



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL**

**“INFLUENCIA DEL TIEMPO Y VOLTAJE EN LA DISMINUCIÓN DE LA  
CARGA ORGÁNICA POR ELECTROCOAGULACIÓN DEL AGUA  
RESIDUAL DE LA CURTIEMBRE CUENCA S.A.C. “**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**AUTOR:**

ANTONIO DE DIOS GUERRERO CARBAJAL

**ASESOR:**

Ms. MISAEL YDILBRANDO VILLACORTA GONZALES.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

TRUJILLO - PERÚ

2017

**PÁGINA DEL JURADO**

**TITULO:**

**“INFLUENCIA DEL TIEMPO Y VOLTAJE EN LA DISMINUCIÓN DE LA CARGA  
ORGÁNICA POR ELECTROCOAGULACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA  
CURTIEMBRE CUENCA S.A.C. “**

**TESIS PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**APROBADO POR:**

---

**Dr. CRUZ MONZON, JOSE ALFREDO  
PRESIDENTE**

---

**Mg. VALDERRAMA RAMOS ISIDORO  
SECRETARIO**

---

**Msc. MORENO EUSTAQUIO WALTER  
VOCAL**

## **DEDICATORIA**

Salmos 37:5

Encomienda a Jehová tu camino, Y confía en él; y él hará.

Dedico esta tesis a Dios, por su amor, misericordia y gracia en cada día de mi vida. Asimismo, dedico esta tesis a mis padres; Antonio y Margarita, a mis hermanos; Silvana, Valentino, Orlando, Fátima, Melani y Alejandro, a mi abuela, María, quienes me brindaron su apoyo incondicional en mi caminar diario a convertirme en un profesional y quienes son la razón de mi superación constante, día a día.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por su amistad, amor y ayuda en cada momento de mi vida.

A CITEccal Trujillo, al especialista de proyectos el Econ. Juan Carlos Mariños Legendre, al Ing. Amilcar Diego a cargo de la planta piloto curtiembre y al analista de laboratorio, el Ing. Pierre Gárate, por sus orientaciones y gestiones técnicas en el planteamiento y desarrollo de la tesis.

A la curtiembre Cuenca S.A.C. A la Sra. Katia Ubillus Ojeda, por haberme brindado la confianza y acceso de sus instalaciones y muestreo del agua residual para poder ejecutar la presente tesis.

A mi centro de Estudio, la Universidad César Vallejo – Trujillo, por brindarme calidad de educación en la formación profesional.

A mi asesor el Mg. Misael Villacorta por la orientación, dirección y apoyo en el desarrollo de la investigación. Agradecer a mis docentes de la escuela de Ingeniería Ambiental, por su esfuerzo e interés en brindar todos los conocimientos adquiridos por la experiencia profesional ejercida, para poder inculcar en sus alumnos conciencia, amor y capacidad técnica hacia su profesión.

## **DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD**

Yo Antonio de Dios Guerrero Carbajal identificado con DNI 70333965, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Asimismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Trujillo, 05 de Julio del 2018

-----  
**Antonio de Dios Guerrero Carbajal**

**DNI N° 70333965**

## **PRESENTACIÓN**

**Señores miembros del jurado:**

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, presento ante ustedes la tesis titulada “INFLUENCIA DEL TIEMPO Y VOLTAJE EN LA DISMINUCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA POR ELECTROCOAGULACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA CURTIEMBRE CUENCA S.A.C.”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título de profesional de Ingeniero Ambiental.

**El autor**

## ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA .....	i
PÁGINA DEL JURADO .....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD .....	v
PRESENTACIÓN .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Realidad problemática .....	1
1.2. Trabajos previos.....	3
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	7
1.3.1. Carga orgánica.....	7
1.3.2. Coagulación y floculación.....	9
1.3.3. Electroquímica:.....	9
1.4. Formulación del problema .....	13
1.5. Justificación del estudio.....	13
1.6. Hipótesis .....	13
1.7. Objetivo .....	13
1.7.1. Objetivo general .....	13
1.7.2. Objetivos específicos .....	14
<b>II. MÉTODO</b> .....	15
2.1. Diseño de investigación .....	15
2.1.1. Tratamientos .....	15
2.1.2. Diseño experimental .....	16
2.1.3. Esquema .....	16
2.2. Variables y operacionalización .....	17

2.2.1.	Variables .....	17
2.2.2.	Operacionalización de variables .....	18
2.3.	Población y muestra .....	19
2.3.1.	Población: .....	19
2.3.2.	Muestra: .....	19
2.3.3.	Unidad de análisis: .....	19
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	20
2.4.1.	Técnica e instrumento de recolección de datos .....	20
2.4.2.	Validez y confiabilidad.....	20
2.5.	Métodos de análisis de datos. ....	21
2.5.1.	Procedimiento .....	21
2.5.2.	Análisis de datos .....	22
2.6.	Aspectos éticos .....	22
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>23</b>
3.1.	Caracterización del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C.....	23
3.2.	Influencia del tiempo de residencia y voltaje .....	23
3.3.	Valores promedio de la influencia del tiempo y voltaje en la disminución de DBO <sub>5</sub> y DQO.....	28
3.4.	Análisis estadístico .....	31
3.4.1.	Prueba de normalidad del tiempo y voltaje .....	31
3.4.2.	Homogeneidad de varianzas para la DBO <sub>5</sub> y DQO.....	32
3.4.3.	Análisis de varianza para la DBO <sub>5</sub> y DQO.....	33
3.4.4.	Análisis del mejor tratamiento.....	33
<b>IV.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>36</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>39</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>39</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>40</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>46</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Diseño de tratamientos .....	15
<b>Tabla 2:</b> Variables de estudio .....	17
<b>Tabla 3:</b> Operacionalización de variables .....	18
<b>Tabla 4:</b> Población y muestra de estudio .....	20
<b>Tabla 5:</b> Caracterización de la muestra residual .....	23
<b>Tabla 6:</b> Remoción de la DBO <sub>5</sub> y DQO a 8V con 20 minutos de tratamiento. ....	24
<b>Tabla 7:</b> Remoción de la DBO <sub>5</sub> y DQO a 8V con 35 minutos de tratamiento .....	24
<b>Tabla 8:</b> Remoción de la DBO <sub>5</sub> y DQO a 8V con 45 minutos de tratamiento. ....	25
<b>Tabla 9:</b> Remoción de la DBO <sub>5</sub> y DQO a 12V con 20 minutos de tratamiento. ....	25
<b>Tabla 10:</b> Remoción de la DBO <sub>5</sub> y DQO a 12V con 35 minutos de tratamiento .....	26
<b>Tabla 11:</b> Remoción de la DBO <sub>5</sub> y DQO a 12V con 45 minutos de tratamiento. ....	26
<b>Tabla 12:</b> Remoción de la DBO <sub>5</sub> y DQO a 16V con 20 minutos de tratamiento. ....	27
<b>Tabla 13:</b> Remoción de la DBO <sub>5</sub> y DQO a 16V con 35 minutos de tratamiento .....	27
<b>Tabla 14:</b> Remoción de la DBO <sub>5</sub> y DQO a 16V con 35 minutos de tratamiento. ....	28
<b>Tabla 15:</b> Valores promedio de remoción para DBO <sub>5</sub> expresados en mg/L.....	28
<b>Tabla 16:</b> Valores promedio de remoción para DQO expresados en mg/L. ....	29
<b>Tabla 17:</b> Prueba de normalidad para el voltaje .....	32
<b>Tabla 18:</b> Prueba de normalidad para el tiempo.....	32
<b>Tabla 19:</b> Prueba de homogeneidad de varianzas para las variables dependientes.....	32
<b>Tabla 20:</b> Análisis de varianza para las variables dependientes.....	33
<b>Tabla 21:</b> Análisis de voltaje en la DBO <sub>5</sub> con prueba de Tukey y Duncan.....	34
<b>Tabla 22:</b> Análisis de voltaje en la DQO con prueba de Tukey y Duncan.....	34
<b>Tabla 23:</b> Análisis del tiempo en la DBO <sub>5</sub> con prueba de Tukey y Duncan. ....	35
<b>Tabla 24:</b> Análisis del tiempo en la DBO <sub>5</sub> con prueba de Tukey y Duncan. ....	35
<b>Tabla 25:</b> Ficha de observación para el pre-tratamiento.....	55
<b>Tabla 26:</b> Ficha de observación, con los valores de los tratamientos aplicados.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Relación causal. ....	16
<b>Figura 2:</b> Testigo. ....	16
<b>Figura 3:</b> Valores promedio de disminución de la DBO <sub>5</sub> , con los tratamientos aplicados. ....	29
<b>Figura 4:</b> Valores promedio de disminución de la DQO, con los tratamientos aplicados. ....	30
<b>Figura 5:</b> Porcentajes de reducción de la DBO <sub>5</sub> y DQO, con los tratamientos aplicados. ....	31
<b>Figura 6:</b> Reactor tipo batch .....	47
<b>Figura 7:</b> Soporte de electrodos.....	47
<b>Figura 8:</b> Fuente de poder de 10 Amperios y 30 voltios regulable. ....	48
<b>Figura 9:</b> Reactor de electrocoagulación.....	48
<b>Figura 10:</b> Recolección de la muestra residual.....	49
<b>Figura 11:</b> Medición de pH y conductividad.....	49
<b>Figura 12:</b> Kit para medición de DBO <sub>5</sub> . ....	50
<b>Figura 13:</b> Viales con muestra residual. ....	50
<b>Figura 14:</b> Adición de solución digestora en viales de DQO.....	51
<b>Figura 15:</b> Digestor con viales para medición de DQO. ....	51
<b>Figura 16:</b> Medición de la absorbancia de DQO.....	52
<b>Figura 17:</b> Medición de la absorbancia de DBO <sub>5</sub> .....	52
<b>Figura 18:</b> Figura de residuos para la DBO <sub>5</sub> . ....	53
<b>Figura 19:</b> Figura de residuos para la DQO. ....	53
<b>Figura 20:</b> Medias marginales estimadas de DBO <sub>5</sub> . ....	54
<b>Figura 21:</b> Medias marginales estimadas de DQO.....	54
<b>Figura 22:</b> Validación del instrumento, por la Dra. Bertha Ulloa Rubio. ....	57
<b>Figura 23:</b> Validación del instrumento, por el Mg. Walter Moreno Eustaquio. ....	57
<b>Figura 24:</b> Validación del instrumento, por el Mg. Isidoro Valderrama Ramos.....	57

## **RESUMEN**

Las aguas residuales de curtiduría tienen alta carga de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos. Los parámetros fisicoquímicos, superan en gran manera los límites máximos permisibles y valores máximos admisibles en la mayoría de curtiembres, sin embargo, existen diversos esfuerzos por parte de los empresarios en el tratamiento de sus efluentes con diversos métodos de remoción de contaminantes en cuerpos hídricos, los cuales varían en su efectividad, costo y viabilidad.

Debido a aquella problemática la presente investigación planteó como objetivo principal evaluar la influencia de la Electrocoagulación en la disminución de la carga orgánica del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C. Dicho método, es destacado por su efectividad, sin embargo, existen bastantes variables electroquímicas claves para la efectividad de la remoción. La carga orgánica fue medida a través de los parámetros de DBO<sub>5</sub> y DQO. La electrocoagulación se llevó a cabo en un reactor tipo batch con 2,5 Litros de muestra residual, utilizando electrodos de aluminio, analizando las variables de tiempo de residencia y voltaje a intervalos de 20 - 45 minutos y 8 - 16 voltios, respectivamente. Se observó con los resultados obtenidos, que aplicando mayor voltaje y mayor tiempo de reacción se encuentran, los mejores porcentajes de remoción con 71.2% y 46.9% para ambos parámetros. La presente investigación concluyó, que el tiempo óptimo de electrocoagulación es de 45 minutos, suministrando 16 voltios de potencial energético a la celda electroquímica, a estas condiciones se identificaron los mejores resultados de disminución de ambos parámetros.

Palabras claves: Electrocoagulación, agua residual, curtiembre, DBO<sub>5</sub>, DQO

## ABSTRACT

Tannery wastewater has a high load of both organic and inorganic pollutants. The physicochemical parameters, greatly exceed the maximum permissible limits and maximum admissible values in most tanneries, however, there are various efforts on the part of businessmen in the treatment of their effluents with various methods of removal of pollutants in water bodies, which vary in their effectiveness, cost and viability.

Due to this problem, the present investigation proposed as main objective to evaluate the influence of the Electrocoagulation in the decrease of the organic load of the residual water of the tannery Cuenca S.A.C. This method is notable for its effectiveness, however, there are many key electrochemical variables for the effectiveness of the removal. The organic load was measured through the parameters of BOD<sub>5</sub> and COD. The electrocoagulation was carried out in a batch reactor with 2.5 liters of residual sample, using aluminum electrodes, analyzing the variables of residence time and voltage at intervals of 20-45 minutes and 8-16 volts, respectively. It was observed with the results, that applying higher voltage and longer reaction time are found, the best removal percentages with 71.2% and 46.9% for both parameters. The present investigation concluded that the optimal electrocoagulation time is 45 minutes, supplying 16 volts of energy potential to the electrochemical cell, to these conditions the best results of decrease of both parameters were identified.

Keywords: Electrocoagulation, wastewater, tannery, BOD<sub>5</sub>, COD

# **I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Realidad problemática**

El cumplimiento de la normativa Ambiental y la regulación del desempeño ambiental del sector Industria sigue siendo el mayor desafío a resolver por parte de las autoridades peruanas competentes en Gestión ambiental. La ciudad de Trujillo ocupa el segundo puesto en producción de pieles y cueros en el territorio nacional, el número de empresas del sector curtido ha incrementado con 122 empresas formales, distribuyéndose con un 17.21% en el distrito de Trujillo, Florencia de Mora 8.20%, La Esperanza 46.72%, Moche 2.46%, Porvenir 24.59% y Laredo 0.82%, según (López, 2010). Por ende, la contaminación de aguas residuales de este sector viene siendo un gran problema para la población trujillana.

