



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre-Huachipa-2018.”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES

Franklin Rómulo Aguilar Mancco

Allison Palomino Cartolin

ASESOR

Dr. Lorgio Valdiviezo Gonzáles

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Tratamiento y gestión de los residuos

LIMA - PERU

Año 2018 - II

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don  
 (a) Franklin Romulo Aguilar Manco  
 cuyo título es: "Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación  
 de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO  
 de Curtiembre - Huachipa - 2018"

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por  
 el estudiante, otorgándole el calificativo de: 12  
 (Número) Diecisiete (letras).

Lima.....10.....de diciembre del 2018.



Mg. César F. Honores Balcázar



Mg. Carlos Alfredo Ugarte Alván

PRESIDENTE

SECRETARIO



Dr. Lorgio Gilberto Valdiviezo Gonzales

VOCAL

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

### **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a mis padres Carmen y Hugo por su incondicional apoyo en todos los aspectos, a mi abuela Dolores quien en vida hizo que todo esto sea posible. Y a todas aquellas personas que me brindaron su incondicional apoyo, mis hermanos y mi mejor amigo Miguel.

*Allison*

## **Dedicatoria**

El presente estudio está dedicado a un titán de titanes mi padre Rómulo, mis Hermanos Bray Sandy y mi tío Alberto, sin ellos este proyecto solo sería una idea.

*Franklin*

### **Agradecimientos**

Agradezco íntegramente a mi familia por todo su apoyo, esfuerzo y confianza en mi persona a lo largo de mi vida. Ante cada dificultad son mi vida.

A nuestro asesor, el Dr. Lorgio Valdiviezo, por su orientación y apoyo en este proyecto.

*Allison*

### **Agradecimientos**

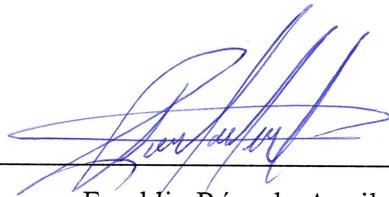
Agradezco por la finalización de este estudio a los ingenieros, familiares amigos que me ayudaron a solucionar las dificultades que se presentaron en la investigación y a sr Emiliano por brindarme la facilitar para realizar los experimentos en su empresa. A nuestro asesor Dr. Lorgio Valdiviezo por ser una guía en cada paso de esta investigación.

*Franklin*

## Declaratoria de autenticidad

Yo Franklin Rómulo Aguilar Mancco con DNI N.º 72222091, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica. 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 César Vallejo.

Lima, 10 de diciembre de 2018



---

Franklin Rómulo Aguilar Mancco

DNI: 72222091

### **Declaratoria de autenticidad**

Yo Allison Palomino Cartolin con DNI N.º 75223923, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica. 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 César Vallejo.

Lima, 10 de diciembre de 2018



---

Allison Palomino Cartolin

DNI: 75223923

## **Presentación**

Señores miembros del jurado, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre-Huachipa-2018.”, cuyo objetivo fue Evaluar el nivel de eficiencia de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) Y DQO de Curtiembre - Huachipa – 2018 y que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental. La investigación consta de seis capítulos. En el primer capítulo se explica y describen las bases, planteamiento y recolección de información para el desarrollo de la presente investigación; en el segundo capítulo se muestra el diseño metodológico y especificaciones técnicas para ejecutar el proyecto, en el tercer capítulo se detallan los resultados de la experimentación a partir de cuadros y pruebas estadísticas. En el cuarto capítulo se explica las discusiones de los resultados obtenidos. En el quinto capítulo se presenta las conclusiones, respondiendo a nuestros planteamientos. En el sexto capítulo se detalla las recomendaciones para futuras investigaciones.



---

Franklin Rómulo Aguilar Mancco

## Presentación

Señores miembros del jurado, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre-Huachipa-2018.”, cuyo objetivo fue Evaluar el nivel de eficiencia de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) Y DQO de Curtiembre - Huachipa – 2018 y que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental. La investigación consta de seis capítulos. En el primer capítulo se explica y describen las bases, planteamiento y recolección de información para el desarrollo de la presente investigación; en el segundo capítulo se muestra el diseño metodológico y especificaciones técnicas para ejecutar el proyecto, en el tercer capítulo se detallan los resultados de la experimentación a partir de cuadros y pruebas estadísticas. En el cuarto capítulo se explica las discusiones de los resultados obtenidos. En el quinto capítulo se presenta las conclusiones, respondiendo a nuestros planteamientos. En el sexto capítulo se detalla las recomendaciones para futuras investigaciones.



---

Allison Palomino Cartolin

## Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar el nivel de eficiencia de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) Y DQO de Curtiembre - Huachipa – 2018. Se planteó bajo la perspectiva de un diseño completo al azar (DCA) siendo dieciséis tratamientos con tres repeticiones y como unidad experimental la celda de electrocoagulación de flujo continua. Se construyó un prototipo a escala de laboratorio para un régimen continuo, con una capacidad de 2 litros. Los electrodos fueron de aluminio y hierro con una distancia entre placas de 10mm. Se realizó utilizando diferentes intensidades de corriente, siendo estos:  $I_1=6A$ ,  $I_2=7A$ ,  $I_3=8A$  y  $I_4=9A$ ; las pruebas se ajustaron a 4 valores de tiempo:  $t_1=15min$ ,  $t_2=20min$ ,  $t_3=25min$ ,  $t_4=30min$ . Se lograron porcentajes de remoción de 84.96% para Cromo (VI) y 80.53% para DQO. Se determinó que las condiciones óptimas son la aplicación de una intensidad de corriente de 9A en un tiempo de 20 min. Se calculó una velocidad de remoción de  $-1.9764 \times 10^{-8}$  M/s para Cromo (VI) y  $-1.274 \times 10^{-5}$  M/s para DQO; así mismo se halló que el orden de reacción es de primer orden. Se estimó que el costo de operación de una celda electroquímica es S/. 7.70 por cada  $m^3$  de agua tratada; a partir de los obtenido en el prototipo al tratar 2L que incluye el costo de energía que equivale a S/. 0.004 y el costo del electrodo S/. 0.0037.

La aplicación de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para el tratamiento de efluente residual de la industria curtiembre, en la etapa de curtido al cromo es eficiente en la remoción de DQO y Cromo (VI), debido a las características fisicoquímicas del efluente. Se recomienda para próximas experimentaciones de electrocoagulación, implementar mecanismos de agitación o hidráulicos, para mayores efectos de eficiencia.

**Palabras clave:** Flujo continuo, Velocidad de reacción, electrocoagulación.

## Abstract

The objective of the research was to evaluate the level of efficiency of a continuous flow electrocoagulation system for the removal of chromium (VI) and COD from tannery - Huachipa - 2018. It was raised from the perspective of a complete random design (DCA) being sixteen treatments with three repetitions and as an experimental unit the continuous flow electrocoagulation cell. A prototype was built on a laboratory scale for a continuous regime, with a capacity of 2 liters. The electrodes were aluminum and iron with a distance between plates of 10mm. It was carried out using different current intensities, these being:  $I_1 = 6A$ ,  $I_2 = 7A$ ,  $I_3 = 8A$  and  $I_4 = 9A$ ; the tests were adjusted to 4-time values:  $t_1 = 15min$ ,  $t_2 = 20min$ ,  $t_3 = 25min$ ,  $t_4 = 30min$ . Removal percentages of 84.96% for Chromium (VI) and 80.53% for COD were achieved. It was determined that the optimal conditions are the application of a current intensity of 9A in a time of 20 min. A removal rate of  $-1.9764 \times 10^{-8} M / s$  for Chromium (VI) and  $-1.274 \times 10^{-5} M / s$  for COD was calculated; likewise, it was found that the reaction order is of the first order. It was estimated that the cost of operating an electrochemical cell is S /. 7.70 for each m<sup>3</sup> of treated water; from those obtained in the prototype when dealing with 2L, which includes the energy cost equivalent to S /. 0.004 and the electrode cost S /. 0.0037.

The application of a continuous flow electrocoagulation system for the treatment of residual effluent from the tannery industry, in the stage of chromium tanning, is efficient in the removal of COD and Chromium (VI), due to the physicochemical characteristics of the effluent. It is recommended for future electrocoagulation experiments, to implement agitation or hydraulic mechanisms, for greater efficiency effects.

**Keywords:** Continuous flow, reaction rate, electrocoagulation.

## ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	17
INTRODUCCIÓN.....	17
I. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1 Realidad Problemática.....	19
1.2 Trabajos previos.....	20
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	25
1.3.1. Procesos de tratamiento de aguas residuales generadas en el curtido al cromo.....	25
1.3.2 Industria del cuero .....	41
1.3.2.2.3 Legislación ambiental .....	52
1.4 Formulación del problema .....	58
1.5 Justificación del estudio .....	58
1.6 Hipótesis .....	60
1.7 Objetivos .....	61
CAPÍTULO II.....	62
MÉTODO.....	62
II. MÉTODO .....	63
2.1 Diseño de investigación .....	63
2.2 Variables, Operacionalización .....	64
2.2.1 Variables .....	64
2.2.2 Operacionalización de variables .....	64
2.3 Población y Muestra.....	65
2.3.1. Unidad de estudio.....	65
2.3.2. Población .....	65
2.3.3. Muestra .....	65
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad. ....	65
2.4.1 Técnica de recolección de datos .....	65
2.4.2. Instrumento de recolección de datos .....	65
2.4.3 Validez y Confiabilidad .....	65
2.5 Método de análisis de datos .....	66
2.5.1 Metodología del desarrollo del proyecto .....	66
Figura N°9: Ensayos Preliminares Electroflotacion .....	68
Figura N°10: Montaje del sistema de electrocoagulación de flujo continuo.....	74
2.5.2 Metodología de análisis de datos.....	75

