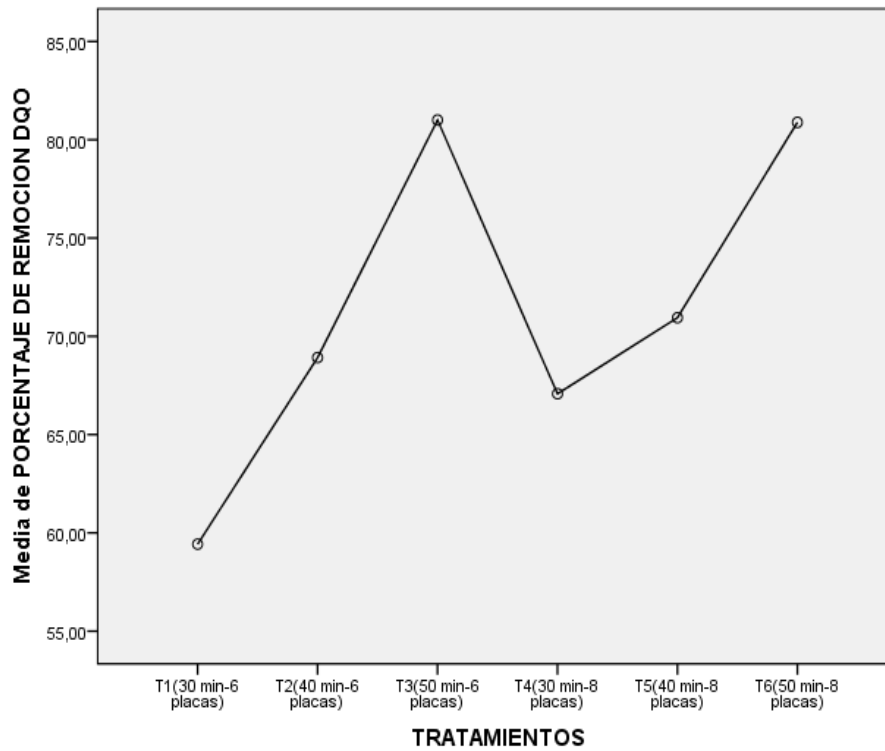


Figura 3. Gráfico de medias de la variable de respuesta porcentaje de remoción de DQO vs Tratamientos.

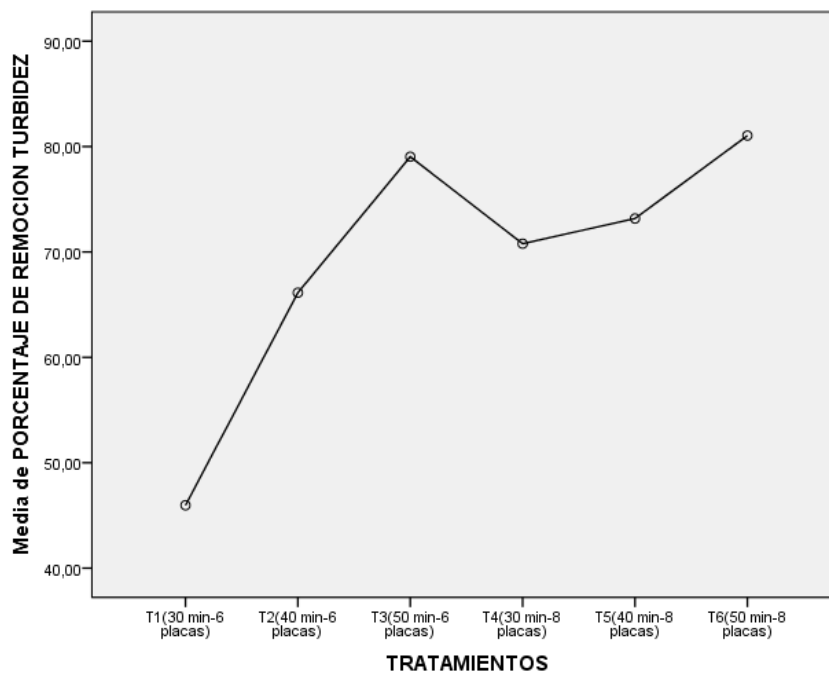


Figura 4. Gráfico de medias de la variable de respuesta porcentaje de remoción de Turbidez vs Tratamientos.