Las aguas residuales del Sector Curtido no son tratadas por la falta de Infraestructuras técnicas para el tratamiento de estas, además por el alto costo que implica implementar un sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, éstos efluentes se caracterizan por la presencia de alta carga orgánica, por la combinación de grasas, pelos, sangre, aceites, etc. de naturaleza de la piel del animal o agregados para reaccionar en los procesos, lo cual implica que sin tratamiento alguno esta carga orgánica acompañada de otros contaminantes van directamente al alcantarillado. Según el ministerio de la producción en el D.S. 003-2002 y el ministerio de vivienda, construcción y saneamiento en el D.S. 021-2009, expresan que es obligación de la empresa no exceder los límites máximos permisibles y valores máximos admisibles respectivamente, en efluentes residuales de curtiembre, lo que no es respetado por las curtiembres llegando a superar los lineamientos de regularización ambiental exigible por el estado. Son escasas las curtiembres que han implementado o que tienen el propósito de implementar un sistema de Gestión Ambiental, a ello le suma la ardua labor la del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), que ha permitido que en los últimos años las curtiembres del sector pongan mayor énfasis en la regularización ambiental y se comprometan al cuidado con el medio ambiente. La curtiembre Cuenca S.A.C. lleva más de cinco años dedicada a la fabricación y comercialización de cuero vacuno, así como prestación de sus servicios a Terceristas, teniendo el mismo problema que las demás empresas del sector; descarga de efluentes residuales al alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento fisicoquímico - microbiológico.

Existen muchos tipos de tratamientos de aguas residuales que utilizan variables físicas, químicas y biológicas, pero el costo de estos sigue siendo la barrera para que las MYPES del sector curtido, puedan regularizar los impactos ambientales que genera su empresa. Según Arango (2005, p. 50), existe la necesidad de realizar tratamiento a las aguas residuales, pero estos deben ser adecuados para la eliminación del contaminante, tener una tasa de efectividad alta, debe traer ventajas ambientales al empleador y sobretodo deben tener un bajo costo para que este a la disposición de adquirirlo. Existen diversas técnicas de tratamiento a los efluentes residuales, como procesos biológicos y fisicoquímicos, dentro de los procesos fisicoquímicos más utilizados son: filtración, intercambio iónico, precipitación química, adsorción, ósmosis inversa, entre otros. (Barboza, 2011, p. 02)

La electrocoagulación es una de las técnicas Electroquímicas que ha sido estudiada desde 1888 y que en su desarrollo científico ha conseguido grandes logros en la remoción de contaminantes (Arango, 2005, p. 50), además por ser una técnica de bajo costo ha permitido que muchas empresas implementen dichos sistemas en sus procesos de tratamientos de aguas residuales. Este método utiliza la corriente eléctrica para eliminar los contaminantes en agua residual, siendo un tratamiento amigable con el medio ambiente y reemplazable con energía fotovoltaica para la reducción de energía eléctrica. Como cualquier otro tratamiento de agua, la EC se caracteriza por el alto consumo de energía eléctrica que puede elevar los costos del tratamiento, exigiendo a los investigadores muchas veces a reducir las condiciones óptimas de las variables, es por eso imprescindible analizar la relación entre el voltaje y el tiempo óptimos para el tratamiento, ya que un rango mínimo de voltaje utilizado beneficiará en reducir los costos de operación. De igual manera la cantidad de energía eléctrica aumentará si el tiempo se extiende, siendo de suma importancia para la investigación encontrar el punto de equilibrio de ambos para reducir costos operativos por consumo de energía eléctrica (Nizam, 2015, p. 681 - 686).

## 1.2. Trabajos previos

La presente investigación se fundamenta en estudios relacionados al tema, presentados a continuación:

**Sengil y Ozacar, (2009, p. 940 - 946)**, en su investigación titulada “Tratamiento de agua residuales con tambor de cal y curtiduría, mediante electrocoagulación”. Plantearon como objetivo principal la eliminación de DQO, sulfuro y grasa oleosa del agua residual de los botales con cal de curtido mediante electrocoagulación con corriente continua (DC). La metodología de la presente investigación, empleó las variables de pH, tiempo de electrólisis y la densidad de corriente. Utilizando un pH constante de 3 y un tiempo de 10 minutos y utilizando tres tipos de densidad de corriente para los tres parámetros contaminantes de  $35 \text{ mA/cm}^2$ ,  $35 \text{ mA/cm}^2$  y  $3,5 \text{ mA/cm}^2$  para DQO, sulfuro y aceite, respectivamente. Así mismo se utilizaron electrodos de acero suave como ánodo de sacrificio. Obteniendo resultados de remoción a un 82%, 90% y 96% respectivamente para cada contaminante. Los autores concluyen que los electrodos de acero suave son eficientes para la remoción de DQO, sulfuro y aceites y grasas.

**Barboza G, (2011, p. 04)**, en la tesis titulada “Reducción de la carga de contaminantes de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Totorá – Ayacucho empleando la técnica de electrocoagulación”. Planteó como metodología, caracterizar la calidad de agua de la PTAR y luego se aplicó el tratamiento por electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio. Obteniendo la remoción de 94,65% de turbidez, 65,1% de coliformes fecales y 64,8% de  $\text{DBO}_5$ , mediante  $12,5 \text{ mA/cm}^2$  y  $21 - 23 \text{ V}$ , con pH ajustado a  $7,33 - 7,34$  y con 25 minutos de tratamiento. Se concluye que se puede obtener remoción de coliformes fecales hasta en un 93% con un tiempo de 45 minutos, del mismo modo concluyó, que el electrodo de aluminio es óptimo en utilizar la totalidad de sus iones mediante el proceso de electrocoagulación.

**Benhadji a. [et al.], (2011, p. 128 - 134)**, en su investigación titulada “Electrocoagulación y efecto de los materiales del cátodo en la eliminación de contaminantes de aguas residuales de curtiduría de Rouïba”, tuvo como objetivo principal evaluar el efecto del cátodo en el tratamiento por electrocoagulación, utilizando un litro de efluente residual, un ánodo de aluminio y cátodo de acero y aluminio. Se analizaron las variables de tiempo y densidad de corriente. Obteniendo como  $75 \text{ A/m}^2$  de densidad de corriente a un tiempo de 45 minutos, las condiciones óptimas para el tratamiento. Concluyendo que a condiciones óptimas se reduce más del 90% de  $\text{DBO}_5$ , DQO, turbidez, cromo, hierro y nitrato.

**Ait [et al.], (2012, p. 98 - 101)**, planteó en su investigación titulada “Integración de electrocoagulación y adsorción para el tratamiento de aguas residuales de curtiduría - El caso de una fábrica argelina, Rouiba”, la remoción de cromo (VI), DQO, disminución de la turbidez para lo cual, en primer lugar, se caracterizó la calidad de agua residual de acuerdo a los parámetros contaminantes descritos anteriormente a través de métodos de laboratorio ya estandarizados. La electrocoagulación tuvo parte en una celda de vidrio con capacidad de 800 ml, pero siendo el volumen óptimo para el proceso de 500 ml y los electrodos utilizados fueron de placas de aluminio. El efluente de curtiembre con 1920 mg/l de DQO, se sometió al proceso de electrocoagulación con una corriente de 1,5 A y la duración del proceso de electrolisis fue de 2 horas con treinta minutos, logrando remover un 50% de DQO. Así mismo el autor concluyó que la combinación de ambos métodos de adsorción y electrocoagulación mejoró significativamente el proceso de remoción de cromo, DQO y turbidez obteniendo 92%, 75% y 96.1%, respectivamente por debajo de 50 ug/L de cromo cumpliendo los estándares de la American Protection Agency (APA).

**Arias, (2013, p.07)** en su tesis “Remoción de cromo (III) y DQO a través de electrocoagulación en aguas residuales de la industria curtiembre haciendo uso racional de la energía” planteó la reducción de cromo y DQO de aguas residuales de curtiembre a través del uso experimental de la electrocoagulación empleando las variables presentes en el efluente, pH inicial (5 a 7), amplitud de la corriente eléctrica (2,1A a 3,6A) y el manejo de dos tipos de corrientes distintas; corriente continua (DC) y corriente alterna pulsante (PAC). De igual modo la investigación utilizó dos tratamientos (DC y PAC) los cuales pudieron remover aproximadamente un 95% de cromo (III) y un 70% de la DQO en 20 minutos de proceso. Se concluye que con el uso de corriente alterna pulsante (PAC) se logró reducir en un 40% el consumo de energía eléctrica con respecto al método de corriente continua (DC).

**Elabbas, [et al.], (2016, p. 69 - 77)**, en su artículo de investigación “ Tratamiento de aguas residuales de curtiduría altamente concentradas mediante electrocoagulación: influencia de la calidad del aluminio utilizado como electrodo”, tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad del electrodo de aluminio en el proceso de electrocoagulación para remover COD y cromo de aguas residuales de actividades de curtido, empleando una celda de electrocoagulación con dos electrodos de aluminio (aleación de aluminio y aluminio puro), analizando las variables de tiempo, densidad de corriente y concentración inicial de los contaminantes. Se investigó que el tiempo de tratamiento es largo con aproximadamente seis

horas, con una densidad de 400 A/m<sup>2</sup>. Se concluyó, que la aleación de aluminio tiene mayor capacidad de remoción de DQO y cromo que el electrodo de aluminio puro.

**Deghles y Kurt (2016, p.43 - 50)**, en su artículo de investigación “Tratamiento de aguas residuales de curtiduría mediante un proceso híbrido de electrocoagulación / electrodiálisis” tuvo como objetivo principal evaluar el rendimiento de un proceso híbrido de electrocoagulación / electrodiálisis para eliminar DQO, NH<sub>3</sub>-N, Cr y color de las aguas residuales. Las variables de estudio fueron la densidad de corriente y el tiempo de electrolisis, utilizando en el proceso electrodos de aluminio y hierro. La metodología de investigación, fue una integración del proceso de electrocoagulación (EC) y electrodiálisis (ED). Obteniendo como resultados con el proceso de ED remoción al 92% de DQO, 100% de NH<sub>3</sub>-N, 100% de Cr y 100% de color, trabajando a condiciones de conductividad de 0,371 mS/cm a 45 minutos. En el caso de la EC, trabajando con electrodos de hierro, con un valor de conductividad de 1,5 mS/cm a 75 minutos, se obtuvo un 87% de DQO, 100% de NH<sub>3</sub>-N, 100% de Cr y 100% de color. La investigación, concluyó que la integración de las técnicas de EC – ED, remueve porcentajes similares para el mismo parámetro.

**Bermeo, (2017, p.16)**, en la tesis doctoral titulada “Remoción de colorante refractario azul MNO reactivo en combinación con vinil sulfúrico en aguas residuales mediante técnicas de electrocoagulación y adsorción”, tuvo como objetivo la eliminación de color de agua residual del sector textil. La caracterización del efluente residual dio a conocer un pH de 8.93, color 3500 unidades Pt/Co, 1300 mg/L para la DQO, 177 mg/L en la DBO<sub>5</sub> y 133 NTU de turbiedad. El sistema de tratamiento a nivel de laboratorio de electrocoagulación y adsorción, utilizo electrodos de hierro y un filtro de carbón activado, respectivamente. Los datos obtenidos con la electrocoagulación indicaron un 97,95% de remoción para la DQO y un 99,11% de remoción par el color. Sin embargo, aplicando la combinación de la electrocoagulación y adsorción se logró remover 97,95% para DQO y 99,20% para color. Dichos resultados, permitieron concluir que al aplicar la adsorción después del tratamiento de electrocoagulación el porcentaje de remoción es mínimo.

**Castillo y Oleden, (2017, p.11)**, en la tesis titulada “Influencia de la distancia entre electrodos y densidad de corriente en la disminución de carga contaminante de residuos líquidos de pelambre por electrocoagulación”, emplearon la electrocoagulación para disminuir la concentración de sulfuro y DQO, usando un reactor hecho de acrílico con electrodos de aluminio. Las variables electroquímicas fueron la distancia entre electrodos, con rangos de 1.0

y 1.5 cm y la densidad de corriente con intervalos de 60,80 y 100  $A/m^2$ . Los datos obtenidos con el tratamiento revelan que la máxima remoción de sulfuro y DQO a una distancia entre electrodos de 1.0 cm y con densidad de corriente de 80 y 100  $A/m^2$ , respectivamente, fue de 54.8% y 34,36%. Sin embargo, con una distancia entre electrodos de 1.5 cm, el porcentaje mayor de remoción es de 46,47% para sulfuro y 36.45% para la DQO con densidades de corriente de 60 y 100  $A/m^2$ . Se concluyó con la investigación que no existe relación de remoción entre la densidad de corriente y la distancia entre electrodos para ambos contaminantes.

**García y Rodríguez, (2017, p.10)**, en la tesis titulada “Influencia del caudal y densidad de corriente eléctrica en el pH, remoción de color y DQO de líquidos de recurtido usando electrocoagulación”, utilizó dos tipos de aguas residuales de la Curtiembre Ecológica del Norte E.I.R.L. El primer efluente residual, presentó anilina azul-BR, y el segundo, anilina roja SOLANIL-C1. El tratamiento de agua fue por electrocoagulación y se evaluaron las variables de densidad de corriente y el caudal del reactor electroquímico. En el tratamiento del efluente con anilina rojo SOLANIL-CL, se obtuvieron los porcentajes de remoción de DQO y color en 63,5% y 62,2%, respectivamente, empleando un caudal de 36 mL/min y densidad de corriente de 120 A/m, los cuales registraron los mejores datos de remoción. Se removió un 78,4% y 62,8%, de DQO y el color respectivamente para el efluente con anilina azul-BR, con las mismas condiciones de tratamiento de caudal y densidad de corriente que se utilizó con el primer efluente. Asimismo, el proyecto registró el aumento de pH en todas las muestras tratadas y la turbidez de los efluentes tratados fue mayor al 96%.

**Mayta y Mayta, (2017, p. 331-340)**, en la tesis titulada “Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación”, planteó analizar la influencia del tiempo de residencia, voltaje y diluciones en la remoción de cromo y DQO de aguas residuales de curtiduría por el método de electrocoagulación, empleando intervalos de tiempo de 15 a 45 minutos, voltajes de 5 a 10 voltios y diluciones de 0 a 2. El reactor de tratamiento fue de tipo batch, de operación discontinua construido a base de material de acrílico y tuvo una capacidad de 1,3 litros. Asimismo, se utilizó 6 electrodos de aluminio y se trabajó con una fuente de poder de 14 voltios y 9 amperios. El máximo porcentaje de remoción alcanzó el 98% para cromo y el 48% para la DQO, a condiciones técnicas de 45 minutos con 10 voltios y dilución de 2.