Fuente: Elaboración propia .....	75
<b>2.6 Aspectos Éticos</b> .....	76
<b>CAPÍTULO III</b> .....	77
<b>RESULTADOS</b> .....	77
<b>III. RESULTADOS</b> .....	78
<b>3.1. Caracterización del efluente</b> .....	78
<b>Tabla N°14: Resultados del análisis fisicoquímico de las muestras del efluente de la etapa de curtido al cromo.</b> .....	79
<b>3.2 Análisis de las muestras tratadas por electrocoagulación</b> .....	79
<b>3.2.1. Parámetros fisicoquímicos</b> .....	79
<b>Tabla N°16: Resultados finales de DQO de los tratamientos</b> .....	82
<b>3.3. Prueba de Hipótesis</b> .....	90
<b>3.4. Cinética de degradación a partir de la optimización de parámetros</b> .....	95
<b>3.4.1. Cinética para la remoción de Cromo (VI)</b> .....	95
<b>3.4.2. Cinética de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b> .....	97
<b>3.5. Análisis de costo</b> .....	98
En la <b>tabla Tabla N°20</b> se observa los costos de diferentes experimentos en la reducción de DQO y Cromo (VI) de un efluente de recurtido de la industria del cuero .....	102
<b>IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	103
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	105
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	106
<b>VII REFERENCIAS</b> .....	107

## INDICE DE TABLA

Tabla N°1: Insumos para el curtido de pieles .....	50
Tabla N°2: características de las diferentes corrientes de agua .....	55
Tabla N°3 Valores máximos admisibles para descarga a un sistema de alcantarillado sanitario .....	56
Tabla N°4: generalidades del cromo .....	56
Tabla N°5: generalidades del cromo(VI) .....	57
Tabla N°6: cuadro comparativo de cromo trivalente y hexavalente .....	58
Tabla N°7: valores diferentes en el proceso de electrocoagulación para distintos efluentes residual .....	59

Tabla N°8: juicio de expertos.....	69
Tabla N°9: parámetros evaluados y metodología de análisis.....	70
Tabla N°10: características de la celda.....	75
Tabla N°11: materiales para la construcción de la celda .....	75
Tabla N°12: total de tratamientos.....	80
Tabla N°13: ANOVA modelo factorial con dos factores (con replicación).....	81
Tabla N°14: resultados del análisis fisicoquímico de las muestras del efluente de la etapa de curtido al cromo.....	84
Tabla N°15: resultados finales de DQO de los tratamientos.....	85
Tabla N°16: resultados finales de DQO de los tratamientos.....	87
Tabla N°17: resultados finales de DQO de los tratamientos.....	90
Tabla N°18: resultados finales de DQO de los tratamientos.....	92
Tabla N°19: resultados finales de DQO de los tratamientos.....	94

#### Índice de figuras

Figura N°1: Mecanismo de electrocoagulación.....	34
Figura N°2: Electrodisolución del ánodo.....	35
Figura N°3: Componentes de un reactor.....	36
Figura N°4: Tipos de reactores de electrocoagulación.....	42
Figura N°5: Procesos de curtido de pieles.....	45
Figura N°6: Reticulación lateral del sulfato de cromo con colágeno.....	49
Figura N°7: Proceso de producción de y sus efluentes residuales.....	55
Figura N°8: Ensayos preliminares.....	71
Figura N°9 Ensayos preliminares.....	71
Figura N°10: Ensayos preliminares Electroflotacion.....	72

## Índice de anexos

Anexo N° I: Matriz de operacionalización de variables.....	119
Anexo N° II: Matriz de consistencia.....	121
Anexo N° III: Ficha de recolección de datos.....	123
Anexo N° IV: Ficha de Recolección de Datos cinética Química.....	124
Anexo N° V: Plano y Montaje.....	125
Anexo N° VI: Dimensiones del electrodo.....	126
Anexo N° VII: Muestreo y análisis de las muestras obtenidas en la experimentación.....	127
Anexo N° VIII: Resultados del laboratorio.....	128
Anexo N° IX: Panel Fotográfico EC.....	136

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## I. INTRODUCCIÓN

La creciente contaminación de fuentes de aguas superficiales por vertimientos industriales es exponencial, traducido en los impactos que son generados, así como: la alteración química de la calidad del agua y pérdida de especies acuáticas. Desde una perspectiva ambiental Benítez, N. (2016), indica que las curtiembres vierten grandes volúmenes de contaminantes a los alcantarillados y cuerpos naturales de agua, producto del aprovechamiento de las pieles para producir cuero.

Una de las principales problemáticas es el empleo de sales de cromo (III) con su posible oxidación a cromo (VI). El cromo posee características tales como: difícil biodegradación, persistencia en el medio y acumulación en el tiempo (GREENPEACE, 2012). Sin embargo, este metal es muy utilizado ya que previene la descomposición de las pieles y le brinda cualidades al cuero como flexibilidad, durabilidad y resistencia a la humedad.

Con la finalidad de reducir, mitigar y/o eliminar la contaminación asociada a los vertimientos de efluentes de curtiembres, en vista; de que los niveles de concentración sobrepasan los valores máximos admisibles (D.S. 021-2009-VIVIENDA) para vertimiento en alcantarillados, para cromo total 10mg/l, para cromo (VI) 0.5 mg/l y para DQO 1000 mg/l; se ha emprendido la toma de acciones para evaluar los niveles críticos de contaminación por cromo, debido a su alta toxicidad, y contrarrestar la problemática a partir de la aplicación de nuevas tecnologías que como menciona Acosta, G.(2013) son eficientes y de bajos costos de tratamiento; por tanto siendo la electrocoagulación una técnica con estas características, es óptimo abordar su ejecución.

Por tanto, la presente investigación está referida a la aplicación de un sistema de Electrocoagulación de flujo continuo; definido según Restrepo, L. (2006), como un método electrolítico que permite la remoción de contaminantes mediante la inducción de energía eléctrica a través de placas metálicas que funcionan como ánodo y cátodo en un medio acuoso que implica una desestabilización de partículas con consecuente neutralización de cargas permitiendo la formación, suspensión y precipitación de flóculos; así mismo Soberanis, M.(2011) indica que una de sus principales ventajas es que la producción de lodos se reduce hasta en un 50%, conllevando a una reducción notable de la concentración de los sólidos disueltos.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el nivel de eficiencia de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) Y DQO de Curtiembre - Huachipa - 2018. Se plantea como hipótesis general que, la evaluación de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo tiene una eficiencia mayor a 80% para la remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre – Huachipa, 2018. Por lo cual se busca demostrar la eficiencia del tratamiento a partir de la optimización de los parámetros operacionales de la celda (intensidad de corriente y tiempo), así mismo evaluar la cinética química de los contaminantes (Cromo VI y DQO), y determinar el análisis de costo que involucra la funcionalidad del sistema.

En lo que concierne a la metodología, la investigación es experimental con un diseño factorial, teniendo como variable independiente: Electrocoagulación de flujo continuo, en su dimensión optimización de parámetros, que será evaluada a partir de dos factores (Intensidad de corriente y tiempo) y 4 niveles respectivamente; para la remoción de cromo (VI) y reducción de DQO.

## **1.1 Realidad Problemática**

El sector curtiembre representa una de las industrias más contaminantes; y anualmente se derivan grandes cantidades de dinero para su mitigación y prevención. Con la finalidad de cumplir la normativa ambiental vigente que establece cada país. Esto debido a que el 80% de las curtiembres emplean sus procedimientos a base de cromo, y tan solo el 20% recurren al uso de taninos vegetales.

A escala mundial, se han presentado diferentes sucesos producto de la contaminación por Cromo (VI). En el 2013, el Instituto Blacksmith presentó las ciudades con más altos índices de contaminación en el mundo; donde cabe resaltar Bangladesh, ya que en esta ciudad se ubican 270 curtiembres, las cuales alarmantemente vertían 22 000 litros de efluentes residuales al río que abastecía dicha población.

BÉNITEZ, N. (2016) indica que el proceso de curtido de pieles es evidenciado por el vertimiento de elevados volúmenes de desechos químicos y orgánicos, así como por la emanación gaseosa de compuestos que se volatilizan provocando olores desagradables; que impactan negativamente en el ambiente natural y la salud de la población. Por otro lado, se

le considera una industria contaminante neta, por procesar un material que posee características putrescibles y de biodegradación lenta. Y estos impactos son magnificados según Chávez, A. (2010), cuando las industrias del cuero usan sales de cromo en sus procesos, ya que tienden a generar elevados volúmenes de efluentes con alta concentración de este metal, que por legislación ambiental debe ser removido; antes de ser vertido a una red de alcantarillados o en el peor de los casos a un cuerpo natural de agua. Además, Lazo, E. (2017) aduce que el hecho de que dichos efluentes sean una combinación altamente compleja de compuestos inorgánicos y orgánicos incrementa la toxicidad de los contaminantes.

La etapa de curtido se efectúa con la aplicación de sulfato de cromo sobre las pieles en remojo, y según indica Muñiz, J. (2016) el porcentaje de retención del compuesto por parte de las pieles se da en el rango de entre 60 y 70%, siendo la diferencia vertida en los sistemas de alcantarillado o sobre algún río cercano.

En el Perú, Pinedo, R. (2012) menciona que el sector de curtiembres enfrenta un estado crítico; por el crecimiento urbano, la oferta y demanda del cuero, y la legislación ambiental; por lo que la informalidad se ha tornado una realidad. Frente a esto Huamani, T. (2014) mencionó que para el año 2012, se identificaron 60 curtiembres, siendo ubicadas el 50% de estas en Lima. En Santa María de Huachipa, la informalidad del sector; impacta negativamente sobre las aguas superficiales (Río Huaycoloro, que desemboca en el Río Rímac) por adición de contaminantes producto del proceso de Curtición.

Tal como menciona Melgar, A. (2016), es probable que, debido al alto costo de instalación y sostenimiento de tecnologías de tratamiento, sea el factor más importante que evite que pequeñas empresas peruanas lo adopten. Por tanto, el sector productivo que trabaja con cromo continúa generando grandes volúmenes de efluentes con elevadas concentraciones de dicho metal.