**Anexo 11.** Tabla de resultados por triplicado

*Tabla 21. Tratamiento de electrocoagulación por triplicado*

REPETICIONES	PLACAS	TIEMPO	PARAMETROS			
			DQO ppm O2/L	TURBIDEZ UNT	pH	Conductividad ms/cm
1 R	6 placas	M1 - 30	1954	67	7.72	72.15
		M2 - 40	1497	42	7.15	75.53
		M3 - 50	915	26	6.38	77.2
	8 placas	M1 - 30	1585.65263	36.23	6.98	72.32
		M2 - 40	1399.08878	33.4	6.89	69.1
		M3 - 50	920.70089	23.6	6.79	71.03
2 R	6 placas	M1 - 30	1965.724	67.402	7.766	72.5829
		M2 - 40	1505.982	42.252	7.193	75.98318
		M3 - 50	920.5	26.16	6.418	77.66
	8 placas	M1 - 30	1595	36.01	7.022	72.75
		M2 - 40	1407.5	33.2	6.931	69.515
		M3 - 50	926.2	23.46	6.831	71.46
3 R	6 placas	M1 - 30	1942.276	66.598	7.67	71.7171
		M2 - 40	1488.018	41.748	7.107	75.0768
		M3 - 50	909.5	25.84	6.342	76.74
	8 placas	M1 - 30	1576	36.45	7.06	71.89
		M2 - 40	1390.7	33.2	6.93	68.685
		M3 - 50	915.2	23.46	6.83	70.6

*FUENTE: Elaboración propia*

## Anexo 12. Procedimiento



*Figura 5.* Recolección de la muestra de curtido de la curtiembre ecológica del norte.



*Figura 6.* Tamizado de la muestra para su previa aireación



*Figura 7.* Aireación de la muestra para su previo tratamiento.



*Figura 8.* Agitación de la muestra, antes de aplicarle el NaOH para el pre tratamiento.



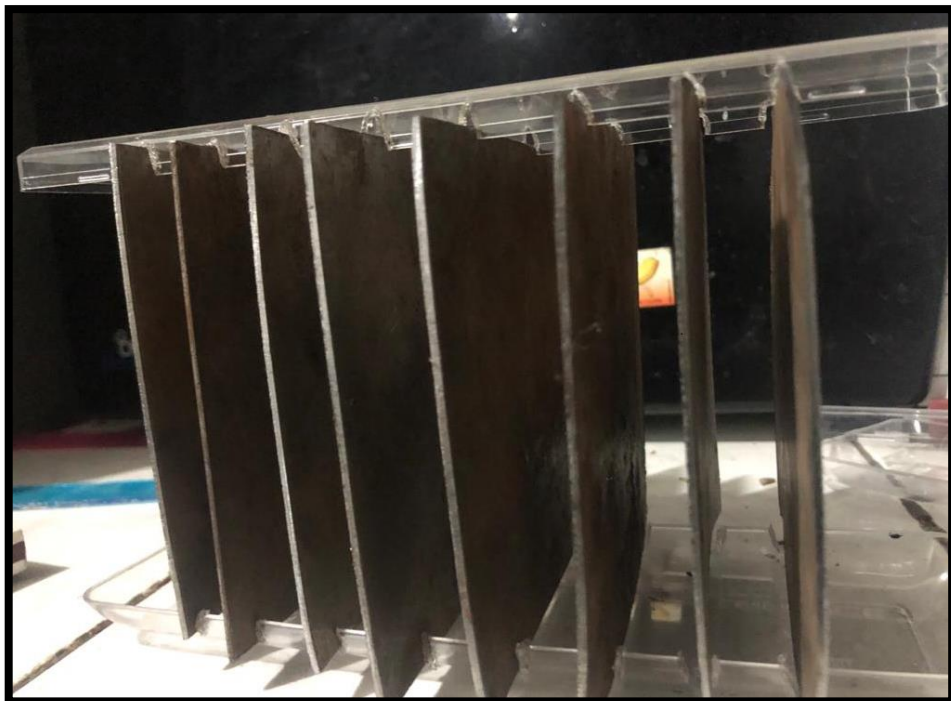
*Figura 9.* Aplicación del NaOH, para aumentar el pH y sedimente el Cr.



*Figura 10.* Medición de pH, obteniendo un Ph mayor a 9.