**Serrano, (2017, p.08)**, en la tesis titulada “Influencia de la densidad de corriente y la distancia entre electrodos en la remoción del color y demanda química de oxígeno de efluentes de recurtido usando electrocoagulación-ozonificación”. Para llevar a cabo el tratamiento de efluentes de recurtido se aplicó electrocoagulación (EC), utilizando un reactor tipo batch de 2 litros de volumen y dos electrodos, un ánodo de fierro y un cátodo de aluminio. Así mismo también se empleó el proceso de ozonificación (OZ) usando un reactor de columna de burbujeo semi-batch, enlazado a dos frascos lavadores de gases. Las condiciones óptimas encontradas para la EC fueron a una densidad de corriente de  $210 A/m^2$  y distancia entre cada electrodo de 2 cm, tratándose el efluente por un tiempo de 60 minutos. Posterior al proceso de EC, se aplicó la ozonificación, analizándose que a un pH 10 y durante 90 minutos de tratamiento se obtiene la mejor remoción de color y DQO. Con los resultados obtenidos se evidencio que utilizando solamente el proceso de EC, se logró remover un 96,2% y 85,8% de color y DQO respectivamente, pero al unir ambos métodos la remoción del color disminuyó a 90,8%, sin embargo, la DQO se incrementó a un 87,8% de remoción.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Carga orgánica**

Ronzano y Dapena (2002, p.03) señalan que los métodos de medida de la contaminación orgánica pueden clasificarse según los siguientes tipos de parámetros:

- a) Métodos que determinan demanda de Oxígeno (DBO, DQO, DTO).
- b) Métodos que determinan contenido en Carbono (COT).

##### **1.3.1.1. Demanda química de oxígeno (DQO)**

Equivale a la medida necesaria de oxígeno para poder oxidar los compuestos orgánicos e inorgánicos capaces de combinarse con el oxígeno. La unidad de medida es el mg/l o en ppm. (Castells, 2012, p.175).

La cuantificación de este parámetro se realiza mediante el método de dicromato de potasio en medio ácido y en combinación de sulfatos de plata y de mercurio, siendo valorado también con sulfato de amonio para alcanzar la medición de niveles bajos a 700 mg/l. (Hidalgo J, 2010, p.

1679). Así mismo para Nogués et al. (2010, p.222), la DQO representa un indicador del contenido total de materia orgánica.

### **1.3.1.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Indica la cantidad oxígeno requerido por los microorganismos de descomposición para transformar o biodegradar en 5 días los residuos orgánicos presentes en el agua en compuestos estables. La unidad de medida es el mg/l o se expresa también en ppm. (Castells, 2012, p.175).

De igual modo, Hidalgo (2011, p. 1679), señala que el método de análisis normalmente se realiza en 5 días y a una temperatura de 20° C, es por ello que toma la denominación de DBO<sub>5</sub>.

Para Nogués et al. (2010, p.222-223), es un método basado en la medida del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos aerobios para transformar la materia orgánica carbonada biodegradable presente en un cuerpo de agua. El método más empleado en la determinación de DBO<sub>5</sub>, es el de las diluciones el cual corresponde al método 5210 del Standar Methods de la asociación americana. La DBO<sub>5</sub> por sus características biodegradables brinda la siguiente complementariedad:

- **Carácter biodegradable de las aguas:** Al conocer los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO de un efluente residual se puede hallar el coeficiente de biodegradabilidad expresado como DBO<sub>5</sub>/DQO. Cuando el coeficiente es menor que 0,2 mg/l, representa que estas aguas no son biodegradables, si el coeficiente está en un rango de 0,2 a 0,4, significa que el tipo de agua residual necesita ser estudiada para un respectivo tratamiento y si el coeficiente es mayor que 0,4, se puede interpretar que las aguas tienen características biodegradables.
- **Necesidades de Nutrientes:** Los microorganismos en el proceso de metabolización de la materia orgánica necesitan nutrientes especialmente el nitrógeno y fosforo, para su desarrollo. Puede calcularse la cantidad requerida por medio de la Relación de Sawyer, para tratamientos anaerobios (Fernández y García, 2000) en Nogués et al. (2010, p.223):

$$\mathbf{DBO_5 / N / P = 100 (mg O_2/l) / 0,5 (mg/l) / 0,1 (mg/l)}$$

### **1.3.2. Coagulación y floculación**

Según Andía (2000, p. 05), existen partículas de tamaño muy pequeño que caracterizan la turbiedad y el color del agua, llamadas partículas coloidales. Su remoción, a partir de medios de filtración finos es difícil y tienden a permanecer tiempos prolongados en la solución acuosa ya que su concentración es muy estable. Pero no se unen unas a otras por lo cual es un factor importante para poder aplicar la coagulación y floculación.

#### **1.3.2.1. Coagulación**

Para Aguilar [et al.], (2002, p.35), la coagulación es el proceso en el cual los compuestos de una disolución son desestabilizados por fuerzas que ejercen mayor grado de estabilidad a las que poseen estos. Existen coagulante químicos que llevan a cabo dichas reacciones de desestabilización.

#### **1.3.2.2. Floculación**

Proceso en el cual las moléculas desestabilizados forman compuestos puente, por consecuencia se forman enlaces químicos para formar grandes aglomerados, llamados “floculos” (Mahanam, 2007, p. 219). El objetivo principal de este proceso químico, según Andía (2000, p. 05) es favorecer con la agitación lenta, el contacto entre partículas desestabilizadas, uniéndose entre sí y formando un floc de tamaño considerable que pueda ser eliminado por procesos de decantación y filtración.

### **1.3.3. Electroquímica:**

Para Correa (2002, p. 281), la electroquímica se entiende como la parte de la química que estudia la interacción entre la energía eléctrica y las reacciones químicas, las cuales se detallan a continuación:

- La electricidad al hacer contacto con una solución iónica genera reacciones químicas no espontáneas de oxidación – reducción, como es el caso de los baños de oro, plata, etc.
- Las reacciones químicas espontáneas de oxidación y reducción generan energía eléctrica, como es el caso de las baterías y pilas comerciales.

### **1.3.3.1. Electrocoagulación:**

Para Mollah [et al.], (2004, p. 29-41), es un proceso electroquímico eficiente en la actualidad para el tratamiento de aguas residuales. Óptimo para las aguas residuales con alta carga de DQO y metales, a base de la combinación de floculantes con un campo eléctrico que acelera los procesos. (Castells, 2012, p. 1194). Además, la carga contaminante que se encuentran suspendidos en el agua residual son removidas por inducción de corriente eléctrica en medio de la fase acuosa a través de electrodos de diversos materiales sin utilizar un coagulante químico. Se basa en un proceso físico químico de coagulación de sistemas coloidales por una corriente eléctrica directa. Por proceso de electrolisis las aguas residuales con ánodos de hierro y aluminio, permiten la disolución electroquímica de metal anódico. Una vez disueltos los cationes de aluminio y hierro son hidrolizados y actúan como coagulantes iniciando la adhesión y fusión de partículas, (Sillanpaa y Shestakova, 2017, p. 74).

#### **1.3.3.1.1. Proceso de la electrocoagulación**

Mientras la electrólisis ocurre en el volumen de agua, una serie de procesos físicos y químicos se describen a continuación:

El ánodo y el cátodo sufren reacciones anódicas y catódicas respectivamente, mientras que los electrodos como el hierro o aluminio son utilizados como electrodos de sacrificio o electrodos consumibles que aportaran iones al sistema para la reacción de todas las partes. Los iones descargados neutralizan las cargas de los contaminantes desestabilizando los sistemas de suspensión dando inicio a la coagulación.

Los metales utilizados como electrodos al tener contacto con la solución contaminante liberan iones que reaccionan químicamente con las cargas de los contaminantes tratan el agua residual por precipitación o agregando materiales coloidales que bien pueden flotar o precipitarse. Los contaminantes que presenta el agua residual, se desplazan a través del campo eléctrico aplicado, tienden a sufrir reacciones de electrólisis o de hidrólisis o formar radicales libres que alteran las propiedades físicas y químicas del agua, resultando en un estado reactivo y excitado lo cual es causa de la liberación, destrucción o insolubilidad de los contaminantes. La combinación de electrodos de distinta naturaleza aumenta la eficiencia de remoción de los iones indeseables. La influencia de remoción también dependerá del ajuste de los parámetros como pH, conductividad y potencial de óxido-reducción de acuerdo al tipo de agua residual tratada, (Arango, 2005, p. 49 - 56).

### 1.3.3.1.2. Factores que afectan la electrocoagulación

**Densidad de corriente:** Es el resultado entre la intensidad de corriente que atraviesa por un conductor y la sección recta de dicho conductor. (Mantell, 2003, p. 15). La cantidad de corriente suministrada al sistema de electrocoagulación, permite que los electrodos utilizados desprendan mayor cantidad de iones en el medio acuoso. Al aplicar corrientes muy altas al proceso electroquímico, la energía eléctrica se convierte en energía calorífica que calienta el agua. Una densidad de corriente alta disminuye la eficiencia de la electrocoagulación. Es por ello que al elegir la densidad de corriente óptima debe tenerse en cuenta las demás variables de operación como pH, y temperatura, (Arango, 2005, p. 49 - 56).

**Conductividad:** Un incremento en la conductividad eléctrica genera a su vez un incremento en la densidad de corriente. La adición de algunos electrólitos tales como NaCl o CaCl<sub>2</sub> genera un aumento en la conductividad del agua residual. (Arango, 2005, p. 49 - 56).

**Presencia de NaCl:** La adición de sal al cuerpo de agua residual, aumenta la conductividad. Los iones de cloruro tienden a disminuir los problemas de reacción química de iones como HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ya que la presencia de iones carbonatos o sulfatos permiten la precipitación de Ca<sup>+2</sup> y Mg<sup>+2</sup>, los cuales producen una pared resistente sobre los electrodos, que interrumpe la circulación correcta de la corriente en el sistema electroquímico. Sin embargo, las condiciones óptimas de NaCl en la electrocoagulación no deben ser muy altas, sino que debe ser añadida de acuerdo al nivel de conductividad que posee la muestra residual. (Arango, 2005, p. 06).

**pH:** El pH en la electrocoagulación está relacionado directamente en la eficiencia de la corriente y al nivel que éste se encuentre en el medio acuoso permitirá la disolución del hidróxido del metal. La eficiencia de la electrocoagulación depende del tipo de contaminante, sin embargo, se ha identificado que existe buenos niveles de remoción, utilizando pH, cercanos a 7. En aguas ácidas el pH, suele incrementarse, pero disminuir en aguas básicas. En aguas ácidas el pH aumenta debido a la reacción del hidrógeno en el cátodo dada por  $H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ , (Arango, 2005, p. 49 - 56).

**Temperatura:** La temperatura en la electrocoagulación aumenta hasta llegar aproximadamente a los 60°, de acuerdo a la cantidad de corriente aplicada y luego desciende. Cuando la temperatura es alta, existe mayor destrucción de la película de óxido de aluminio, lo cual desprende mayor cantidad de iones que interactúan con los contaminantes. (Arango, 2005, p. 49 - 56).

**Voltaje:** El rango mínimo del voltaje aplicado dará el beneficio de reducir el costo de operación. Según (Nizam, 2015, p. 684 - 685), el aumento de voltaje permite la efectividad en la remoción de los contaminantes y sobre todo en metales pesados, pero se relaciona directamente con el estado de pH.

**Tiempo:** Según Xiangdong, (2011, p. 1161), cuando aumenta el tiempo de electrólisis, la concentración de hierro, los iones y sus flóculos de hidróxido aumentan, también aumenta la tasa de generación de burbujas. Los contaminantes en el lixiviado eliminado por el efecto de la coagulación y la flotación generan un alto consumo de energía eléctrica si el tiempo se amplía a más de 90 min.

#### **1.3.3.1.3. Aspectos técnicos para el reactor**

##### **Reactores tipo batch:**

Tiene forma simple y está formada por una celda electroquímica que cuenta con un ánodo y un cátodo en forma vertical, conectados a una fuente de energía externa. El ánodo por oxidación se corroerá eléctricamente, sin embargo, el cátodo permanece pasivo. Pero para la eficiencia del tratamiento se requiere de electrodos de gran área superficial, es por ello que las celdas van acompañadas de electrodos en paralelo o en serie. Para identificar los valores de corriente es necesario tener una fuente de corriente directa, un regulador de densidad de corriente y un multímetro (Ver figura 6).

##### **Reactor tipo filtra prensa:**

Otro tipo de reactor para la electrocoagulación, es el tipo filtro prensa, uno de los más populares, formado por una unidad de cobertura en forma de caja con un ánodo, un cátodo y una membrana. Este sistema es práctico y permite que su operación y mantenimiento sea económico y menos trabajoso que los demás.

##### **Reactor de electrodo cilíndrico rotativo:**

Este tipo de reactor es el adecuado para la remoción de metales, en el cual el cátodo gira en el centro de la celda y el ánodo se encuentra fijo. Este proceso permite aumentar la transferencia de masa en los electrodos y remover partículas de metal del cátodo.

##### **Reactor de lecho fluidizado:**

Este tipo de reactor es usado para la remoción de metales, un reactor de lecho fluidizado permite aumentar el área específica superficial mejorando la eficiencia del proceso.

#### **1.4. Formulación del problema**

¿Influye el tiempo y voltaje en la disminución de la carga orgánica por electrocoagulación del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C.?

#### **1.5. Justificación del estudio**

La presente investigación tiene carácter de suma importancia porque reducirá la contaminación de los efluentes residuales, permitirá cumplir los LMP y VMA para DBO<sub>5</sub> y DQO de la normativa peruana, generará competitividad y eliminación de multas, sanciones, cierres temporales por las autoridades de fiscalización que favorecerán a la Curtiembre Cuenca S.A.C. Por ser un método innovador y económico es viable su ejecución y diseño en cualquier empresa, esta investigación servirá de base para las MYPES del sector curtido para que puedan implementar este tratamiento económico y práctico para la gestión de sus aguas residuales, evitando la contaminación del alcantarillado y de los recursos naturales que pueden ser afectado, por la desviación de este o por el mal tratamiento en las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Trujillo que verterán aguas con carga contaminante al océano. Este tipo de tratamiento actualmente es investigado en las diferentes partes del país, es por ello que el presente estudio servirá de soporte para el desarrollo de nuevas tecnologías en tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Trujillo.

#### **1.6. Hipótesis**

- El tiempo y voltaje influyen en la disminución de la carga orgánica por electrocoagulación del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C.

#### **1.7. Objetivo**

##### **1.7.1. Objetivo general**

Evaluar la influencia del tiempo y voltaje en la disminución de la carga orgánica por electrocoagulación de agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- Identificar el mayor porcentaje de influencia del tiempo y voltaje de la disminución de la carga orgánica del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C.
- Determinar el tiempo óptimo de disminución de la DBO<sub>5</sub> y DQO por electrocoagulación.
- Determinar el voltaje óptimo de disminución de la DBO<sub>5</sub> y DQO por electrocoagulación.

## II. MÉTODO

### 2.1. Diseño de investigación

Según (Hernández et al., 2010), el tipo de investigación es la siguiente:

**Por su finalidad:** Aplicada, porque se enfoca en la resolución de problemas de manera práctica y sencilla.

**Por su diseño:** Experimental, ya que evidenciara si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes.

**Por su enfoque:** Cuantitativa, porque se basa en la obtención de datos numéricos los cuales serán utilizados en procesos estadísticos para su verificación.