## **1.2 Trabajos previos**

Mayta, R. (2017), en su trabajo de investigación planteo como objetivo estudiar el efecto del proceso de electrocoagulación por lote en la remoción de cromo III y DQO de las aguas residuales de curtiduría. El método aplicado es la electrocoagulación en una celda de

capacidad 1,3 L y distancia entre electrodos de 1 cm, el proceso se ejecuta teniendo concentraciones iniciales de pH 4,22, DQO 1132 mg/L, cromo III 1470 mg/L y conductividad 13,05 S/m. El autor observó incremento de pH, temperatura y reducción de conductividad, al finalizar el estudio obtuvo los siguientes resultados: en un tiempo de 45 minutos, pH 6,54, y dilución 2, la remoción de cromo III 97,72% Y DQO 47,78%.

López, M.(2016), en su tesis establece como objetivo evaluar el efecto de un tratamiento por electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio en un efluente proveniente del laboratorio del cuero del Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC, A.C.).Aplica el método de electrocoagulación con electrodo de aluminio y hierro, teniendo condiciones iniciales de pH 7, DQO 533.33 mg/L, conductividad 41.3 S/m, en una celda de capacidad de 1L. Al finalizar el procedimiento obtiene una disminución de DQO 72.46%, aplicando una densidad de corriente de 28 mA/cm<sup>2</sup> en un tiempo de 60 minutos.

García, M & Rodríguez, E. (2017), en sus tesis plantea remover la DQO y color de dos tipos de efluente de la etapa de recurtido de la empresa CURTIEMBRE ECÓLOGICA DEL NORTE E.I.R.L, aplicando el método de electrocoagulación continua en una celda de capacidad de 1.5 litros, así mismo inicia el proceso teniendo las siguientes condiciones, caudal de entrada de 36 ml/min, densidad de corriente de 120 A/ m<sup>2</sup>, pH 3.62 de anilina y distancia entre electrodos de 0.5 cm, al finalizar el procedimiento obtiene la disminución de DQO 63.5% en un tiempo de 60 minutos.

Arias, W. (2013), en su tesis llevo a cabo el proceso de electrocoagulación a escala laboratorio para disminuir los niveles de Cromo y DQO, contaminantes presentes en los efluentes de una curtiembre en la región de Cundiboyacense. Teniendo como variables experimentales: pH 5 a 7, amperaje de corriente eléctrica de 2,1 A a 3,6 A e hizo uso de dos tipos de corrientes: corriente continua y corriente alterna. Como efecto de la aplicación de ambas corrientes se obtuvieron remociones cercanas al 95% de los niveles de Cromo y 70% de los niveles de DQO, tomando un tiempo de 20 min. Las muestras que fueron utilizadas se obtuvieron de un tanque de almacenamiento sin previo tratamiento de una empresa dedicada al rubro del curtido de pieles. Se caracterizo los efluentes inicialmente: pH de 3.78, Cromo de 2690 mg/l, DQO de 2380 mg/l y conductividad de 430 mS/cm<sup>2</sup>. Para evaluar la cinética, se extrajeron muestras cada 5 minutos hasta llegar a los 25 minutos de tratamiento.

Arboleda, J & Herrera, P (2015), en su trabajo de tesis , hace uso de un reactor de tipo discontinuo con capacidad máxima de 1936 mililitros, su diseño experimental consistió en realizar diferentes ensayos con respecto a la variación del material de los electrodos (hierro y/o aluminio), teniendo tres niveles con respecto a las distancias entre electrodos de 5mm, 10mm, 15mm y la variación de pH inicial (4, 6 y 8); estos experimentos se llevaron a cabo con un tiempo constante de operación de 30 minutos, una agitación de 390 rpm que evitaría la polarización de los electrodos, además considero un tiempo de sedimentación igual a 60 minutos. En la evaluación final de los niveles de eficiencias de remoción determinó que las condiciones óptimas para la remoción de Cr (VI) por electrocoagulación fueron con electrodos de aluminio, a una distancia entre electrodos de 0.5 cm y un pH inicial de 8. Al evaluar el tiempo de residencia en el electrocoagulador, obtuvo que hay una mayor eficiencia (99%) al cabo de 40 minutos ya que el agua al tener mayor tiempo de contacto con los hidróxidos generados en el reactor, permitió la adsorción del Cr (VI), su desestabilización, la suspensión de partículas, el rompimiento de emulsiones y finalmente la formación de flóculos.

Murillo, A. (2016), en su tesis aplica la técnica de la electrocoagulación con el objetivo de tratar aguas residuales del proceso de cromado de la empresa Recubrimientos Galvánicos de Colombia. Para llevar a cabo esta técnica, construyo una celda electrolítica que funciona tipo Bach, con una capacidad para tratar de 2,2 L con dimensiones de 14 cm de largo, 11 cm de ancho y 18 cm de alto. En su diseño experimental se llevó a cabo 3 ensayos aplicando voltajes de 10,20 y 30. Se emplearon 3 placas de aluminio y tres de hierros que cumplieron la función de electrodos, ubicados a 1 cm de distancia intercalados respectivamente. Con respecto a las características iniciales de la muestra, su temperatura era de 18 °C, nivel de pH igual a 3.0, una conductividad eléctrica de 2mS/cm y concentración de cromo equivalente a 346 mg/L. Se determinó que las variables que presentan mejores resultados fue la aplicación de una intensidad de corriente de 2,20 A y un voltaje de 30V, obteniéndose un porcentaje de remoción de cromo total equivalente al 99%, con un tiempo de 35 min. Con respecto al análisis económico, llevar a cabo esta técnica se valorizo en \$ 8.289.335 tomando en cuenta el costo de materiales y los costos de operación.

Romero, R. (2015), en su trabajo de investigación tuvo como objetivo la recuperación de sulfato de cromo presente en los efluentes residuales de la industria curtiembre. Aplico dos métodos distintos: la electrocoagulación, precipitación química y acidificación. Se realizó

una caracterización fisicoquímica inicial de la muestra, obteniéndose los siguientes valores: niveles de DQO igual a 10000 mg/L, pH 3.5, DBO5 de 11000 mg/L, niveles de Cr+3 de 3200-6000 mg/L; se realizó la comparación con respecto a la normativa ambiental de Ecuador, se obtuvieron valores excedentes de hasta 4000% con respecto a DQO, 4400% de DBO5, 200% de pH y un 650% de sólidos totales, evidenciándose la gran problemática. La metodología de electrocoagulación se llevó a cabo aplicando densidades de corriente de 9, 30 y 76<sup>a</sup>/m<sup>2</sup>; y tiempos de residencia de 15, 30 y 45 min. La celda electroquímica fue de capacidad 8L y se usó electrodos de hierro. Se obtuvo un 21,29% de recuperación de cromo. A partir de esta experimentación se diseñó una planta para recuperar sulfato de cromo (III) teniendo un flujo diario de 15 m<sup>3</sup>, que produce una cantidad de 243 kg por día. Siendo estas cantidades de cromo recuperado equivalente a un ahorro de USD 194 diarios para la industria.

Quispe, O. (2017), en su tesis teniendo como objetivo la evaluación del tratamiento electrolítico como alternativa para la recuperación de cromo (III) de los efluentes de la curtiembre. La metodología se llevó a cabo mediante la aplicación de electrolisis en una celda electrolítica de capacidad de 300 ml provista de una lámina de plomo como ánodo y una lámina de cobre como cátodo. Los electrodos fueron conectados a una fuente de corriente continua. Se usó 1% NaHCO<sub>3</sub> y 1% de HNO<sub>3</sub> como solución electrolítica y se ajustó al pH requerido. El diseño experimental fue de tipo Box-Behnken, lo que permitió optimizar las variables del proceso. Los parámetros operacionales que tuvieron mejores resultados en el proceso de electrodeposición de cromo fueron: 1,10 V, tiempo de electrodeposición de 120 min y pH 4,4. Bajo la optimización de estos parámetros se obtuvo un 98% de recuperación de cromo.

Rodríguez, J (2014) en su estudio de investigación planteó como objetivo diseñar y evaluar a escala laboratorio un dispositivo experimental basado en el proceso de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio de diferente geometría para la remoción de sílice presente en agua de purga de torres de enfriamiento de refinería. El método aplicado para el estudio fue la electrocoagulación, el cual tuvo como electrodos aluminio y hierro separados a un centímetro entre ellas. Para efectuar el estudio se tuvo como condiciones iniciales pH 7.5 y sílice 8.9 mg/L. El estudio demostró la remoción de 93.5% de sílice en un tiempo de 10 minutos, aplicando una intensidad de corriente de 3A, así mismo el análisis de costo para el tratamiento del contaminante es 4.31 dólares el metro cúbico.

Ortiz, M. (2016) en su trabajo de investigación tuvo como objetivo Diseñar una Planta de Tratamiento para Aguas Residuales en la Empresa Curtiembre Aldas. El método aplicado fue la precipitación química con cal, para tal estudio el investigador determino que se reduce la DQO de 11128mg/l a 885mg/l, la DBO5 de 7933mg/l a 635, solidos suspendidos de 1168mg/l a 54mg/l, sulfuros de 161mg/l a 2,5mg/l y el cromo total de 15,2mg/l a 0,05mg/l, con una eficiencia del sistema de tratamiento promedio de 95,57%.por otra parte el investigador concluye que la implantación de un sistema de tratamiento con capacidad de 54 metros cúbicos implica una inversión de 54.00 dólares.