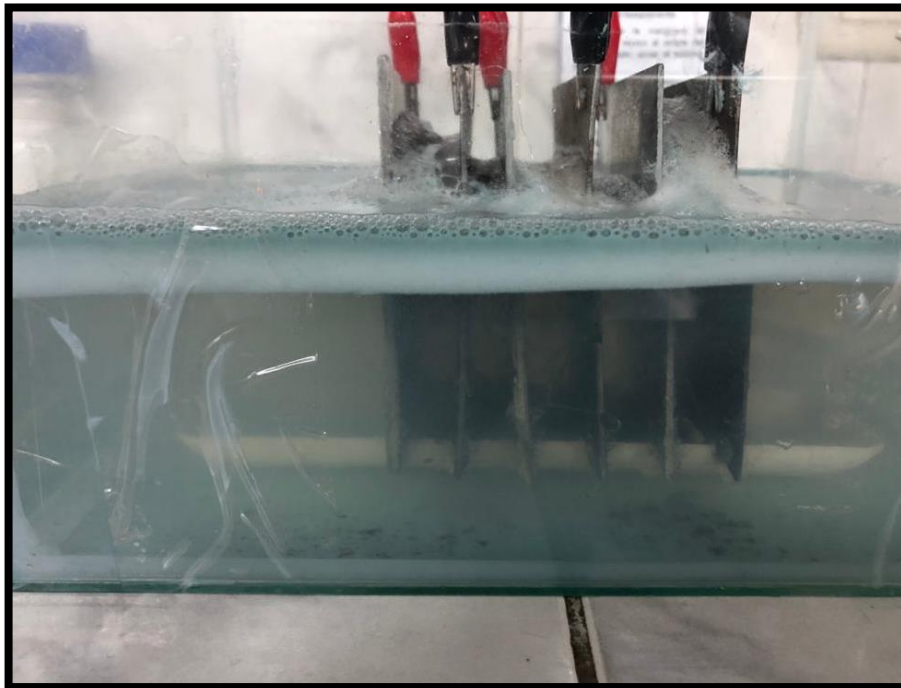
*Figura 11. Placas de electrocoagulación (electrodos de aluminio y fierro)*



*Figura 12. Armado de nuestra celda de electrocoagulación.*



*Figura 13. Equipo de electrocoagulación ya terminado.*



*Figura 14. Vertimiento de la muestra para dar inicio al proceso de electrocoagulación.*