**Por su fuente:** De Campo, ya que es un proceso de análisis científico que dará a conocer la realidad de los hechos y las problemáticas encontradas.

**Por su alcance:** Causal, porque explicará si las variables dependientes afectan a las independientes.

#### 2.1.1. Tratamientos

**Tabla 1:** Diseño de tratamientos.

Voltaje Tiempo	(V1)	(V2)	(V3)
	Testigo	R	
(T1)	T1V1	T1V2	T1V3
	T1V1'	T1V2'	T1V3'
	T1V1''	T1V2''	T1V3''
(T2)	T2V1	T2V2	T2V3
	T2V1'	T2V2'	T2V3'
	T2V1''	T2V2''	T2V3''
(T3)	T3V1	T3V2	T3V3
	T3V1'	T3V2'	T3V3'
	T3V1''	T3V2''	T3V3''

Fuente: Elaboración Propia.

Donde:

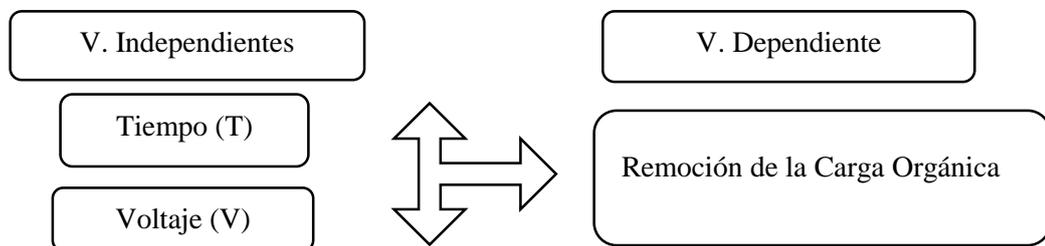
<b>Tiempo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Testigo</b>
T1=20 min	V1= 8,0 voltios	R
T2=35 min	V2= 12 voltios	
T3=45 min	V3= 16 voltios	

### 2.1.2. Diseño experimental

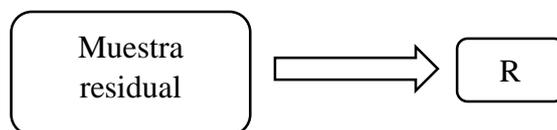
El diseño experimental de la presente investigación constó de 9 tratamientos, cuyo arreglo factorial es A \* B; en el que A corresponde a la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual y B equivale a los intervalos de tiempo y voltaje que afectarán e influenciarán en A.

### 2.1.3. Esquema

Según (Hernández et al., 2010). La investigación tiene un Esquema de relación causal, este esquema planteó el efecto que tendrá una o más variables independientes hacia una o más variables dependientes.



**Figura 1:** Relación causal.



**Figura 2:** Testigo.

## 2.2. Variables y operacionalización

### 2.2.1. Variables

La presente investigación detalló a continuación en la tabla N° 02 las variables de estudio tanto independientes como la dependiente:

**Tabla 2:** Variables de estudio.

Variables	Por naturaleza	Por su medición
Variables independientes		
Tiempo	Cuantitativa, continua	Razón
Voltaje	Cuantitativa, continua	Razón
Variables dependientes		
Remoción de la carga orgánica	Cuantitativa, continua	Razón

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2. Operacionalización de variables

**Tabla 3:** Operacionalización de variables.

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones / Sub variables</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
<b>Voltaje</b>	Es la magnitud física que conduce energía eléctrica a los electrones mediante un conductor con mayor o menor potencia.	Voltios	Se hará la medición mediante una fuente de energía. (Voltímetro)	Rangos	Razón
<b>Tiempo</b>	Es la capacidad de desplazamiento de un objeto material sometido a condiciones especiales y que se encuentra en un lugar determinado dentro del espacio.	Minutos	Se analizara el tiempo en intervalos con un cronometro.	Intervalos en Minutos	Razón
<b>Remoción de la carga orgánica</b>	Es la reducción, eliminación de la concentración de materia orgánica, expresada en compuestos de carbono en un efluente, cualquiera sea su origen, que ejerce un efecto negativo sobre el cuerpo de agua.	DBO <sub>5</sub>  DQO	Se determinara el análisis de la DQO y DBO <sub>5</sub> , por métodos de laboratorio ya estandarizados.	Miligramo de oxigeno por litro (mgO <sub>2</sub> /l)	Razón

Fuente: Elaboración propia.

## **2.3. Población y muestra**

### **2.3.1. Población:**

Volumen de agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C. ubicada en el parque industrial del distrito de la Esperanza, provincia de Trujillo.

### **2.3.2. Muestra:**

Para la presente investigación se utilizaron 67,5 litros de agua residual de la curtiembre Cuenca, aplicando el protocolo de monitoreo de aguas residuales de PTAR (R.M. 273-2013-VIVIENDA), el cual servirá de modelo para que la muestra sea representativa y se tome precaución en su recolección. La cual se llevó, inmediatamente a analizar al laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo, para no afectar las condiciones óptimas de la muestra.

### **2.3.3. Unidad de análisis:**

La unidad de análisis fue de 2,5 litros de agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C, por cada tratamiento.

**Tabla 4:** Población y muestra de estudio

Diseño	Población	Muestra	
<b>Diseño experimental</b>	Volumen de Agua residual de la Curtiembre Cuenca.	Se utilizaron 67,5 litros de agua residual de la curtiembre Cuenca.	
<b>Definición:</b> Técnica estadística donde se manipulan una o mas variables independientes para afectar a una o mas variables dependientes.			<b>Unidad de análisis:</b> Se utilizó 2,5 litros de agua por cada tratamiento.
<b>Simbología</b>  $  \begin{array}{ccc}  R & \longrightarrow & R \\  \downarrow r & & \\  R1 & \longrightarrow & R2  \end{array}  $			

Fuente: Elaboración propia.

## 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

### 2.4.1. Técnica e instrumento de recolección de datos

La técnica de recolección de datos fue la observación y el instrumento pertinente para la presente investigación fue la ficha de observación (Ver anexo 4).

### 2.4.2. Validez y confiabilidad

La validación y confiabilidad del instrumento de recolección de datos se llevó a cabo, con la experiencia de 1 Metodóloga, quien evaluó toda la parte técnica de las variables y estructura acorde a la metodología del proyecto y 2 profesionales de la experiencia curricular, quienes identificaron la realidad y sustentabilidad de las variables en el desarrollo del proyecto, (Ver anexo 5).

- Dra. Bertha Ulloa Rubio. - Mg. Isidoro Valderrama Ramos. - Mg. Walter Moreno Eustaquio.

## **2.5. Métodos de análisis de datos.**

### **2.5.1. Procedimiento**

**a) Recolección de muestras:** La toma de muestras se llevó a cabo en el canal final de efluentes residuales de la curtiembre Cuenca S.A.C.

Como la DQO y DBO<sub>5</sub>, miden la cantidad de oxígeno requerido para los procesos fisicoquímicos en un cuerpo de agua residual, el muestreo siguió ciertas especificaciones técnicas como; los frascos fueron debidamente lavados, desinfectados y enjuagados con agua destilada, al llenar con agua residual los frascos de recolección se evitó la agitación y formación de burbujas, así mismo la muestra se analizó en un plazo no mayor de 24 horas, por el volumen de muestra analizado que fueron 67,5 litros de agua residual, se utilizaron 4 baldes de 20 litros que siguieron las mismas especificaciones técnicas descritas anteriormente.

### **b) Especificaciones técnicas de diseño de la celda de electrocoagulación:**

La celda de electrocoagulación fue diseñada de tipo batch. Construida a base de láminas de acrílico con dimensiones de 16 cm de altura; 18 cm de largo y 14 cm de ancho. Se emplearon 8 electrodos de aluminio, de 12,5 cm de largo por 10 cm de ancho y de 1,5 mm de espesor. Asimismo, para separar las placas una respecto a la otra y a la vez que sirva de soporte en la celda de electrocoagulación, se crearon unas bases de acrílico separadoras de 1,3 cm entre cada electrodo. El volumen del efluente residual de curtiembre fue de 2,5 litros por cada tratamiento. Dicha celda fue conectada a una fuente de alimentación de energía de 0 – 30 V, y un rango de corriente directa de 10 A.

### **c) Procedimiento de electrocoagulación**

El proceso experimental de la presente investigación se detalla a continuación:

1. Se caracterizó las variables dependientes (DBO<sub>5</sub> Y DQO) del efluente residual antes del tratamiento.
2. Se aireó durante 8 horas, la muestra residual, previamente tamizada y filtrada.
3. Se lijó y limpió de toda impureza, los electrodos de Aluminio.
4. Se vertió 2,5 litros de efluente de agua residual a tratar en la celda de electrocoagulación.
5. Se introdujeron en la celda, las placas de aluminio quedando sumergidas a un 80%.
6. Se aplicó desde la fuente de alimentación de energía, la corriente eléctrica y se dejó el desarrollo del sistema por 20 minutos.

7. Pasados los 20 minutos del primer tratamiento, se apagó la fuente de alimentación y se dejó sedimentar los sólidos por 30 minutos.
8. Se tomó una muestra de 250 ml de agua de la celda para el análisis post – tratamiento de la DBO<sub>5</sub> Y DQO.

#### **d) Diseño y tratamiento**

El diseño experimental de la presente investigación constó de 9 tratamientos, cuyo arreglo factorial fue A \* B; en el que A corresponde a la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual y B equivale a los intervalos de tiempo y voltaje que afectaron e influenciaron en A.

#### **e) Evaluación**

Las muestras fueron analizadas mediante métodos fisicoquímicos en pre tratamiento, este primer análisis fue comparado con los datos obtenidos de las muestras que fueron sometidos al tratamiento de remoción con la finalidad de evaluar el porcentaje de reducción del contaminante en la unidad de medida del parámetro analizado. Todos los datos obtenidos fueron recopilados en tablas y procesados en gráficos.

#### **2.5.2. Análisis de datos**

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con los resultados obtenidos en los ensayos experimentales, para comparar la diferencia estadística de los valores obtenidos, de igual forma para identificar cual es el mejor resultado de los datos obtenidos en la reducción de la carga orgánica en la curtiembre Cuenca S.A.C. se utilizó el método estadístico de Tukey y Duncan.

#### **2.6. Aspectos éticos**

El desarrollo del presente proyecto se ejecutó respetando la autenticidad de autoría y los procesos de calidad de la investigación, por lo cual como Investigador me comprometo a respetar la veracidad de las fuentes de información, así también la de los resultados y toma de muestra en campo. Evidenciando cada hecho de manera oportuna, y validando las herramientas brindadas por las políticas y normativas de la Universidad Cesar Vallejo.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C.

En la tabla N° 05, se muestra la caracterización fisicoquímica del efluente residual de la curtiembre Cuenca S.A.C. A partir de la concentración inicial del agua residual se procedió a aplicar el tratamiento por electrocoagulación. Así mismo se indica los límites máximos permisibles de agua residual de curtiembre y los valores máximos admisibles que el sistema de alcantarillado puede recibir, dando referencia del grado de contaminación a tratar.

**Tabla 5:** Caracterización de la muestra residual.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>V.M.A</b>	<b>L.M.P (Alcantarillado)</b>
<b>DBO<sub>5</sub></b>	1619.4	mgO <sub>2</sub> /L	500	500
<b>DQO</b>	4063,7	mgO <sub>2</sub> /L	1000	1500
<b>pH</b>	4.7	-	6-9	6-9
<b>Conductividad</b>	6.23	mS/cm	---	---

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2. Influencia del tiempo de residencia y voltaje

La presente investigación realizó tres repeticiones para cada tratamiento, en las tablas N° 06, 07 y 08, evidencian la remoción de la DBO<sub>5</sub> y la DQO con 8 voltios de voltaje y a intervalos de tiempo de 20,35 y 45 minutos. Se identificó, que al aumentar el tiempo de reacción se reduce la concentración de contaminantes con este nivel de voltaje. El mayor porcentaje de remoción con 8 voltios, fue a un tiempo de tratamiento de 45 minutos, reduciendo 31 % y 26.1% para DBO<sub>5</sub> y DQO, respectivamente.

**Tabla 6:** Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a 8V con 20 minutos de tratamiento.

Parámetros	Muestra residual	Repeticiones			Reducción promedio
		1	2	3	
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	1619.4	1431.0	1424.3	1421.6	1425.6
% Reducción DBO <sub>5</sub>		11.6	12	12.2	11.9
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	4063.7	3318.4	3321.8	3334.7	3325
% Reducción de DQO		18.3	18.3	17.9	18.2

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7:** Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a 8V con 35 minutos de tratamiento.

Parámetros	Muestra residual	Repeticiones			Reducción promedio
		1	2	3	
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	1619.4	1233.1	1233.9	1245.7	1237.5
% Reducción DBO <sub>5</sub>		23.9	23.8	23.1	23.6
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	4063.7	3148.6	3142.7	3157.7	3149.7
% Reducción de DQO		22.5	22.7	22.3	22.5

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8:** Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a 8V con 45 minutos de tratamiento.

Parámetros	Muestra residual	Repeticiones			Reducción promedio
		1	2	3	
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	1619.4	1124.4	1118.6	1111.7	1118.2
% Reducción DBO <sub>5</sub>		30.6	30.9	31.4	31
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	4063.7	3004.4	3010.0	2993.5	3002.6
% Reducción de DQO		26.1	25.9	26.3	26.1

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas N° 09, 10 y 11, demuestran la reducción de la DBO<sub>5</sub> y DQO con 12 voltios con los respectivos tiempos de 20,35 y 45 minutos. En la tabla N° 11 se observa el mayor porcentaje de remoción con 12 voltios, a un tiempo de tratamiento de 45 minutos; 51.2 % y 35.5 % para DBO<sub>5</sub> y DQO, respectivamente.

**Tabla 9:** Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a 12V con 20 minutos de tratamiento.

Parámetros	Muestra residual	Repeticiones			Reducción promedio
		1	2	3	
DBO <sub>5</sub> ( mgO <sub>2</sub> /L )	1619.4	995.7	102.5	999.4	999.2
% Reducción DBO <sub>5</sub>		38.5	38.1	38.3	38.3
DQO ( mgO <sub>2</sub> /L )	4063.7	2880.0	2893.8	2895.0	2889.6
% Reducción de DQO		29.1	28.8	28.8	28.9

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10:** Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a 12V con 35 minutos de tratamiento.

Parámetros	Muestra residual	Repeticiones			Reducción promedio
		1	2	3	
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	1619.4	888.3	880.4	866.0	878.2
% Reducción DBO <sub>5</sub>		45.1	45.6	46.5	45.7
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	4063.7	2726.2	2738.4	2745.1	2736.6
% Reducción de DQO		32.9	32.6	32.4	32.6

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11:** Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a 12V con 45 minutos de tratamiento.