Cisneros, A (2017) en su estudio de investigación tuvo como objetivo de qué manera el uso de la tecnología de electrocoagulación trata al efluente de camal avícola a nivel de laboratorio, SJL 2017.la metodología aplicado fue la electrocoagulación, teniendo en como ánodo hierro y cátodo aluminio separados a una distancia de un centímetro entre ellas. E l auto optimiza parámetros al aplicar voltajes de 20 a 25 en un rango de tiempo de 15 a 30 minutos, para tal fin te tuvo como condiciones iniciales de SST 131,4mg/l, conductividad 3,73ms/cm, pH 6.58, DQO 8439,50mg/l fosforo total 1556,00 mg/l, con el cual logra la remoción de 89,32% en SST, 74.20% de DQO, 76,49% de DBO5, y 96,22% de fósforo total, la mayor remoción de contaminantes se logró en un tiempo de 30 minutos.

Apaza, H. (2018) en su proyecto de investigación tuvo como objetivo Diseñar, construir y evaluar un sistema combinado de electrocoagulación - filtro biológico, para la remoción de carga orgánica del efluente de la planta piloto de leche de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La metodología aplicada para cumplir lo planteado fue la electrocoagulación y filtro biológico con capacidad de 4 litros. Para efectuar el tratamiento del efluente se consideró como ánodo el aluminio y cátodo el hierro, con una distancia de un centímetro entre los electrodos. Por otra parte, se tuvo como condiciones iniciales de la muestra de lacto suero DQO de 69970 mg/L y pH de 6,95, es esas condiciones el autor logro remover 26,6 % de DQO con un pH final de 7.56 en un tiempo de 45 minutos.

Gilpavas. E. (2014) en su estudio de investigación tuvo como objetivo estudiar la electrocoagulación para el tratamiento de efluentes residuales de la industria del cuero y floricultivo, para degradar demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno, midiendo las concentraciones de los contaminantes previo y posterior al tratamiento. Teniendo como método la electrocoagulación tipo Bach, para ello construyo una celda con capacidad de 500 ml, así mismo uso como ánodo aluminio y como cátodo el hierro con una

distancia entre electrodos de 0.5 cm entre electrodos y un área de material de sacrificio de 90 cm<sup>2</sup>, con una agitación de 382 rpm. El autor determino una concentración inicial de cromo trivalente 5456,7 mg/l en un tiempo de 2 horas logro determinar una eficiencia de remoción de cromo trivalente de 81.99%, así mismo logro remover DQO de 603.45 mg/l a 245.5 mg/l el cual es 57.96% en un tiempo de 10 minutos. El tratamiento se da en un voltaje de 13.

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

#### **1.3.1. Procesos de tratamiento de aguas residuales generadas en el curtido al cromo.**

La industria curtiembre es una de las causas principales que originan contaminación por cromo, en vista de que sus efluentes se caracterizan por sus altos índices de este metal (2000–10000 mg/L). Debido a la fácil oxidación del cromo trivalente a hexavalente, es imprescindible su tratamiento.

Existen diversos tratamientos o métodos para eliminar o recuperar el cromo del agua. Robles, A. (2007) afirma que, entre los más tradicionales tenemos la precipitación química, adsorción con carbón activado, oxidorreducción, intercambio iónico, filtración, nanofiltración; sin embargo, estos métodos resultan deficientes debido a la generación de grandes cantidades de lodos que contienen cromo. Por ello, para contrarrestar esta principal problemática, se ha visto como opción tecnológica: la electrocoagulación, fitorremediación, procesos biológicos y tratamientos avanzados.

Agudelo, A. (2007) refiere que el método más aplicado para la recuperación del cromo trivalente consiste en la precipitación del efluente residuo de la etapa recurrido, esto se logra aplicando un insumo químico con propiedades alcalinas. Por otra parte, Bendezú, S. (2005) indica, que el carbón activado del coco es una alternativa de tratamiento para el efluente residual de la etapa cromo.

##### **1.3.1.1. Electrocoagulación**

Barrera, D. (2014) indica que la electrocoagulación ejecuta su tratamiento a partir del uso de la electricidad (por inducción mediante placas metálicas) para eliminar los contaminantes

existentes en el efluente a través de su desestabilización, así mismo este método se aplica para todo tipo de remediación ambiental.

Para Syehia, A. (2015), la electrocoagulación es aplicable para el tratamiento de efluentes residuales de los sectores; textil, urbano, lavandería, industria láctea, galvanoplastia, química, mecánica e industria de curtiembre.

Menciona Ulambayar, R. (2014), que el método es muy eficiente en la remoción de cromo trivalente del sector curtiembre. Según Shivani, B. (2017) La recuperación de cromo hexavalente de la industria por el método de electrocoagulación puede ser usado para la producción de vidrio.

Según Martínez, F. (2007), debido a la aplicación de un diferencial de potencia a la celda, se obtiene la generación de iones disueltos. Por tanto, se evidencia la presencia de:

*Hidróxidos insolubles* por encima de los que son retenidos los contaminantes.

*Hidroxocomplejos catiónicos o aniónicos* que cumplen el rol de desestabilizar las fuerzas repulsivas de electrostática presentes en la materia orgánica, ya sea por neutralización de cargas o por la generación de enlaces intraparticulares.

La electrocoagulación es la aplicación de técnicas para el tratamiento de aguas residuales. Consiste en la remoción de los contaminantes provenientes de diferentes efluentes mediante el principio de coagulación-floculación en un reactor electrolítico, sin embargo, en este proceso no se aplican coagulantes químicos; ya que estos son generados a partir de la oxidación del electrodo de sacrificio. Morales (2015).

Las partículas de contaminantes que se encuentran en un medio acuoso son desestabilizadas, por inducción de corriente eléctrica y posteriormente neutralizadas dando como consecuencia la formación de flóculos o precipitados; a través de placas metálicas que se encuentran en paralelo. Las placas de aluminio y hierro son las más utilizadas. Restrepo, A (2006).

La formación de iones metálicos se lleva a cabo en el ánodo y en el cátodo se da lugar a la liberación de burbujas de hidrogeno en estado gaseoso que permiten y/o potencian la flotación de una determinada cantidad de sustancias floculadas. Arango, A. (2005).

La corriente eléctrica favorece la producción de una serie de reacciones redox a partir de la proporción de la fuerza electromotriz; cuando esto se lleva a cabo, los contaminantes forman componentes de tipo hidrófobos que pueden ser removidos por sedimentación o flotación, así mismo, Vidal, J. (2017) refiere que la optimización de la densidad de corriente es relevante, ya que depende de esta la velocidad de disolución del electrodo de sacrificio.

Según Sáez, C. (2014), un factor relevante comprendido en el proceso de coagulación química y electroquímica es la probabilidad de reducir los niveles de concentración de otros contaminantes, diferentes de la materia coloidal, presentes en el efluente a tratar.

Electrofloculación: Llanos, J. (2014) indica que, dentro de una celda electroquímica, debido a que los coloides presentan carga, favorece el movimiento de estos por el campo eléctrico que producen los electrodos, así como la formación de oxígeno en el ánodo y la formación de hidrogeno en el cátodo, promoviendo una mezcla suave. Todo este proceso facilita la colisión de los coloides; por ende, la floculación se lleva a cabo sin necesidad de aplicar agitación mecánica.

#### ***Electroflotacion:***

Martínez, F. (2007), indica que, debido a la producción de gases por parte de los electrodos, es posible que estos se adhieran al área de contacto de los flóculos; promoviendo un descenso de la densidad del conjunto, favoreciendo así su separación por flotación. Braz, J. (2008) indica que en la Electroflotacion las burbujas se forman por el hidrolisis del agua, este método tiene la capacidad de lograr la flotación de los materiales contaminantes y la coagulación.

A este proceso mencionado se le denomina Electroflotacion, que viene a ser un proceso secundario.

#### **1.3.1.1.1. Electroquímica**

Es la rama de la química que estudia la interrelación y correlación existente entre los procesos químicos y eléctricos que son regidos bajo las reacciones de oxidación y reducción (REDOX), así mismo Sequeira, C. (2018) menciona que en la mayoría de los procesos electroquímicos se desperdicia menos los materiales a tratar que los métodos convencionales.

**Reacción REDOX:** Son procedimientos electroquímicos en el que la energía eléctrica que es inducida en el medio es aprovechada para originar una reacción química no espontánea, según indica Hernández, P. (2011), se llevan a cabo simultáneamente dos semirreacciones, siendo estas la reacción de oxidación y reducción, en las que se genera la transferencia de electrones.

**Oxidación:** reacción que conlleva la pérdida de electrones, incrementándose el estado de oxidación del elemento que se oxida.

**Reducción:** reacción que conlleva la ganancia de electrones, disminuyéndose el estado de oxidación del elemento que se reduce.

El número o estado de oxidación (EOX) es la carga eléctrica que tiene un elemento cuando forma parte de un compuesto o cuando se halla en estado libre.

En una reacción redox, es necesario la presencia de compuestos químicos y/u oxidantes y reductores.

**Oxidante:** elementos o compuesto que recibe o gana electrones para su reducción. Siendo siempre el oxidante aquel elemento que tiende a reducirse.

**Reductor:** elementos o compuesto que entregan, proporcionan, ceden o pierden electrones para su oxidación. Siendo siempre el reductor aquel elemento que tiende a oxidarse.

El número de electrones que cede el un agente reductor debe ser igual al número de electrones recibidos por un agente oxidante.

**Celdas electroquímicas:** Morales, P (2001). indica que una celda electroquímica es un dispositivo que posee la capacidad de producir energía a partir de reacciones químicas o de forma inversa, es decir originar reacciones químicas por inducción de energía eléctrica. Esto a partir de la presencia de dos conductores denominados electrodos, introducidos en una solución electrolítica. Silva, L. (2018) menciona que la geometría de la celda puede ser acondicionada para la producción de ozono electroquímico.

**Electrolisis:** Proceso de separación de sustancias a partir de la inducción de electricidad al medio. El suministro de un potencial eléctrico entre dos electrodos genera una corriente eléctrica que transita a través de la solución.

Para Rodrigo, M. (2014), el efluente en el que se genera la reacción química debe tener cualidades de conducción eléctrica y contener sustancias que tengan la capacidad de oxidarse o reducirse.