Figura 15. Proceso de electrocoagulación con 06 placas

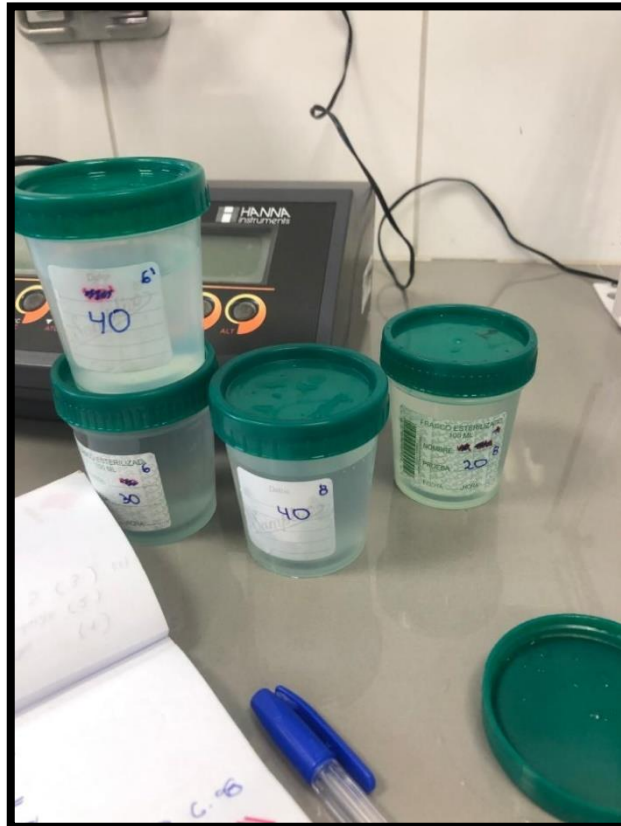


Figura 16. Proceso de electrocoagulación con 8 placas

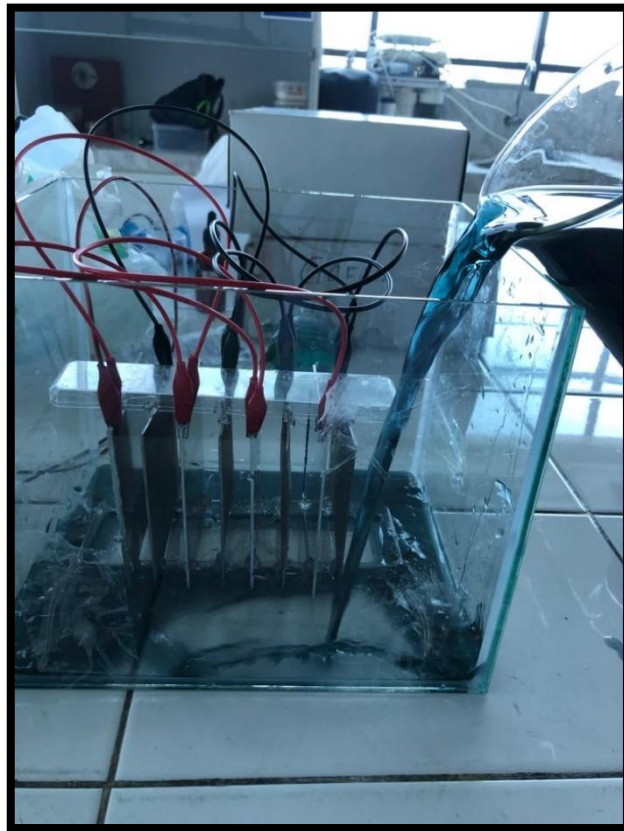


Figura 17. Recolección de muestra para evaluar parámetros de DQO.



Figura 18. Recolección de muestra para evaluar parámetros de Turbidez.



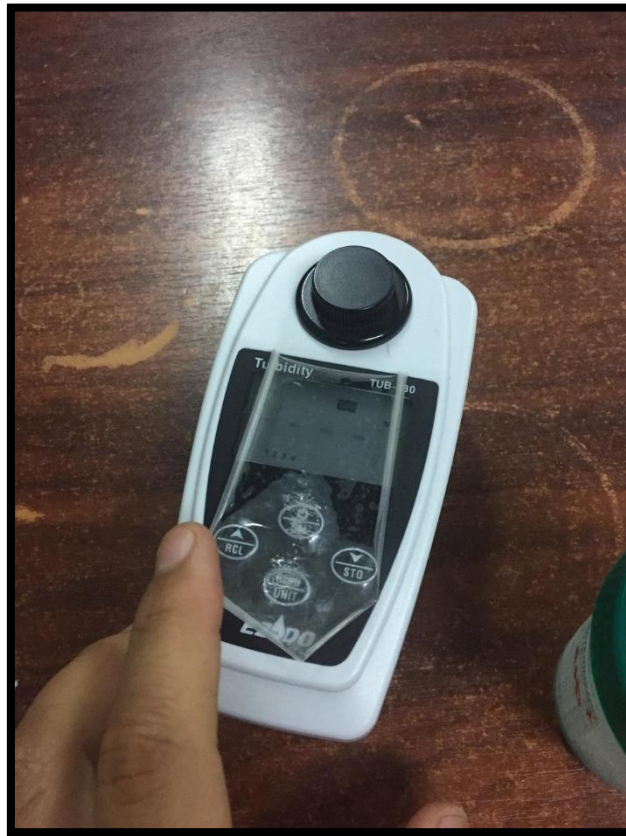


Figura 19. Medición de DQO

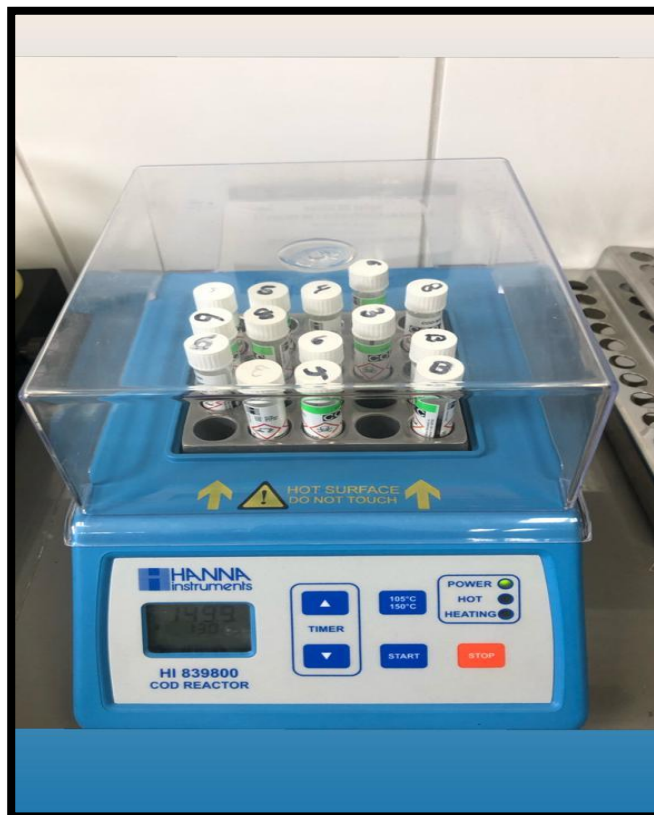


Figura 20. Medición de Turbidez