Parámetros	Muestra residual	Repeticiones			Reducción promedio
		1	2	3	
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	1619.4	799.6	798.4	770.2	789.4
% Reducción DBO <sub>5</sub>		50.6	50.7	52.4	51.2
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	4063.7	2615.7	2620.9	2628.6	2621.7
% Reducción de DQO		35.6	35.5	35.3	35.5

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas N° 12, 13 y 14, demuestran que con mayor voltaje se logra remover mayor porcentaje de DBO<sub>5</sub> Y DQO, respecto a los tratamientos anteriores con 8 y 12 voltios. En la tabla N° 14 se observa el mayor porcentaje de remoción con 16 voltios, a un tiempo de tratamiento de 45 minutos; 71.2 % y 46.9 % para DBO<sub>5</sub> y DQO, respectivamente.

**Tabla 12:** Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a 16V con 20 minutos de tratamiento.

Parámetros	Muestra residual	Repeticiones			Reducción promedio
		1	2	3	
DBO <sub>5</sub> ( mgO <sub>2</sub> /L )	1619.4	645.7	674.9	668.4	663.0
% Reducción DBO <sub>5</sub>		60.1	58.3	58.7	59
DQO ( mgO <sub>2</sub> /L )	4063.7	2430.4	2431.5	2450.6	2437.5
% Reducción de DQO		40.2	40.2	39.7	40

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13:** Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a 16V con 35 minutos de tratamiento.

Parámetros	Muestra residual	Repeticiones			Reducción promedio
		1	2	3	
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	1619.4	601.1	588.7	593.5	594.4
% Reducción DBO <sub>5</sub>		62.9	63.6	63.4	63.3
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	4063.7	2298	2315	2304.7	2305.9
% Reducción de DQO		43.5	43.0	43.3	43.3

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14:** Remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO a 16V con 35 minutos de tratamiento.

Parámetros	Muestra residual	Repeticiones			Reducción promedio
		1	2	3	
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	1619.4	477.3	455.6	464.9	465.9
% Reducción DBO <sub>5</sub>		70.5	71.9	71.3	71.2
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	4063.7	2166.7	2145.7	2158.3	2156.9
% Reducción de DQO		46.7	47.2	46.9	46.9

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Valores promedio de la influencia del tiempo y voltaje en la disminución de DBO<sub>5</sub> y DQO.

Según los valores obtenidos de las tres repeticiones, en las tablas N° 15 y 16, se presentan los valores promedios de remoción correspondientes a cada parámetro, después de haber aplicado los respectivos tratamientos.

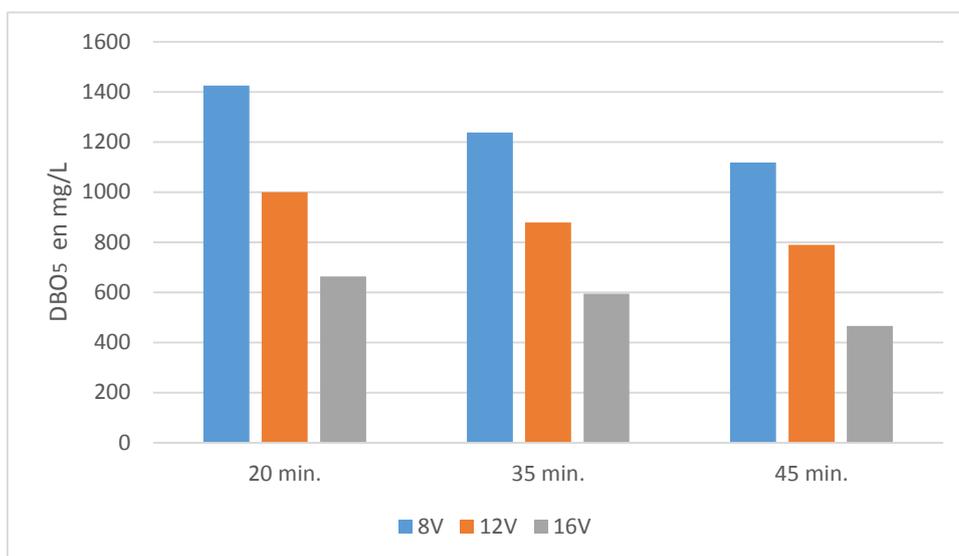
**Tabla 15:** Valores promedio de remoción para DBO<sub>5</sub> expresados en mgO<sub>2</sub>/L.

Voltaje (V)	Tiempo (min)		
	20	35	45
8	1425.6	1237.5	1118.2
12	999.2	878.2	789.4
16	663.0	594.4	465.9

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 03, se observa la variación de la DBO<sub>5</sub> en función a los promedios obtenidos, de las tres repeticiones analizadas. Los valores oscilan entre los 1425.6 mg/L a 465.9 mg/L. De

una concentración inicial de 1619.4 mg/L, se logró reducir 1153.5 mg/L, que representan más del 70% de concentración de este parámetro.



**Figura 3:** Valores promedio de disminución de la DBO<sub>5</sub>, con los tratamientos aplicados.

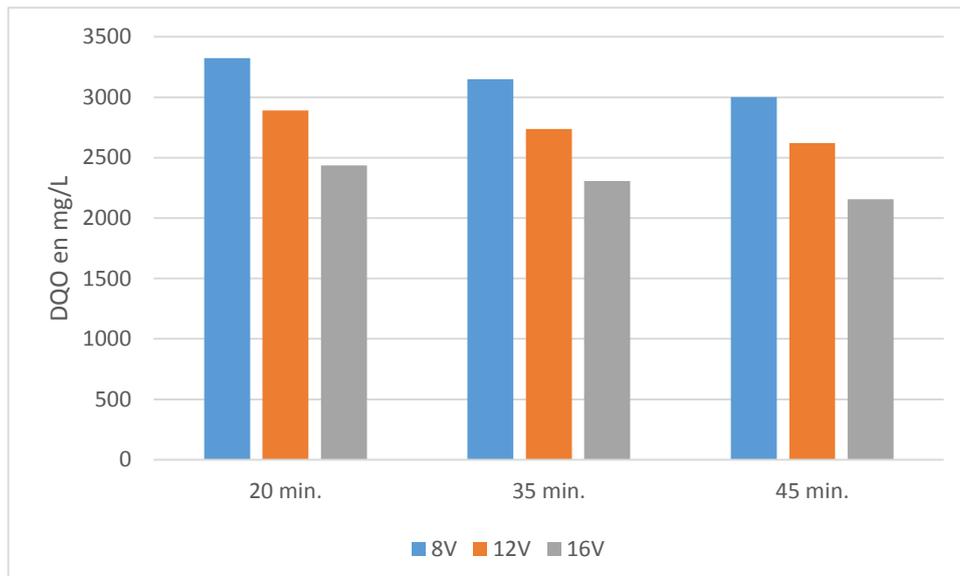
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 16:** Valores promedio de remoción para DQO expresados en mgO<sub>2</sub>/L.

Voltaje (V)	Tiempo (min)		
	20	35	45
8	3325	3149.7	3002.6
12	2889.6	2736.6	2621.7
16	2437.5	2305.9	2156.9

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 04, se observa la variación de la DQO, después de haber sido aplicado los tratamientos. en las tres repeticiones analizadas. Los valores oscilan entre los 3325 mg/L a 2156.9 mg/L. Mediante la electrocoagulación se logró reducir 1906.8 mg/L, que representan el 46 % de remoción del parámetro contaminante.

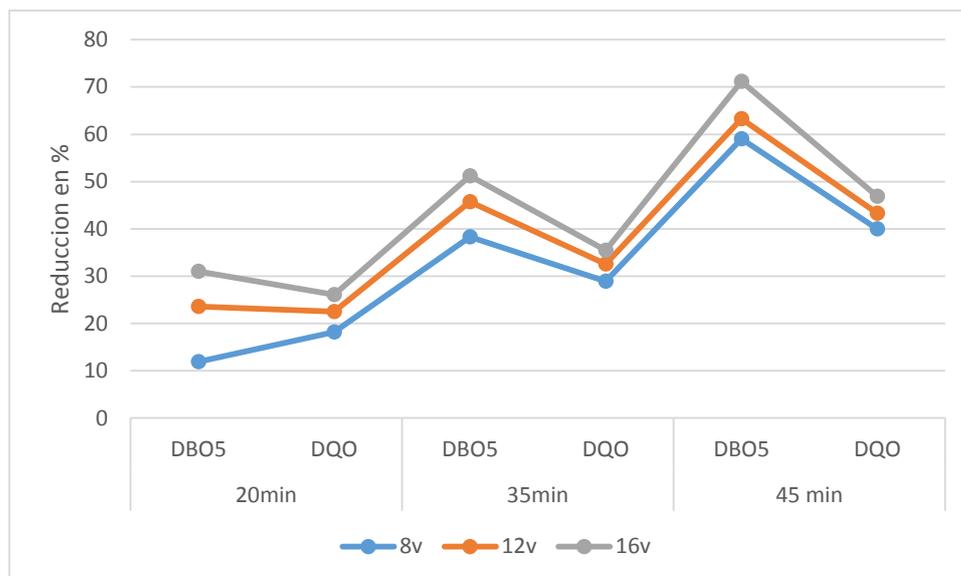


**Figura 4:** Valores promedio de disminución de la DQO, con los tratamientos aplicados.

Fuente: Elaboración propia.

En los primeros 20 minutos de tratamiento la DBO<sub>5</sub> y DQO, alcanzaron niveles de reducción de su concentración inicial en 11.9% y 18.2%, respectivamente. Cifras que aumentaron con la aplicación de un mayor voltaje, logrando reducir en un 31% y 26.1%, respectivamente. Pasado los 35 minutos de electrocoagulación, los porcentajes de disminución de ambos parámetros aumentaron, hasta llegar a un 51.2% y 35.5%, respectivamente. Finalmente, al prolongar el tiempo a 45 minutos de reacción, se lograron encontrar las condiciones óptimas de remoción, logrando remover con el voltaje más alto, 71.2% de DBO<sub>5</sub> y 46.9% de DQO.

El sistema de electrocoagulación establecido, presenta mejor eficiencia en la disminución de la DBO<sub>5</sub>, respecto a la DQO, cuando las condiciones del tiempo de residencia aumentan. Observando la figura 5, se apreció, que asociando los primeros 20 minutos y un voltaje de 8 voltios, la DQO tiene mayor remoción respecto a la DBO<sub>5</sub>, pero en el desarrollo de mayor voltaje y prolongación del tiempo, no tiende a aumentar significativamente el porcentaje de reducción como para el parámetro de la DBO<sub>5</sub>.



**Figura 5:** Porcentajes de reducción de la DBO<sub>5</sub> y DQO, con los tratamientos aplicados.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Análisis estadístico

Se realizó a través del programa IBM SPSS.

#### 3.4.1. Prueba de normalidad para el tiempo y voltaje

Criterio empleado para la prueba de hipótesis:

Si  $P > 0.05$  La distribución es Normal.

Si  $P > 0.05$  No existe distribución Normal.

En las tablas N° 17 y 18 se analiza la prueba de normalidad para las variables electroquímicas; tiempo y voltaje. Como utilizamos 27 muestras para el estudio, se toma en consideración los valores de P de Shapiro-Wilk, prueba estadística que analiza muestras pequeñas, menores a 30 unidades, y la cual indica que el P tiene que ser mayor al 0.05, para la validación de datos normales. Para ambas variables, tanto el tiempo y el voltaje, se aceptan el P mayor al valor establecido, por lo cual se valida la prueba de normalidad.

**Tabla 17:** Prueba de normalidad para el voltaje.

Voltaje		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DBO5	voltaje 8	0.218	9	,200*	0.835	9	0.051
	voltaje 12	0.211	9	,200*	0.876	9	0.142
	voltaje 16	0.232	9	0.179	0.867	9	0.114
DQO	voltaje 8	0.206	9	,200*	0.857	9	0.088
	voltaje 12	0.202	9	,200*	0.853	9	0.080
	voltaje 16	0.196	9	,200*	0.872	9	0.129

Fuente: Propia – IBM SPSS.

**Tabla 18:** Prueba de normalidad para el tiempo.

Tiempo		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DBO5	20 min	0.215	9	,200*	0.835	9	0.051
	35 min	0.215	9	,200*	0.835	9	0.051
	45 min	0.205	9	,200*	0.843	9	0.063
DQO	20 min	0.204	9	,200*	0.837	9	0.053
	35 min	0.206	9	,200*	0.837	9	0.053
	45 min	0.211	9	,200*	0.835	9	0.051

Fuente: Propia – IBM SPSS.

### 3.4.2. Homogeneidad de varianzas para la DBO<sub>5</sub> y DQO

Según Gonzáles (2009, p.34), la prueba de Levene indica que los datos obtenidos presentan varianzas similares siempre y cuando sean mayores que el nivel de significancia utilizado ( $\alpha=0.05$ ). Los resultados obtenidos del tratamiento fueron sometidos a la prueba de Levene, los cuales tienen valores mayores a 0.05, (Tabla N° 19).

**Tabla 19:** Prueba de homogeneidad de varianzas para las variables dependientes.

	F	df1	df2	Sig.
DBO5	2.173	8	18	0.082
DQO	0.276	8	18	0.966

Fuente: Propia – IBM SPSS.

### 3.4.3. Análisis de varianza de la DBO<sub>5</sub> y DQO

Después de comprobar la validación de las pruebas de normalidad y homogeneidad, se aplicó el análisis de varianza, contrastando la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), la cual sustenta que los tratamientos obtenidos son iguales, con la hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>), que considera que al menos uno de los tratamientos experimentados es diferente. En la tabla N° 20 se observa que el P valor (Sig.) fue menor que el alfa 0.05. Lo cual da derecho de descartar H<sub>0</sub> y afirmar H<sub>1</sub>, que al menos uno de los tratamientos tiene diferencia significativa frente al resto.

**Tabla 20:** Análisis de varianza de las variables dependientes.

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	DBO <sub>5</sub>	2393303,961 <sup>a</sup>	8	299162.995	2920.253	0.000
	DQO	3705535,329 <sup>b</sup>	8	463191.916	5803.037	0.000
Intersección	DBO <sub>5</sub>	22258390.619	1	22258390.619	217273.317	0.000
	DQO	202137541.178	1	202137541.178	2532452.926	0.000
Voltaje	DBO <sub>5</sub>	2122614.569	2	1061307.285	10359.857	0.000
	DQO	3322665.899	2	1661332.949	20813.786	0.000
Tiempo	DBO <sub>5</sub>	255363.231	2	127681.615	1246.353	0.000
	DQO	379558.860	2	189779.430	2377.626	0.000
voltaje * tiempo	DBO <sub>5</sub>	15326.161	4	3831.540	37.401	0.000
	DQO	3310.570	4	827.643	10.369	0.000
Error	DBO <sub>5</sub>	1843.996	18	102.444		
	DQO	1436.740	18	79.819		
Total	DBO <sub>5</sub>	24653538.576	27			
	DQO	205844513.247	27			
Total corregido	DBO <sub>5</sub>	2395147.957	26			
	DQO	3706972.069	26			

Fuente: Propia – IBM SPSS.