**Celdas electrolíticas:** Diongo, M. (2013). Las reacciones químicas que se producen en una celda electrolítica no son espontáneas, por tanto, se requiere la inducción de energía eléctrica para producir el fenómeno de electrolisis. Esta celda posee 2 electrodos: ánodo (carga positiva) y cátodo (carga negativa). Estos electrodos atraen a los iones que poseen cargas opuestas. Por tanto, los cationes son atraídos al cátodo, provocando su reducción y dando origen a la corriente catódica; por otro lado, los aniones son dirigidos por atracción hacia el ánodo, provocando su oxidación y dando origen a la corriente anódica.

Ibáñez, J (2016) menciona que en el lado del ánodo de la celda se produce los insumos químicos para la reducción de los contaminantes, mientras que el cátodo se mantiene estable.

#### **1.3.1.1.2. Ley de Faraday**

Según Morales, A. (2015) La ley de Faraday nos provee de los conocimientos para entender el fenómeno de la electrolisis, ya que dentro de las investigaciones que realizó Michael Faraday se desataron descubrimientos de tipo cuantitativos entre la cantidad de energía eléctrica que transita a través de una solución electrolítica y la cantidad de sustancias que son separadas o precipitadas en los electrodos. Así mismo Faraday realizó el supuesto de que las moléculas neutras que se hallaban en disolución se dividían en dos grandes grupos, ambos cargados contrariamente, a los cuales llamo iones o caminantes. Indicando que los que eran desplazados hacia el cátodo se denominaban cationes, y los que eran desplazados hacia el ánodo eran denominados aniones. Como consecuencia cuando es introducida energía eléctrica en el sistema los iones positivos son atraídos por el cátodo, el cual se encuentra cargado negativamente, donde ocurre el proceso de neutralización de cargas. Por otro lado, el mismo fenómeno ocurre con los aniones.

La primera ley de Faraday postula que durante un tiempo  $t$  (tiempo en el que se da la electrolisis), se generan en los electrodos una determinada cantidad de sustancias  $M$  (las que previamente han sido neutralizadas).

Por tanto, tomando en cuenta la primera ley de Faraday, y considerando el proceso de electrocoagulación, se indica que la cantidad de sustancias que son generadas en un electrodo

son directamente proporcionales a la cantidad de cargas que fluye o transita a través del sistema, así mismo el número total de moles de sustancias formadas en un electrodo están relacionados de forma estequiometria con la porción de electricidad que es acumulada en el sistema.

La primera ley de Faraday es representada mediante la siguiente ecuación:

$$m = \frac{P \times I \times t}{e \times F} \quad (1)$$

*Donde:*

- m: Masa de metal en gramos (g) producida por electrolisis.
- P: Peso molecular del electrodo concerniente (gramos/gramos mol).
- e: Numero de electrones en la reacción de óxido reducción.
- I: Intensidad de corriente en Amperes (A), 1 Ampere = 1 Coulomb segundo.
- t: Tiempo en segundos (s).
- F: Constante de Faraday (96 500 C mol<sup>-1</sup>).

La segunda ley de Faraday establece que la masa de la sustancia que ha sido electrolizada es directamente proporcional a su peso equivalente.

La ley de Faraday postula que la relación principal entre la cantidad de electricidad que transita a través de una solución de tipo electrolítica y el peso del compuesto que se genera por las reacciones químicas que ocurren en los electrodos. Reyes, A. (2003) indica que el número de moles que se producen en el electrodo mientras se lleva a cabo el proceso electroquímico es directamente proporcional a la cantidad de carga que transita en la celda. En vista de que la carga q expresada en columbios es igual a l producto de la corriente expresada en amperios y el tiempo expresado en segundos; siendo F la constante de Faraday, se obtiene el número de moles a partir de: Apraeza, B. (2015). En otras palabras, la ley de Faraday rige el proceso de electrocoagulación, debido a que la cantidad de especies químicas formadas en el electrodo es proporcional a la cantidad de carga eléctrica que pasa a través del sistema, y el número de moles de las especies químicas formadas en el electrodo están relacionados estequiométricamente con la cantidad de electricidad del sistema.

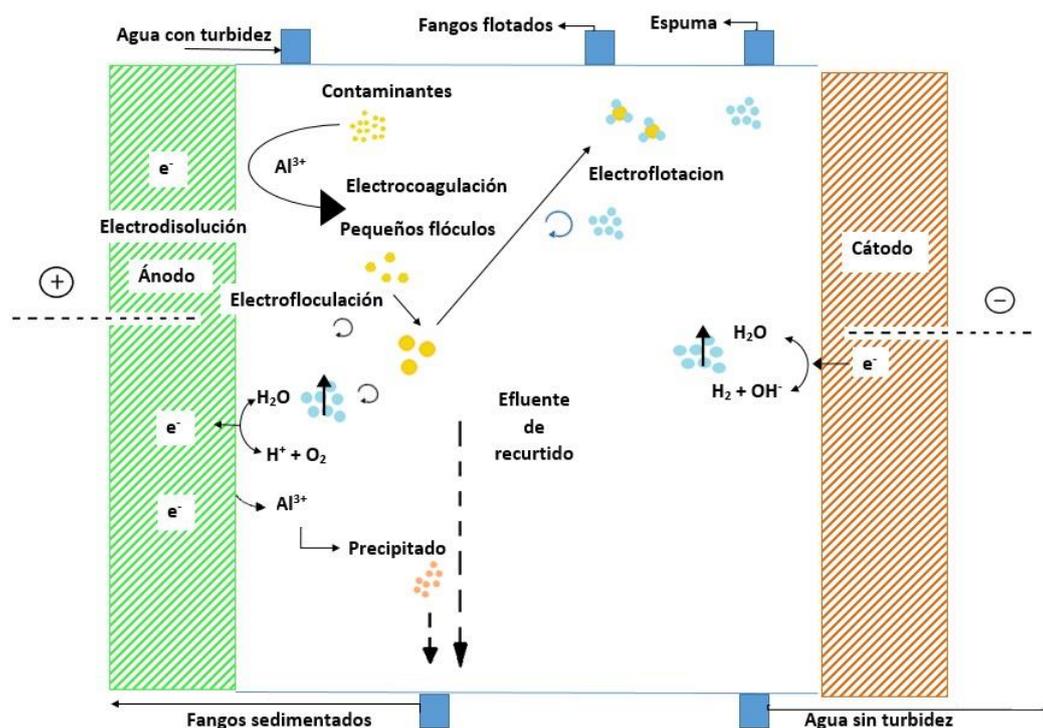
### 1.3.1.1.3. Mecanismos de transferencia de los contaminantes

Según Romero, R. (2015), la electrocoagulación aplica dos principios: electrolisis y coagulación. En la celda electrolítica se produce el coagulante a partir de la oxidación del ánodo (electrodo de sacrificio). Por otra parte, Apaza, H. (2018) indica que el cátodo no tiende a reaccionar por la inducción de corriente eléctrica, mientras que el ánodo dispone a disolverse para generar el agente coagulante.

Riccio, Y. (2015) refiere que en el proceso de Electroflotacion los agentes contaminantes disueltos en el efluente a tratar son estabilizados por los insumos químicos formados a partir del electrodo de sacrificio (ánodo), así mismo las partículas en suspensión producto de la Electroflotacion, son más estables y fáciles de remover, ya sea por decantación o filtración.

En la **Figura N°1** se muestra el proceso de electrocoagulación, etapas y las reacciones presentes.

**Figura N°1: Mecanismo de electrocoagulación**



Fuente: BARRERA, D (2007).

Así mismo, se promueve la formación de oxígeno por oxidación del agua, próximo al ánodo. La reacción de producción de oxígeno se señala en la ecuación 2.



En el cátodo se producen reacciones de reducción del agua, permitiendo la formación de hidrogeno y iones hidróxido; los cuales por atracción van hacia el ánodo.

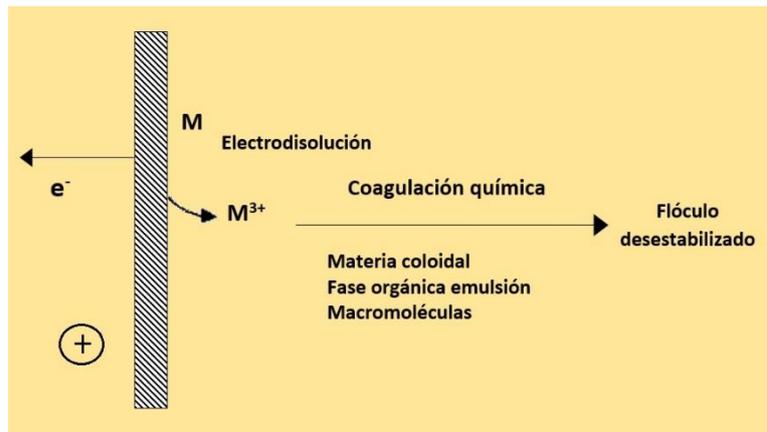
La reacción que origina el hidrogeno se indica en la ecuación 3.



La formación de nuevas especies, se produce debido a que las reacciones (X y Y) ocasionan un perfil de pH en el reactor. Sin embargo, esto no solo dependerá del tipo de electrodos empleados. Sino también de la naturaleza del contaminante.

La **Figura N°2** muestra que, en el proceso de electrocoagulación, se da la electrodisolución del metal en el ánodo. Este metal dotado de valencia positiva, es disuelto en el medio acuoso, que al combinarse con iones  $(OH)^-$ , resulta la formación de hidróxidos. Debido a la neutralización de cargas, se produce la coagulación química y la posterior formación de coágulos que atrapan de forma eléctrica los contaminantes.

**Figura N°2: Electrodisolución del ánodo**



*Fuente: Martínez, S (2007)*

Las reacciones REDOX se dan en los electrodos de la siguiente forma:

Según Jarrín, S. (2010):

Reacción del aluminio usado como ánodo



Formación de oxígeno en el ánodo



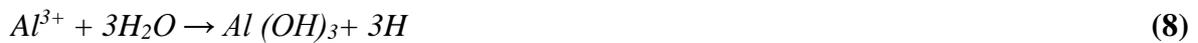
Formación de hidrogeno en el cátodo, ayuda la flotación del floculado



Formación de hidróxido de aluminio en condiciones básicas



Reacción química en condición acida (1) y (3) forman compuestos manométricas y polimétricas para obtener hidróxido de aluminio  $Al(OH)_3$



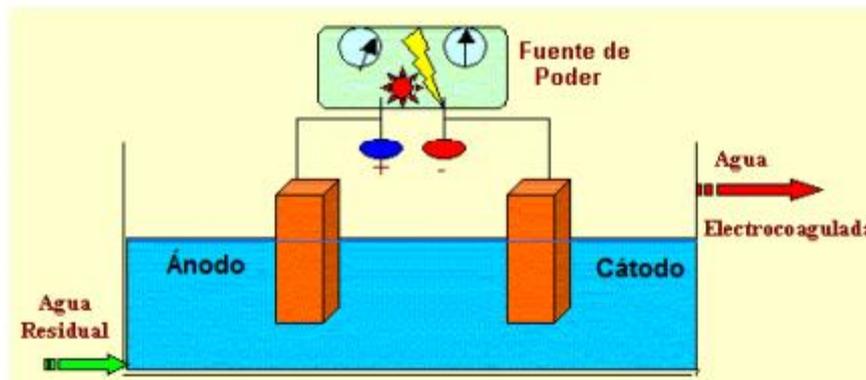
#### 1.3.1.1.4. Componentes de la electrocoagulación

Un sistema de electrocoagulación este compuesto por:

**Celdas de electrocoagulación (reactor):** Conformado por electrodos (ánodo y cátodo) y disolución electrolítica (agua residual).

**Fuente de poder:** Este es de corriente continua, transformando la corriente alterna en continua, dotada de controles de voltaje (V) y amperaje (A), los cuales pueden ser regulados.

Figura N°3 Componentes de un reactor



#### **1.3.1.1.5. Proceso de electrocoagulación**

Según Aguilar, E. (2015), el proceso de electrocoagulación se da en tres procesos principales:

**Formación del coagulante:** Este es producido a causa de la disolución de los iones metálicos que provienen del electrodo de sacrificio. Dado que la placa metálica que conforma el ánodo es disuelta, en tanto la placa que conforma el cátodo permanece sin disolverse.

**Desestabilización de los contaminantes:** los iones que son producidos cumplen el rol de desestabilizar las cargas propias de los contaminantes, promoviendo su neutralización. Las partículas que se encuentran en suspensión forman agregados de los contaminantes.

**Formación de agregados o adsorción:** Los flóculos son formados a partir de la coagulación creando una capa de lodo, la cual atrapa las partículas coloidales que se encuentran en el medio acuoso.

#### **1.3.1.1.6. Factores que influyen en la electrocoagulación**

Según Gutiérrez, F. (2012) los electrodos proveen iones positivos y negativos. Siendo el ánodo quien proporciona los iones metálicos, también llamado electrodo de sacrificio, ya que la placa metálica que lo conforma es disuelta; en tanto la placa del cátodo se mantiene sin disolverse.

Los iones que son producidos funcionan como desestabilizadores de las cargas que tienen las partículas contaminantes que están presentes en el agua. Posterior ocurre una neutralización de cargas, permitiéndose la formación de agregados, esto dando inicio al proceso de coagulación. Los iones presentes en la solución desencadenan el proceso de eliminación de contaminantes. Este puede efectuarse por dos vías: en primer lugar, por reacciones químicas seguida de precipitación, y en segundo lugar por procesos físicos como el agregado de los coloides. Esto dependerá directamente de la densidad para flotar o precipitar (Restrepo, L. 2006).

**pH:** El nivel de pH influye directamente en el proceso de electrocoagulación, ya que actúa sobre la densidad de corriente. El pH del efluente varía dependiendo del electrodo usado y la concentración inicial del agua que se tratara, por otra parte, el pH se puede incrementar por el hidrógeno que se produce en el cátodo, mientras que en los compuestos alcalinos

disminuye. La eficiencia del proceso depende de la naturaleza del componente a tratar, por ello es de importancia determinar el rango de pH para el tratamiento de un contaminante tales como la Turbiedad y DQO que tiene mejores remociones en compuestos alcalinos. Arango, A. (2012). La disminución del pH de un medio alcalino se atribuye al carácter anfótera del hidróxido de aluminio, es decir el compuesto generado actúa como un base o como ácido (Dura, A 2013, P.26).

**Densidad de corriente:** La densidad de corriente es uno de los parámetros que se debe utilizar en el proceso de electrocoagulación; debido a que la cantidad de metal que es liberada está determinada por este factor. Chen, Y. (2004), recomienda aplicar densidades de corriente inferiores a  $20 - 25 \text{ Am}^{-2}$  para garantizar un mejor funcionamiento del proceso. La eficiencia de una buena remoción de contaminantes está influida por la energía eléctrica aplicada al sistema, es por ello que el precio del tratamiento se relaciona con el incremento de la densidad de corriente. El suministro de corriente a la celda de electrocoagulación determina la cantidad de desprendimiento de iones de Aluminio ( $\text{Al}^{+3}$ ) y Hierro ( $\text{Fe}^{+2}$ ). La aplicación exagerada de la densidad de corriente tiende a disminuir el flujo de corriente transferido al sistema de electrocoagulación. La densidad de corriente está influida directamente con el área del electrodo, es decir mientras menor superficie de electrodo, menor densidad de corriente a aplicar al sistema.

Los suministros de electricidad al sistema se dan en dos formas; corriente alterna y corriente continua, el paso de cada una tiene diferentes reacciones electroquímicas entre los electrodos y el efluente a tratar, cuando se suministra con corriente continua a la celda el cátodo se impermeabiliza, lo que disminuye la remoción de contaminantes del efluente (Arango, A., 2012).

La aplicación de una corriente excesivamente grande, produce que la energía eléctrica se transforme en energía calórica, lo que provocara el calentamiento del agua; disminuyendo significativamente el nivel de eficiencia del proceso (Arango, A., 2005). La densidad de corriente permite la generación de hidrogeno el cual se evidencia en formación de burbuja, lo que reduce la capacidad de sedimentación de los flóculos formados en el reactor. (García, J & Martín, A., 2010, p. 53).

Una celda de electrocoagulación que opera en un periodo largo se recomienda mantener un rango de  $20 \text{ a } 25 \text{ A/m}^2$  (Rodríguez, A., 2016, p. 15).

$$\rho = \frac{I}{A_{\text{anodo}}} \quad (9)$$

Siendo:

$\rho$  = densidad de corriente, A/m<sup>2</sup>  
 $I$  = corriente eléctrica, A.  
 Ánodo = área total de los ánodos en m<sup>2</sup>

**Tiempo:** Factor que determina el proceso de electrocoagulación, dado que define la generación de iones de Al<sup>+3</sup> en un periodo específico.

**Conductividad:** García, J. (2010) refiere que es una propiedad de algunos compuestos químicos que poseen electrones libres capaces de trasladarse de un punto a otro. En la electrocoagulación la energía eléctrica es transportado por los iones disueltos en los efluentes a tratar, además la conductividad del efluente se rige por el tipo de ion presente y la concentración del componente a tratar El incremento de la conductividad eléctrica en la celda, influye en el incremento de la densidad de corriente, esto se da siempre que se mantiene el voltaje constante. El aumento de la conductividad y la estabilidad de la densidad de corriente permite reducir el voltaje a aplicar al sistema de electrocoagulación, por otra parte la aplicación de cloruro de sodio incrementa la conductividad del efluente residual a tratar, consecuentemente los iones de cloruro reducen los efectos de iones carbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), ya que estos iones crean condiciones para la precipitación del Ca<sup>+2</sup>, los cuales se evidencia en forma de una capa almacenada en los electrodos, es por ello que la eficiencia de corriente tiende a decrecer. Arango, R. (2012). Si la conductividad eléctrica del efluente no es lo suficientemente elevada, se requiere agregar un electrolito para incrementar los valores, lo que resulta en una reducción del potencial de la celda, implicando un ahorro energético.

**Distancia entre electrodos:** Castillo, A. (2017), indica que, a separación de 1 cm entre electrodos, mejora los resultados para la reducción de materiales orgánicos contaminantes en el efluente residual de pelambre. La distancia de separación de los electrodos puede variar en un rango de 0.2 cm a 3 cm, es decir el espacio depende de si es continuo o discontinuo el sistema de electrocoagulación. La separación de los electrodos esta relaciona directamente con el voltaje a aplicar a la celda, ya que esta depende de la conductividad, corriente y el área de los electrodos (García, J & Martín, A., 2010, p.73).

**Material del electrodo:** Núñez, F. (2015) indica que el tipo de electrodo seleccionado para la electrocoagulación determina la eficiencia de remoción de los contaminantes, por lo que el electrodo debe poseer resistencia química, una buena propiedad electroquímica y el cátodo debe ayudar a la descomposición del elemento líquido, comúnmente en la industria se usa el Aluminio y el Hierro como electrodos en el tratamiento de los efluentes residuales debido a la capacidad que posee para generar coagulante, por otra parte se usa el acero inoxidable como conductor de energía eléctrica para generar reacciones oxido-reducción, a diferencia del acero el aluminio, el hierro son buenos conductores y eficientes como electrodos de sacrificio en el tratamiento de efluentes residuales. García, J. (2010) manifiesta que el Hierro  $Fe^{2+}$  es considerado como un coagulante pobre a comparación con el  $Fe^{3+}$ , esto es debido a la mayor solubilidad de los hidróxidos y menor carga positiva del ion.