### 3.4.4. Análisis del mejor tratamiento

Se utilizaron las pruebas Duncan y Tukey, para identificar los tratamientos que removieron la mayor cantidad de DBO<sub>5</sub> y DQO, con la aplicación de las variables electroquímicas.

En las tablas N° 21 y 22, se observa mediante las pruebas Tukey y Duncan los valores óptimos de remoción con la variable independiente tiempo a los intervalos respectivos de 8,12 y 16 voltios.

**Tabla 21:** Análisis de voltaje en la DBO<sub>5</sub> con prueba de Tukey y Duncan.

Voltaje	N	Subconjunto		
		1	2	3
HSD Tukey <sup>a,b</sup>	voltaje 16	9	574.4611	
	voltaje 12	9		888.9389
	voltaje 8	9		1260.4692
	Sig.		1.000	1.000
Duncan <sup>a,b</sup>	voltaje 16	9	574.4611	
	voltaje 12	9		888.9389
	voltaje 8	9		1260.4692
	Sig.		1.000	1.000

Fuente: Propia – IBM SPSS.

**Tabla 22:** Análisis de voltaje en la DQO con prueba de Tukey y Duncan.

Voltaje	N	Subconjunto		
		1	2	3
HSD Tukey <sup>a,b</sup>	voltaje 16	9	2300.1000	
	voltaje 12	9		2749.2989
	voltaje 8	9		3159.0833
	Sig.		1.000	1.000
Duncan <sup>a,b</sup>	voltaje 16	9	2300.1000	
	voltaje 12	9		2749.2989
	voltaje 8	9		3159.0833
	Sig.		1.000	1.000

Fuente: Propia – IBM SPSS.

En las tablas N° 23 y 24, se observa mediante las pruebas Tukey y Duncan los valores máximos de remoción de DQO y DBO<sub>5</sub> con la variable independiente tiempo a intervalos de 20,35 y 45 minutos.

**Tabla 23:** Análisis del tiempo en la DBO<sub>5</sub> con prueba de Tukey y Duncan.

Tiempo	N	Subconjunto		
		1	2	3
HSD Tukey <sup>a,b</sup>	45 min	9	791.1914	
	35 min	9		903.4000
	20 min	9		1029.2778
	Sig.		1.000	1.000
Duncan <sup>a,b</sup>	45 min	9	791.1914	
	35 min	9		903.4000
	20 min	9		1029.2778
	Sig.		1.000	1.000

Fuente: Propia – IBM SPSS.

**Tabla 24:** Análisis del tiempo en la DBO<sub>5</sub> con prueba de Tukey y Duncan.

Tiempo	N	Subconjunto		
		1	2	3
HSD Tukey <sup>a,b</sup>	45 min	9	2593.7500	
	35 min	9		2730.7111
	20 min	9		2884.0211
	Sig.		1.000	1.000
Duncan <sup>a,b</sup>	45 min	9	2593.7500	
	35 min	9		2730.7111
	20 min	9		2884.0211
	Sig.		1.000	1.000

Fuente: Propia – IBM SPSS.

#### IV. DISCUSIÓN

Aparte de caracterizar los parámetros de DBO<sub>5</sub> y DQO como indicadores de carga orgánica presente en el agua residual, para el presente estudio, también se conoció el valor del pH y conductividad eléctrica, ya que según Arango (2005), ambos se relacionan con el tipo de electrodo que se utiliza y son variables claves en la eficiencia de remoción.

El pH de la presente investigación fue ligeramente ácido de 4.7, similar resultado a Mayta J. y Mayta R. (2017), con 4.22. Así mismo la conductividad eléctrica fue baja; 6.23 mS/cm, presentando igualdad con las aguas residuales de curtiembre del proceso de recurtido de García y Rodríguez (2017) y Serrano (2017) con valores de 8.27 y 10.57 mS/cm, respectivamente.

En la caracterización de la DQO (Tabla N° 05) el valor es de 4063,7 mg/L, resultado diferente a de los estudios de Mayta y Mayta (2017) con 1132 mg/L. Esto se debe a que la muestra residual de Mayta y Mayta (2017) es del proceso de curtido, en el cual, el rango para este parámetro según Miller et al. (1999), está entre 1000 a 2000 mg/L aproximadamente. Diferencia similar encontramos en las investigaciones de, García y Rodríguez (2017) y Serrano (2017), con valores altísimos de 8268 y 6916 mg/L respectivamente, esto se debe a que utilizaron aguas residuales del proceso de recurtido el cual lleva alta concentración de anilinas recurtientes y colorantes para teñir la piel.

Por otro lado, el valor de la DBO<sub>5</sub> está en 1619.4 mg/L, valor distinto se encontró en la investigación de Bermeo (2017) con 177 mg/L, esto se debe a los diferentes procesos que desarrolla la industria de curtiembre, pudiendo verter aguas acidas de los procesos de curtido y recurtido o así también aguas muy alcalinas de los procesos de remojo y pelambre, están condiciones diferenciaran los demás parámetros fisicoquímicos según el porcentaje de agua residual de cada proceso encontrado en el muestro.

De acuerdo a los valores obtenidos del agua residual de la Curtiembre Cuenca S.A.C, descritos anteriormente se pudo deducir que se encuentra en el rango de aguas residuales del proceso de recurtido. (Miller et al. 1999). Debido a este tipo de

agua residual, se discutieron los resultados de disminución de carga orgánica indicada en DBO<sub>5</sub> y DQO.

Los porcentajes de remoción de la DBO<sub>5</sub> está entre los 11,9% a 71.2% promedio, de menor a mayor voltaje e interacción de menor a mayor tiempo de residencia. Barboza (2011), utilizo un rango de voltaje alto de 21 a 23 voltios en un tiempo de 25 minutos, logrando remover 64,8% de DBO<sub>5</sub>, resultado similar al de la presente tesis en 71,2%, sin embargo, en el presente estudio se utilizó un rango menor de voltaje de 8 a 16 voltios, pero mayor tiempo de electrocoagulación de 45 minutos, según Xiangdong, (2011, p. 1161), al aumentar el tiempo en la electrocoagulación existe mayor desprendimiento de iones del electrodo y aumenta la generación de iones hidróxido y sus floculos, lo que permite obtener mejores resultados en la disminución de contaminantes. Evidenciando que el tiempo es un factor importante en la electrocoagulación, lográndose obtener mejores resultados de remoción que utilizando voltajes más altos.

Sin embargo, Benhadji et al. (2011), evaluó la influencia del tiempo en la electrocoagulación, con el mismo tiempo de tratamiento de 45 minutos logrando remover más del 90% de DBO, esto puede haberse llevado a cabo por la combinación de electrodos; en el cátodo aluminio y acero, y en el ánodo aluminio, y menor volumen de capacidad de la celda de electrocoagulación.

Para el caso de la DQO, los porcentajes de remoción se encuentran entre los 18.2% a 46.9 %, de menor a mayor voltaje y de menor a mayor tiempo de reacción. Sin embargo, los autores Deghles y Kurt (2016) y Serrano (2017), a través de un tiempo de reacción de 75 y 60 minutos lograron remover un porcentaje de remoción mayor al del estudio, con 87% y 85.8%, respectivamente. Estos resultados evidencian a que con mayor tiempo de tratamiento se obtienen porcentajes de reducción más altos. De igual manera en el estudio de García y Rodríguez (2017), se evidencia un porcentaje de disminución alto de la DQO, utilizando un caudal de 36 mL/min a una densidad de corriente de 120 A/m<sup>2</sup>, redujo en un 70.95% dicho parámetro, de dos tipos de efluentes con anilinas distintas.

Por su parte Mayta R. y Mayta J. (2017) describieron condiciones de operación similares al presente estudio, empleando intervalos de tiempo de 15 a 45 minutos y

voltajes de 5 a 10 voltios y emplearon diluciones de 0 a 2. Asimismo, los resultados son cercanos, obteniendo, con el mayor tiempo de electrolisis de 45 minutos y el mayor voltaje de 10 voltios un 48% de reducción para la DQO. Utilizando 6 voltios menos logró remover 1.1% más de DQO, esto se debe a que la muestra residual presenta mayor conductividad de 36.05 mS/cm, lo que facilita la reacción de la corriente eléctrica en el medio acuoso.

Del mismo modo que el tiempo influye en la remoción de la carga orgánica, con la investigación de Ait (2012), en la cual empleó 2 horas y media de electrólisis pero la intensidad de corriente fue baja de 1,5A, se discutió que el potencial de energía tiene relación directa con el tiempo de reacción, ya que, si se utiliza tiempos considerables de tratamiento y se eleva la cantidad de corriente y potencial energético suministrada al reactor proporciona buenos resultados de disminución de los contaminantes. Pero al aumentar el tiempo y trabajar con condiciones energéticas bajas según el agua residual del estudio y los contaminantes de este trabajo, se obtienen bajos niveles de remoción.

Por lo tanto, con los estudios presentados, se infiere que existe influencia, de mayor tiempo a mayor remoción de contaminantes, así como aplicando altos voltajes aumenta el porcentaje de reducción de la DBO<sub>5</sub> y DQO del agua residual de curtiduría.

## **V. CONCLUSIONES**

- El tiempo y el voltaje influyen en la disminución de la carga orgánica medida en DBO<sub>5</sub> y DQO en 71.2% y 46.9%, respectivamente.
- Las condiciones óptimas de remoción por electrocoagulación, se obtuvieron a 45 minutos de tratamiento.
- Las condiciones óptimas de remoción, por electrocoagulación, se obtuvieron aplicando 16 voltios.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Investigar la relación de la conductividad y el pH en aguas acidas del sector curtiduría, como son los procesos de curtido y recurtido.
- Añadir el análisis de Carbono orgánico total (COT), como tercer indicador de la carga orgánica a fin de obtener un resultado más amplio y veraz de este contaminante.
- Investigar nuevos electrodos o la combinación de electrodos de diferente naturaleza a fin aumentar el porcentaje de remoción de las aguas residuales del sector curtiduría y demás industrias.
- Calcular el consumo de energía de cada reactor electroquímico construido.
- Investigar la eficiencia de manipular las demás variables electroquímicas a fin de poder utilizar niveles bajos de voltaje y amperaje y la remoción sea óptima.
- Se recomienda adicionar al método, un sistema de energía eólica o fotovoltaica a fin de reducir los niveles de consumo energético.
- Por la generación de lodos en la parte superior del reactor, se sugiere la construcción de celdas electroquímicas con áreas de recepción de lodos y precipitados.
- Investigar el tratamiento y manejo adecuado de los lodos residuales, resultantes del proceso de electrocoagulación.

## **VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

AGUILAR, M [et al]. Tratamiento físico de aguas residuales, coagulación-floculación [en línea]. 1° ed. Murcia: Universidad de Murcia, Servicios de Publicaciones, 2002 [Fecha de consulta: 01 de diciembre del 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=8vlQBXpvhAUC&printsec=frontcover&dq=coagulation+y+floculacion+quimica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjZ8-nF2InYAhVJNSYKHbpAAmQQ6AEIJjAA#v=onepage&q=coagulacion%20y%20floculacion%20quimica&f=false>.  
ISBN: 848371208

Ait, Y [et al]. Integración de electrocoagulación y adsorción para el tratamiento de aguas residuales de curtiduría - El caso de una fábrica argelina, Rouiba. *Procedia Engineering* [en línea]. 2012, n.º 33. [Fecha de consulta]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581201212X>  
ISSN: 1877-7058

ANDIA Cárdenas, Yolanda. Tratamiento de agua, floculación y coagulación. Informe Institucional [en línea]. Lima: SEDAPAL. 2000. [Fecha de Consulta: 05 de noviembre del 2017]. Disponible en: [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

Arango, A. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de investigación* [en línea]. Enero-junio 2005, n.º 2. [Fecha de consulta: 11 de octubre de 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/695/69520109.pdf>  
ISSN: 1794-4449

ARBOLEDA, J. y HERRERA, P. “Evaluación de un proceso de electrocoagulación en un reactor tipo Batch para la remoción de cromo hexavalente (Cr<sup>6+</sup>) con electrodos de aluminio – aluminio y de hierro – aluminio en condiciones de laboratorio “. Tesis (Titulación). Bogotá: Universidad Santo Tomas, 2015, 117 pp.  
Disponible en: <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/613/evaluacion%20de%20un%20proces>

o%20de%20electrocoagulacion%20en%20un%20reactor%20tipo%20batch%20para%20la%20remocion.pdf?sequence=1

ARIAS Cepeda, William German. Remoción de Cromo (III) y DQO a través de electrocoagulación en aguas residuales de la industria curtiembre haciendo uso racional de la energía. Tesis (Magister en ingeniería). Bogotá: Universidad Libre, 2013.

Disponible en:  
<http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7834/AriasCepedaWilliamGerman2013.pdf?sequence=1>

BARBOZA P, Gloria. Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá –Ayacucho Empleando la Técnica de Electrocoagulación. Tesis (Magister en ciencias). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2011. 145 pp.

Disponible en: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/338/1/barboza\\_pg.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/338/1/barboza_pg.pdf)

Benhadji, Amel [et al]. Electrocoagulation y efecto de los materiales del cátodo en la eliminación de contaminantes de aguas residuales de curtiduría de Rouiba. Desalination [en línea]. 2001, n.º 277. [Fecha de consulta: 24 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916411003377>

BERMEO Garay, Martha Mirella. Remoción eficiente de colorante refractario azul MNO reactivo en combinación con vinil sulfónico en aguas residuales mediante técnicas de electrocoagulación y adsorción. Tesis (Doctor en ciencias). Lima: Universidad Nacional de San Marcos, 2017. 171 pp. Disponible en: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/6368>

CASTELLS, Xavier Elias. Reciclaje de Residuos Industriales [en línea]. 2º ed. Madrid: Diaz Santos, 2012 [Fecha de consulta: 08 de noviembre del 2017]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=8yWSZEbQsXgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=8yWSZEbQsXgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

IBN: 9788499693705.

CORREA Maya, Carlos Arturo. Fenómenos Químicos [en línea]. 1º ed. Medellín : Fondo editorial Universidad EAFIT, 2002 [Fecha de consulta: 08 de noviembre del 2017]. Disponible

en: [https://books.google.com.pe/books?id=R4PZP-0z5wkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=R4PZP-0z5wkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

ISBN: 9588173833.