#### **1.3.1.1.7. Aspectos técnicos y comparativos**

Existen varios aspectos técnicos, sin embargo, a continuación, mencionaremos los principales a considerar:

**Consumo de energía:** Este aspecto es relativamente bajo con respecto a la ejecución de otros tratamientos. Tal como menciona Navas, C. (2014), encontramos valores dentro de 0,1 y 1,0 kWh/m<sup>3</sup>, esto depende directamente del tipo de efluente y los niveles de carga contaminante.

**Desgaste de electrodos:** Doria, V. (2017) manifiesta que el consumo de electrodos es dependiente al nivel de intensidad de corriente que se aplica al reactor, influyendo también el tiempo de retención hidráulica del fluido en el prototipo. Por tanto, podemos afirmar que, si se elevan los índices de intensidad de corriente, debido al incremento de producción de sustancias metálicas, se verá evidenciado un mayor consumo de los electrodos. Asimismo, si aumentan los tiempos de retención hidráulica, los electrodos de sacrificio sufrirán un mayor desgaste.

**Condiciones de operación:** Porras, C. (2015) refiere que las características tales como el tipo del proceso (Batch o continuo), naturaleza del agua a tratar y distancia de las placas; determinaran la intensidad de corriente a aplicar, las dimensiones de los electrodos y el tamaño del prototipo de electrocoagulación. Cabe mencionar que un sistema de flujo

continuo requiere un mayor gasto de energía. Asimismo, un efluente con altos niveles de contaminantes requiere más intensidad de corriente.

Si el número de placas aumenta se verá un ascenso en los tiempos de residencia, esto implicaría mayores dimensiones del reactor.

**Producción de lodos:** Depende directamente de los niveles de contaminación presentes en el efluente. Como lo menciona Hernández, A. (2008), este proceso se verá influenciado también por las proporciones de corriente eléctrica aplicadas al sistema. Este sistema electroquímico en comparación con un sistema químico o biológico convencional, tiene menor producción de lodos, el cual se da de dos formas: por flotación y precipitación.

**Costos de operación:** Tal como indica Culqui, N. (2015), una ventaja a tomar en cuenta sobre la aplicación del método de electrocoagulación, es la remoción cuantificada en elevados y evidentes porcentajes obtenidos en una sola operación, considerándose también que los equipos son de fácil ensamblado.

#### **1.3.1.1.8. Reactores para procesos de electrocoagulación**

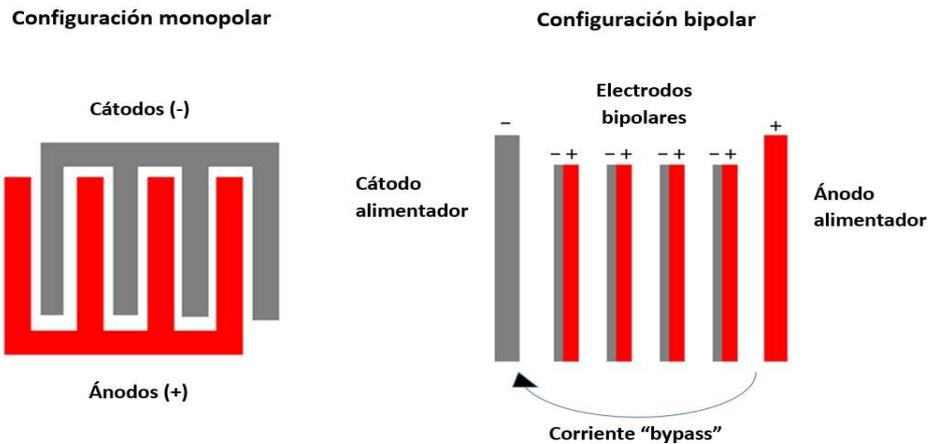
Castañeda, Y. (2016) menciona que, en el reactor electroquímico, se llevan a cabo procesos muy importantes tales como: la transferencia de carga, procesos químicos a partir de la generación in situ del coagulante y la transferencia de materia.

Su clasificación considera los siguientes criterios: la dirección del flujo del efluente, modo de circulación, tipo de conexión electródica y la finalidad de la celda.

Si nos referimos a la dirección de flujo en el reactor, pueden estar clasificados en unidades de flujo horizontal y vertical. Asimismo, si hablamos de modo de circulación se pueden hallar celdas de canales múltiples o monocanales. Con respecto al tipo de conexión electródica, estos son clasificados como monopolares y bipolares.

Al referirnos a la finalidad de la celda, incluimos la dosificación del coagulante y/o también el movimiento que se aplica.

**Figura N°4: tipos de reactores de electrocoagulación**



### **Reactor de flujo continuo**

Rodríguez, J. (2014) menciona que los reactores de electrocoagulación de flujo continuo, se encuentran clasificados según esta expresada la flotación en el sistema. Esto quiere decir que, una vez ejecutado el proceso de coagulación, el contaminante puede ser separado del medio acuoso bajo dos formas; ya sea por sedimentación o flotación.

Holt, F. (2005), señala que un sistema de flujo continuo presenta las siguientes características: el caudal y la concentración es constante, el rendimiento está directamente relacionado con el tiempo de residencia en la celda, la operación se encuentra en estado estacionario.

### **Efecto del flujo**

Cabe destacar, tal como lo resalta Rodríguez, J. (2014), el efecto del flujo influye notablemente sobre el nivel de eficiencia para la remoción de contaminantes, dado que un incremento del caudal evidenciaría un descenso de los porcentajes de remoción del contaminante. Así mismo la densidad de corriente se ve afectada.

#### **1.3.1.1.9. Ventajas y desventajas de la Electrocoagulación**

##### **Ventajas**

La electrocoagulación produce menores cantidades de fango, siendo estos de fácil deshidratación.

Al no aplicar agentes químicos, se evita la problemática de excesos de reactivos, reduciéndose la probabilidad de una contaminación secundaria producto de la adición de compuestos químicos a elevadas concentraciones.

La dosificación del coagulante es controlada a partir de la modificación y/o manipulación de las intensidades de corriente aplicadas a la celda.

El aumento de los niveles de pH que son generados cerca del cátodo, favorece la precipitación de iones metálicos, los cuales también pueden ser adsorbidos sobre los flocs.

Arango, R. (2011) refiere que la presencia de carga por parte de los coloides favorece su movimiento por el campo eléctrico que es originado por los electrodos, sumado a la evolución electródica de gases; promueve una mezcla suave. Por lo cual se ve facilitada la colisión entre coloides, llevándose a cabo el proceso de floculación sin la necesidad de aplicar agitación mecánica. Esto evidentemente se traduce en una disminución de costos.

Barrera, D. (2014) manifiesta lo siguiente; La electrocoagulación permite la remoción eficiente de efluentes contaminados, esto permite la utilización del agua tratada para los procesos que requiera la transformación de la materia prima.

La baja demanda de corriente eléctrica, abre la posibilidad de que este tipo de procesos sean abastecidos por sistemas “verdes”, que incluyen sistemas basados en energía solar, eólica, etc.

### **Desventajas**

Reemplazo periódico de los electrodos de sacrificio.

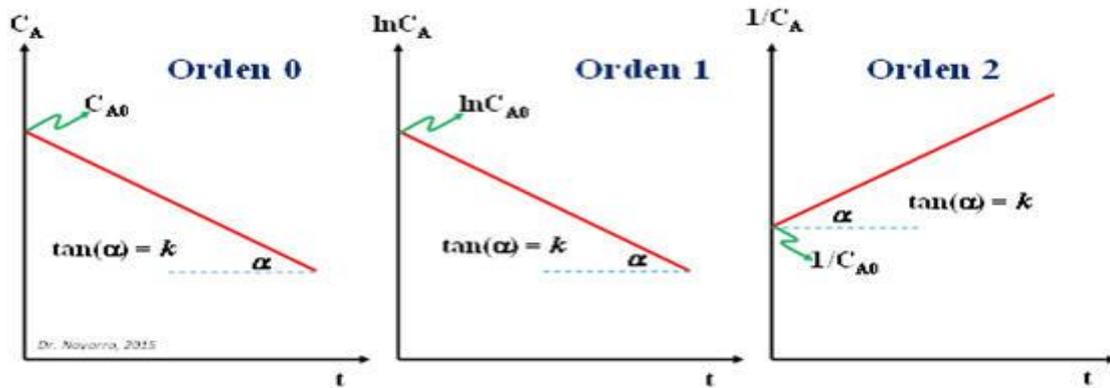
Producción de lodos con concentraciones elevadas de metal, esto depende del material del electrodo de sacrificio.

Pasivación en el ánodo, provocando un descenso en la eficiencia del tratamiento.

### **Cinética Química**

Según menciona Heredia, S. (2012), la cinética química está referida a la velocidad y el mecanismo a través del cual una especie química puede ser transformada en una distinta. La velocidad refiere a la masa, expresada en moles, de un producto obtenido o el consumo de

un reactante con respecto a la unidad de tiempo. Por otro lado, si hablamos de mecanismo refiere a todos los procesos que se ejecutan de forma individual ya sean colisionales o elementales en los que existe intervención de moléculas, que producen la velocidad observada.



### Velocidad de reacción

La “rapidez” en la que ocurre una reacción química puede estar expresada de distintas formas. Por lo general, señala Huacho, I. (2012), es conveniente calcularla a través de la medida de las concentraciones x de un determinado producto de reacción a variables tiempos.

Las concentraciones están expresadas en unidades de *moles/litro*, y la expresión de unidades de velocidad son *moles/litro.seg*.

### 1.3.2 Industria del cuero

Ochoa, R.(2012) indica que la industria del cuero es el sector que aprovecha el subproducto de la carne, el cual es la piel de los animales como de la oveja, alpaca, vaca, llama, caballo, conejo, etc.; para proveer vestimenta y calzado a nivel nacional e internacional, por otra parte; esta industria se caracteriza por la aplicación de productos químicos en la elaboración del cuero, por tanto, sus efluentes residuales contienen: Cromo trivalente, sulfuros, aceites, anilinas, etc. Según la ingeniería, los efluentes residuales en todas las etapas tienen un porcentaje que no ha sido absorbido y es esto lo que se vierte a los alcantarillados sin un previo tratamiento. Así mismo, Souza, F. (2012) indica que en muchas industrias se aplica enzimas que mejoran la eficiencia en los procesos (remojo, pelambre y teñido).