Deghles, Abdalhadi y Kurt, Ugur. Tratamiento de aguas residuales de curtiduría mediante un proceso híbrido de electrocoagulación / electrodiálisis. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* [en línea]. 2016, n.º 104. [Fecha de consulta: 15 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S025527011630040X>

Elabbas, S. [et al]. Tratamiento de aguas residuales de curtiduría altamente concentradas mediante electrocoagulación: influencia de la calidad del aluminio utilizado para el electrodo. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. 2016, n.º 319. [Fecha de consulta: 20 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389415303277>

El-Taweel, Y. Eliminación de iones de Cr (VI) del agua residual mediante electrocoagulación utilizando un electrodo de hierro. *Egyptian Journal of Petroleam* [en línea]. Junio 2015, n.º 24. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062115000355#!>

ISSN: 1110-0621

GARCIA C. y RODRIGUEZ L. Influencia del caudal y densidad de corriente eléctrica en el pH, remoción de Color y DQO de líquidos de recurtido usando electrocoagulación continua. Tesis (Titulación). Trujillo, Universidad Nacional de Trujillo, 2017. 69 pp. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9880>

GONZALES Larios, Enma Silvana. Influencia de la concentración de hidróxido de sodio y temperatura en la extracción de  $\alpha$  queratina del residuo pelo de INVERSIONES HAROD S.A.C. Tesis (Titulación). Trujillo: Universidad Privada Cesar Vallejo, 2016. 61 pp. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/6796>

HIDALGO Togores, Jose. *Tratado de Enología* [en línea]. 2º ed. Madrid: Mundi Prensa, 2011 [Fecha de consulta: 08 de noviembre del 2017]. Disponible en:

[https://books.google.com.pe/books?id=4nLPy0y80OIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=4nLPy0y80OIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

ISBN: 9788484764161.

MANAHAN, Stanley. Introducción a la Química Ambiental [en línea]. 1° ed. España-México: Reverte Ediciones y Universidad Autónoma de México, 2007 [Fecha de consulta: 07 de noviembre del 2017]. Disponible en:

<https://books.google.com.pe/books?id=5NR8DIk1n68C&pg=PA82&dq=coagulacion+y+floculacion+quimica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjZ8->

[nF2InYAhVJNSYKHbpAAmQQ6AEISzAH#v=onepage&q=coagulacion%20y%20floculacion%20quimica&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=5NR8DIk1n68C&pg=PA82&dq=coagulacion+y+floculacion+quimica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjZ8-nF2InYAhVJNSYKHbpAAmQQ6AEISzAH#v=onepage&q=coagulacion%20y%20floculacion%20quimica&f=false).

ISBN: 9683667074 – 8429179070

MAYTA R. y MAYTA J. Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. Rev. Soc. Quim. Perú [en línea]. 2017, n° 03. [Fecha de consulta: 20 de mayo del 2018]. 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)

ISSN: 1810-634X

Miller, S [et al]. Reporte técnico para la industria de Curtiembres en el Perú. TAP – SENREM Project [en línea]. Abril 1999. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/conam/conam.pdf>

MINISTERIO DE LA PRODUCCION (PERÚ). D.S. N° 003-2002, Límites Máximos Permisibles de efluentes para alcantarillado y aguas superficiales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Lima: El Peruano, 2002.

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 domésticas o municipales. Lima: El Peruano, 2013.

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.

Mollah, M [et al]. Electrocoagulación – ciencia y aplicaciones. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. 2011, n.º 84. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/aa0e/42efb11bfef8d29e60faa242f54b19b4b79b.pdf>  
ISSN: 0304-3894

MOZO Valdiviezo, Ronal. Determinación del nivel de cromo hexavalente en los pozos tubulares y efluentes de drenaje de las Lagunas de oxidación, del distrito de Moche, en el periodo Enero - Agosto del 2010. Tesis (Magister en ciencias). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2012. 157 pp.  
Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/5815>

Nizam, M. [et al]. Proceso de electrocoagulación mediante el uso de electrodos de aluminio y acero inoxidable para tratar el cromo total, el color y la turbidez. *Procedia Chemistry* [en línea]. 2016, n.º 19. [Fecha de consulta: 20 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876619616001169>  
ISSN: 1876-6196

NOGUES, Sebastian [et al]. *Energía de la biomasa II (Energías renovables)* [en línea]. 2º Vol. Zaragoza : Prensas Universitarias de Zaragoza, 2010 [Fecha de consulta: 28 de octubre]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=9hq1cQAACAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=9hq1cQAACAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)  
ISBN: 9788492774913.

RONZANO, E. y DAPENA, J.L. *Tratamiento Biológico de las aguas residuales* [en línea]. 1º ed. Madrid: Díaz de Santos, 2002 [Fecha de consulta: 28 de octubre del 2017]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=M0ClCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Tratamiento+Biologico+de+las+aguas+residuales.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi\\_m6fcxonYAhWERSYKHRN2AMIQ6AEIJjAA#v=onepage&q=Tratamiento%20Biologico%20de%20las%20aguas%20residuales.&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=M0ClCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Tratamiento+Biologico+de+las+aguas+residuales.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi_m6fcxonYAhWERSYKHRN2AMIQ6AEIJjAA#v=onepage&q=Tratamiento%20Biologico%20de%20las%20aguas%20residuales.&f=false)  
ISBN: 9788490520147

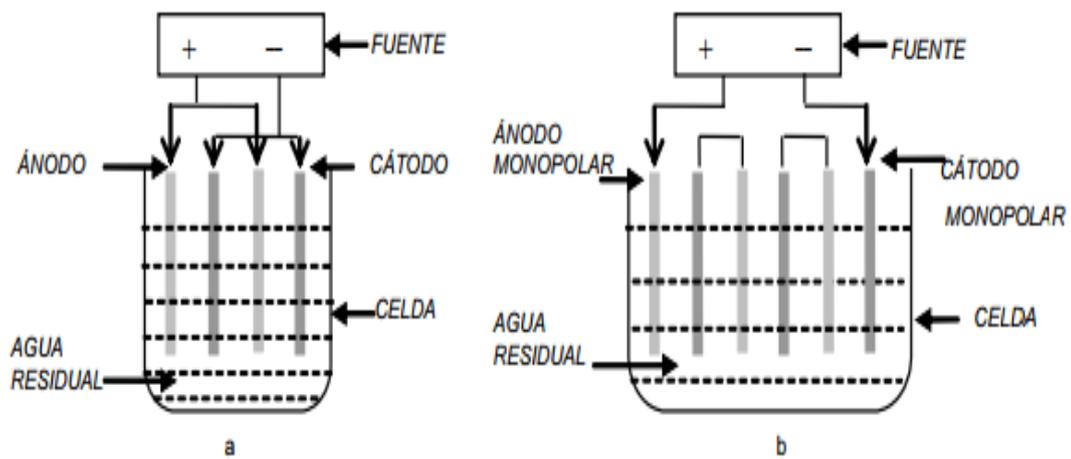
Şengil, I. y Özacar, M. Tratamiento de aguas residuales con tambor de cal y curtiduría, mediante electrocoagulación. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. 2009, n.º 167. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409001174#!>

SERRANO Santa María, Alfonso. Influencia de la densidad de corriente y la distancia entre electrodos en la remoción del color y demanda química de oxígeno de efluentes de recurtido usado la electrocoagulación – ozonificación. Tesis (Titulación). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2017. 115 pp. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9884>.

Xiangdong, Li [et al]. Tratamiento de lixiviado de vertedero utilizando electrocoagulación. *Procedia Environmental Sciences* [en línea]. 2011, n.º 10. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187802961100380X>  
ISSN: 1878-0296

## **VIII. ANEXOS**

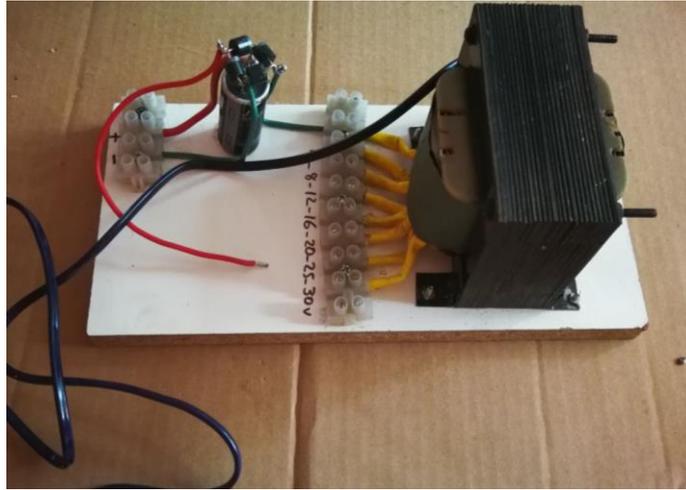
### **ANEXO 1: Equipo de electrocoagulación**



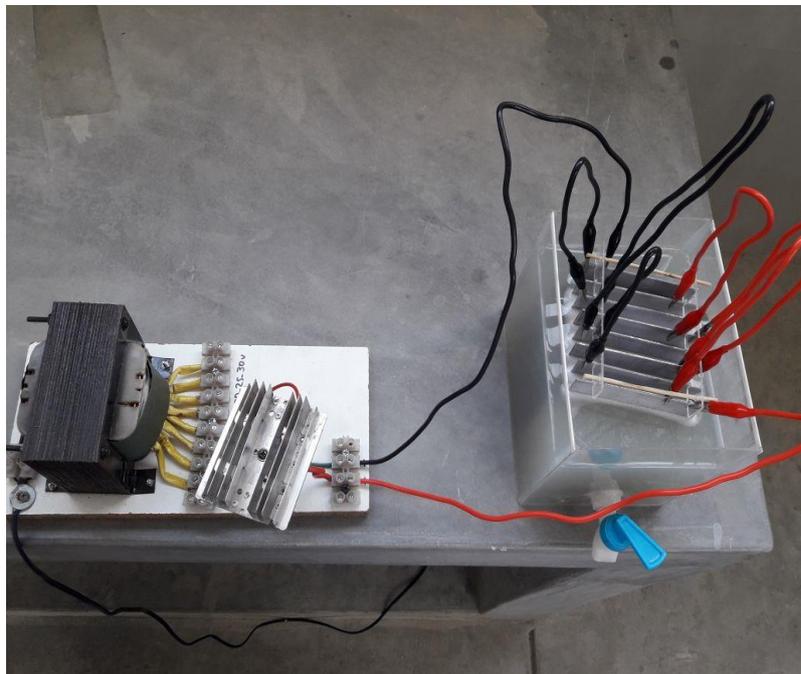
**Figura 6:** Reactor tipo batch



**Figura 7:** Soporte de electrodos



**Figura 8:** Fuente de poder de 10 Amperios y 30 voltios regulable.

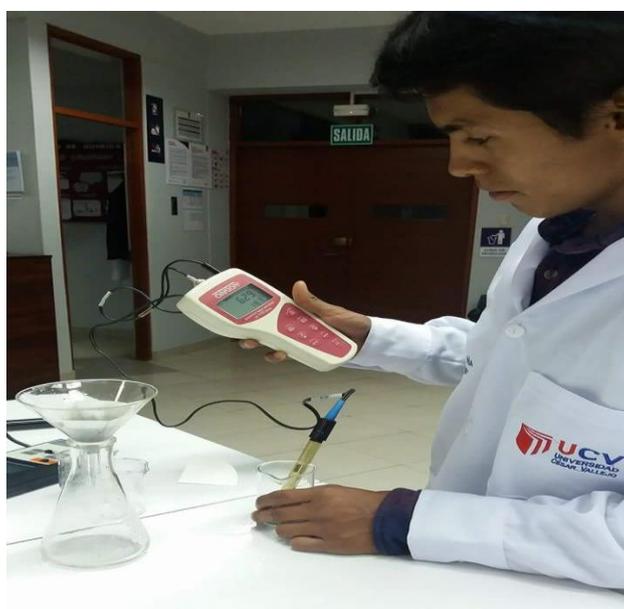


**Figura 9:** Reactor de electrocoagulación

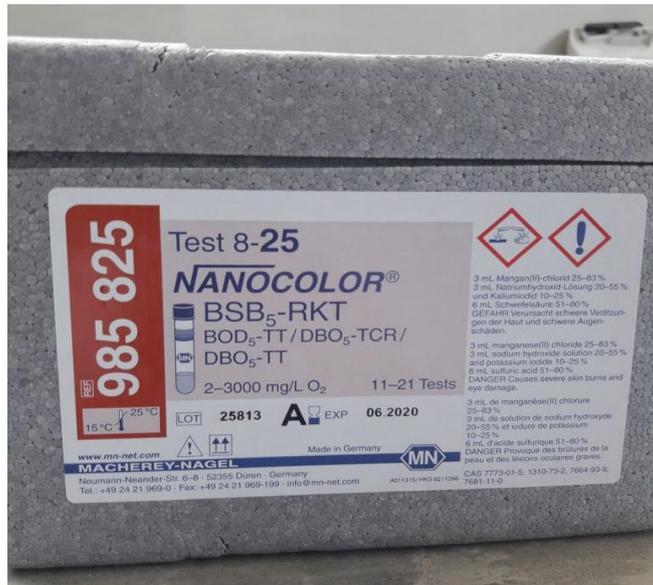
## ANEXO 2: Muestreo en campo y análisis de laboratorio



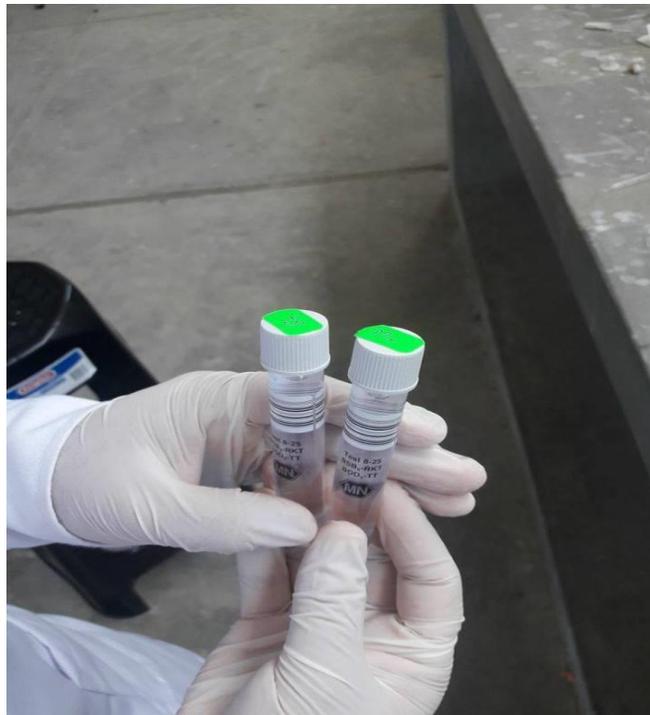
**Figura 10:** Recolección de la muestra residual.



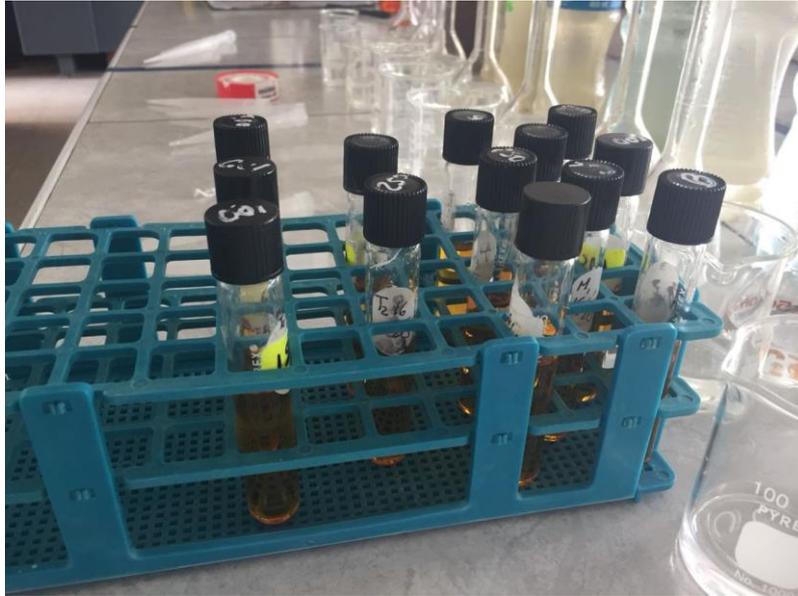
**Figura 11:** Medición de pH y conductividad.



**Figura 12:** Kit para medición de DBO<sub>5</sub>.



**Figura 13:** Viales con muestra residual.



**Figura 14:** Adición de solución digestora en viales de DQO.



**Figura 15:** Digestor con viales para medición de DQO.



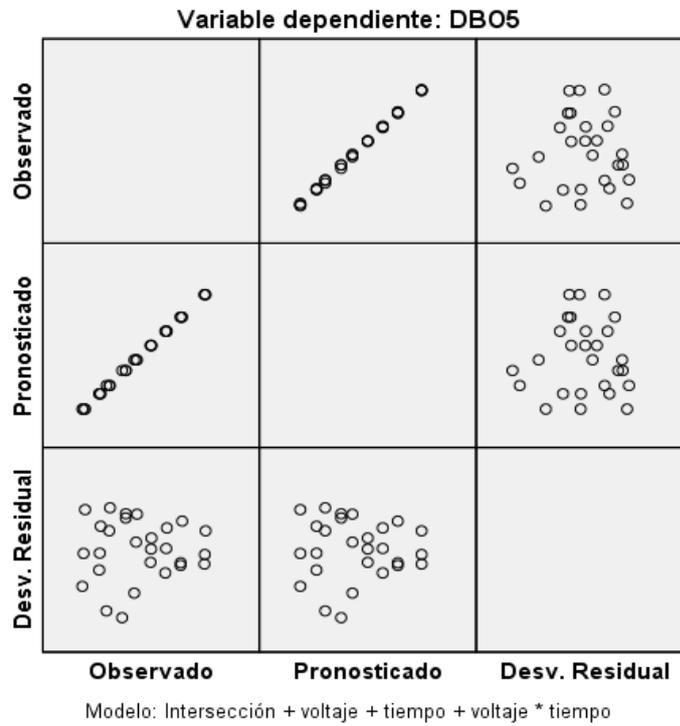
**Figura 16:** Medición de la absorbancia de DQO.



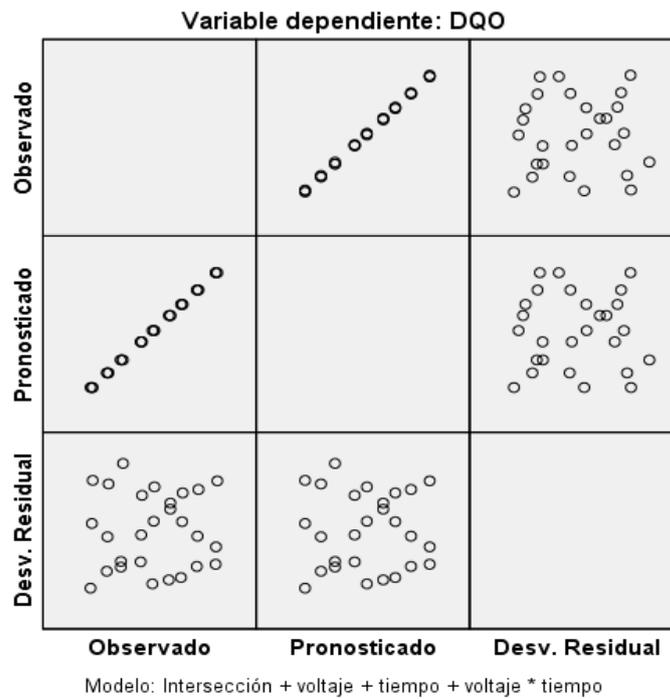
**Figura 17:** Medición de la absorbancia de DBO<sub>5</sub>.

### ANEXO 3

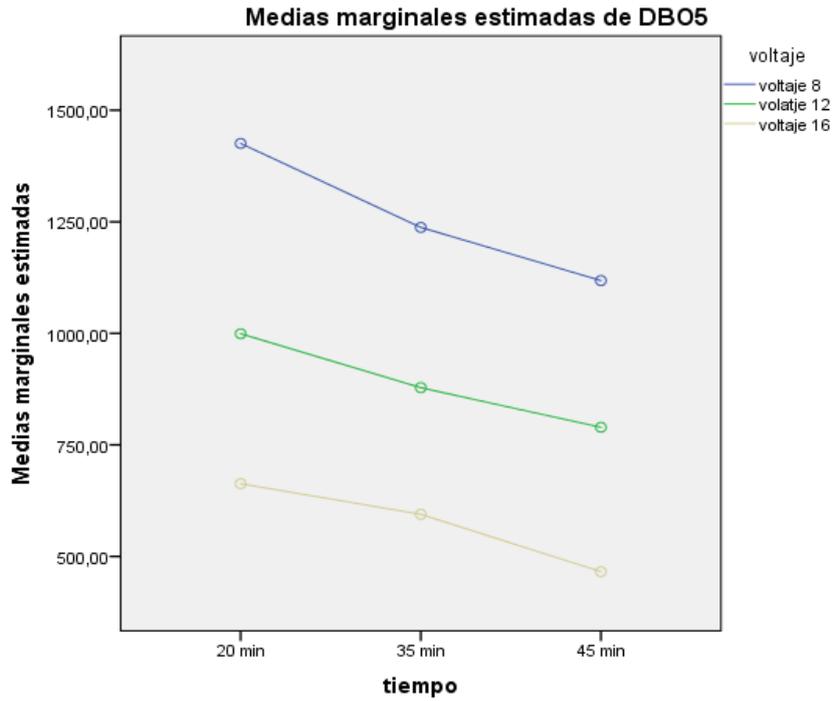
#### Gráficos estadísticos.



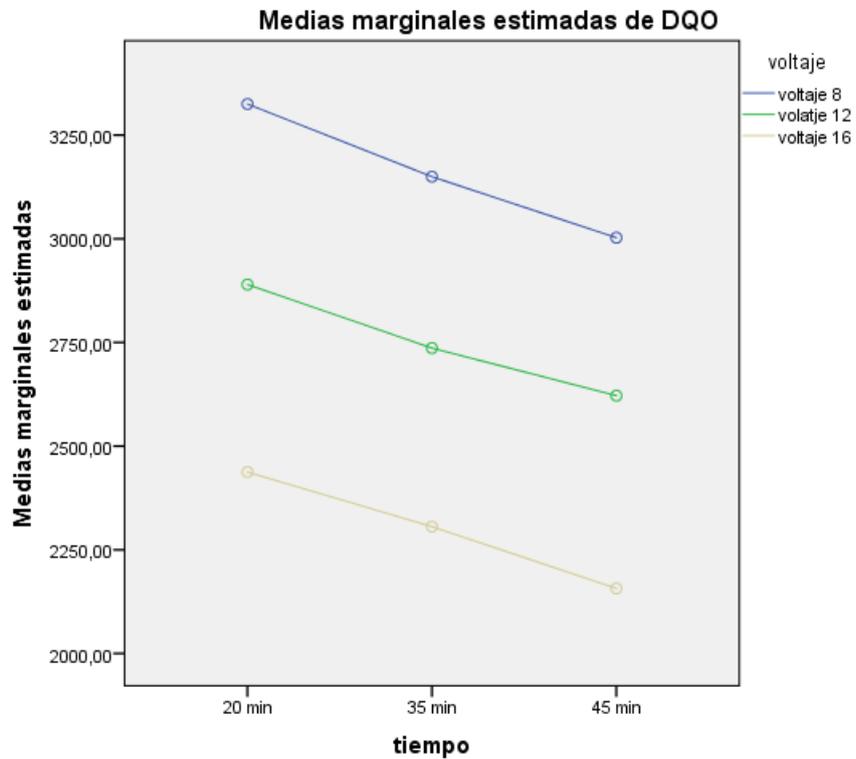
**Figura 18:** Figura de residuos para la DBO5.



**Figura 19:** Figura de residuos para la DQO.



**Figura 20:** Medias marginales estimadas de DBO5.



**Figura 21:** Medias marginales estimadas de DQO.

## ANEXO 4

### Instrumento de recolección de datos

**Tabla 25:** Ficha de observación para el pre-tratamiento.

<b>FICHA DE OBSERVACIÓN</b>	
<b>Título de la Investigación:</b> “Influencia del tiempo y voltaje en disminución de la carga orgánica, por electrocoagulación del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C.”	
<b>Investigador:</b> Antonio de Dios Guerrero Carbajal	
<b>Instrucción:</b> Se deberá analizar la muestra en un plazo no mayor de 24 h.	
<b>Muestra de Agua Residual</b>	<b>Código:</b> ADD-001
<b>Procedencia:</b> CURTIEMBRE CUENCA S.A.C. – TRUJILLO	
<b>Fecha de muestra recolectada en campo:</b>	
<b>Fecha de muestra en Lab:</b>	<b>Condiciones:</b> Muestra Refrigerada.
<b>Procedimiento</b>	
<b>Análisis de DQO:</b> Método Reflujo Cerrado 5220 D	
<b>Análisis de DBO<sub>5</sub>:</b> Método BOD Track 5210	
<b>Datos Obtenidos en la caracterización inicial del volumen de agua residual.</b>	
<b>Medición de la Carga Orgánica</b>	
<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>

**Tabla 26:** Ficha de observación, con los valores de los tratamientos aplicados.

<b>FICHA DE OBSERVACIÓN</b>								
<b>Título de la Investigación:</b> “Influencia del tiempo y voltaje en disminución de la carga orgánica, por electrocoagulación del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C.”								
<b>Investigador:</b> Antonio de Dios Guerrero Carbajal								
<b>Instrucción:</b> Se deberá analizar la muestra en un plazo no mayor de 24 h.								
<b>Muestra de Agua Residual</b>					<b>Código:</b> ADD-001			
<b>Procedencia:</b> CURTIEMBRE CUENCA S.A.C. – TRUJILLO								
<b>Fecha de muestra recolectada en campo:</b>								
<b>Fecha de muestra en Lab:</b>					<b>Condiciones:</b> Muestra Refrigerada			
<b>Procedimiento:</b>								
<b>Análisis de DBO<sub>5</sub> :</b> Método BOD Track 5210								
<b>Análisis de DQO:</b> Método Reflujo Cerrado 5220 D								
<b>Datos Obtenidos con el Tratamiento</b>								
<b>Tratamiento</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Materia Orgánica</b>					
			<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>
<b>1</b>	8 V	20 min						
<b>2</b>	12 V	20 min						
<b>3</b>	16 V	20 min						
<b>4</b>	8 V	35 min						
<b>5</b>	12 V	35 min						
<b>6</b>	16 V	35 min						
<b>7</b>	8 V	45 min						
<b>8</b>	12 V	45 min						
<b>9</b>	16 V	45 min						
			1		2		3	
<b>Repeticiones</b>								





## **ANEXO 6**

### **Materiales**

#### **a. Material de Campo**

- 04 Baldes de 20 lts.
- Frascos recolectores de muestras
- Guantes de látex
- Mascarillas

#### **b. Material de Laboratorio**

- Material de vidrio
- Agua destilada
- Papel filtro
- pH-metro
- Conductímetro
- Espectrofotómetro
- Digestor
- Micro pipetas

#### **c. Reactivos**

- Dicromato de Potasio
- Cloruro de Sodio
- Ácido Sulfúrico
- Ácido clorhídrico 6N
- Hidróxido de Sodio
- Nitrato de Plata.

#### **d. Material para la Construcción del Reactor**

- Placas de Aluminio.
- Laminas de Acrílico.
- Fuente de alimentación de energía continua.
- Voltímetro.
- Amperímetro.
- Cables de conexión.
- Caño pequeño de cilindro.
- Cronómetro.

Yo Antonio de Dios Guerrero Carbajal, identificado con DNI N° 70333965, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, autorizo (X) , No autorizo ( ) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "Influencia del tiempo y voltaje en la disminución de la carga orgánica por electrocoagulación del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C."; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33



FIRMA

DNI: 70333965

FECHA: 24 de Julio del 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

Yo,  
JOSE ALFREDO CRUZ MONZONI  
....., docente de la Facultad INGENIERIA ..... y Escuela  
Profesional Eng. Ambiental de la Universidad César Vallejo Trujillo ..... (precisar  
filial o sede), revisor (a) de la tesis titulada

"INFLUENCIA DEL TIEMPO Y VOLTAJE EN LA DISMINUCIÓN DE  
LA CARGA ORGANICA POR ELECTROCOAGULACIÓN DEL AGUA  
RESIDUAL DE LA CURTIEMBRE CUENCA S.A.C."

.....  
del (de la) estudiante GUERRERO CARBAJAL ANTONIO DE DIOS  
....., constato que la investigación tiene un índice de  
similitud de 7 % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las  
coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis  
cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la  
Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha Trujillo, 03 de Noviembre del 2018



Firma

JOSE ALFREDO CRUZ MONZONI  
Nombres y apellidos del (de la) docente

DNI: 18897837

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------