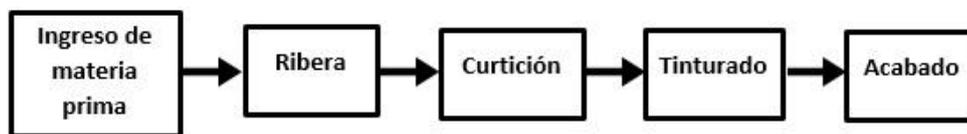
Forero, N. (2015) manifiesta que el sector curtiembre generara residuos que contaminan el medio ambiente de manera agresiva, estos son líquidos y sólidos (viruta, materiales particulados), el manejo de los residuos de las curtiembres en el mundo es un problema grave.

### 1.3.2.1 Proceso de curtido de pieles

Según Ugarriza, J. (2009), al proceso de transformar las pieles de los animales en un material imputrescible y resistente, a través de agentes curtientes que son introducidos a la estructura de la piel; se le denomina Curtición; y al producto obtenido de esta actividad se le conoce como cuero. Por otra Vargas, D. (2017) indica que el cuero tiene un movimiento parabólico lo que implica que el cuero se levante y se golpee con las estacas que se encuentran distribuidos en toda la parte interna del botal, lo cual permite la aceleración del proceso.

La figura 5 nos indica cuales son las operaciones principales en una curtiembre. El proceso de curtido está constituido por 4 etapas principales: ribera, curtido, tinturado y acabado; el curtido propiamente dicho conforma el tercer paso en cuanto a la línea productiva del cuero.

**Figura N°5: Procesos de curtido de pieles**



Gran parte de los procesos ejecutados en la industria se llevan a cabo en “fulones”, reactores de forma cilíndrica atribuidos de movimientos rotativos, que permiten la mezcla de pieles con los productos químicos empleados.

#### 1.3.2.1.1 Ribera

El proceso de ribera cumple un papel fundamental, ya que aquí se eliminarán los pelos de la piel permitiendo su acondicionamiento para su posterior curtido.

**Remojo:** Es considerado una de las etapas más importante, ya que en esta se realiza el lavado de la piel y humectación en aproximadamente 24 a más, dependiendo si el cuero es seco dulce, seco salado o fresco. Un remojo adecuado garantiza la obtención de un buen pelambre.

En referencia a remojo Castañeda, C. (2016) menciona que en esta etapa del proceso se llega a utilizar agua de 100 a 1000% con respecto al peso bruto de la piel

**Pelambre:** Es una de las etapas de importancia y el más contaminante, puesto que en esta se aplica los insumos químicos, como el sulfuro de sodio y cal. La actividad consiste en la extracción de raíz el pelo. Los efluentes son alcalinos y su pH oscila de 10 a 13.

La etapa de pelambre, consta en la imposición de las pieles a un tratamiento, que consiste en la solución de sulfuros en presencia de un medio alcalino, con la finalidad de extraer los pelos, raíces del pelo y epidermis de la piel. Para llevar a cabo este procedimiento es necesario el uso de reactivos, tales como: sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), sulfuro ácido de sodio ( $\text{NaHS}$ ), cal y aminos (para prevalecer un medio básico), así mismo el uso de enzimas, que facilitan el proceso (Ordoñez, 2010, p.466).

*Na<sub>2</sub>S (sulfuro de sodio):* Los sulfuros permiten la aceleración del desligamiento del pelo y la epidermis, en vista de que posee poderes reductores, así mismo promueve el hinchamiento por presión de fluidos.

*Aminos:* Permiten un mejor depilado; sin embargo, por su costoso no es muy recurrente su uso. Estimula el hinchamiento liotropico; es decir las fibras son dilatadas por el hinchamiento permitiendo así la penetración futura de los productos curtientes (Gavilanes, 2011, p.26).

*Ca (OH)<sub>2</sub> (hidróxido de calcio):* Por su naturaleza no posee propiedades para el depilado, por lo que este compuesto es usado como auxiliar en conjunto con otros productos, con la finalidad de promover un efecto tampón de pH 11,5-12; optimizando así la zona para el desarrollo del depilado (Fuquene, 2011, p.14).

*NaOH (hidróxido de sodio):* Este producto al igual que el hidróxido de sodio, es complementario en el proceso.

**Descarnado:** El descarnado es un trabajo mecánico, que facilita la separación de la grasa y epidermis restante de la etapa de pelambre. Posterior a esto se procede a introducir las pieles en una maquina dividora, donde la carnaza es separada de la piel.

### 1.3.2.1.2 Curtido

El curtido proporciona estabilidad de la composición orgánica para prevenir la descomposición. Este proceso consta de 4 subprocesos: desencalado, piquelado, curtido, escurrido y rebajado.

**Desencalado:** Vega, L (2014). Etapa de desencalado en este punto del proceso, la piel contiene álcali en los líquidos presentes en los espacios interfibrilares e hidróxido cálcico precipitado entre las fibras de la piel, es importante extraer estos compuestos; puesto que impiden una correcta curtición y generan defectos en el producto final, tales como manchas y poca resistencia. Esta eliminación se efectúa con productos que forman compuestos solubles con los álcalis como el sulfato de amonio, bisulfito o el metabisulfito sódico. Estos compuestos se eliminan mediante lavados con agua. Esta operación se da en un pH de 8 a 9 y temperatura aproximada de 35 °C.

En este subproceso, se realiza un primer lavado donde se adicionan tensoactivos, sulfato de aluminio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)) y bisulfito de sodio (NaHSO<sub>3</sub>) con la finalidad de destruir los residuos de sulfuro y cal que dejó el pelambre.

**Piquelado:** El rendido tiene como objetivo el aflojamiento de la estructura del colágeno mediante la adición de enzimas proteolíticas. En esta operación son eliminados los restos de epidermis, pelos que puedan haber quedado en la piel. Se realiza en el mismo baño del desencalado. La temperatura adecuada de 35 °C y un pH de 8 a 9.

Este subproceso prepara la piel para su curtido. Añade ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y ácido fórmico (HCOOH) aportando protones para formar enlaces de los grupos carboxílicos. Se reducen los niveles de pH evitando así que el cromo precipite durante la curtición.

**Curtido:** El curtido en sí, implica la adición de sales de cromo, por lo general en sulfato de cromo (Cr<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) o sulfato de cromo básico (Cr<sub>2</sub>(OH)(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>).

Según menciona Córdova, H (2013), la curtición es un proceso que se da de forma controlada, ya que en principio se busca que la penetración del cromo en la piel se de en forma rápida, para evitar reacciones inmediatas entre el compuesto curtiente y la piel; mediante la disminución del pH.

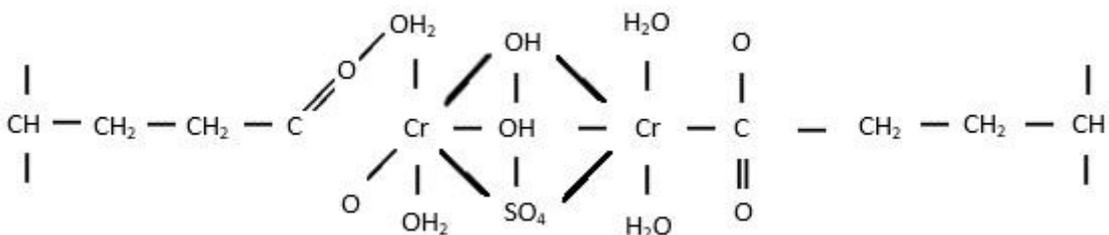
Conforme el proceso avance, y el cromo haya logrado atravesar por completo la piel, el pH se incrementa para lograr variar el nivel de reacción de las sales de cromo, dando lugar a la basificación, lográndose así el curtido de la piel.

El insumo principal de esta técnica es el sulfato de cromo, esta técnica aplica sales y ácidos sulfúrico o fórmico para la dilución del metal, es una forma rápida de procesar las pieles, para esto primero el cuero se apelmbra para extraer el pelo y luego se realiza el piquelado, el cual se deja en un medio ácido pH 3.5 y Baumé 6 y se agrega el cromo trivalente, los insumos usados depende la ingeniería que maneja el técnico según su experiencia, por otra parte la curtición busca estabilizar las proteínas de la piel con la aplicación de insumos curtientes, el cual por una reacción química incrementa la temperatura de retracción y genera una mayor estabilidad de la piel, así mismo, Chávez, P. (2010) indica que el inconveniente de aplicar sales de cromo en la curtiembre es la cantidad del insumo que no se fija y que permanece en el efluente residual del etapa, ello conlleva a que el licor residual sea inaplicable para los procesos posteriores.

Romero, R. (2015), indica que el colágeno presente como proteína en la piel se fusiona de forma irreversible con el agente curtiente dando parte a una reticulación de la estructura. Se reduce la probabilidad de hinchamiento.

El incremento de la estabilidad de la estructura molecular del colágeno se ve influenciado por la unión de las cadenas peptídicas. El sulfato de cromo (agente curtiente) debe combinarse con la proteína de la piel, para ionizar los grupos carboxílicos de las cadenas de colágeno. En la figura N°6 podemos observar la reticulación lateral de sulfato de cromo con el colágeno.

**Figura N°6: Reticulación lateral del sulfato de cromo con colágeno**



El método más empleado para el proceso de curtido, es la adición de cromo; debido a su alta calidad, mayor estabilidad térmica y su elevada versatilidad de cualidades del cuero.

**Tabla N°7: Insumos para el curtido de pieles**

Peso bruto de piel de ovino 1823 Kg			
Producto	Porcentaje	Peso Kg	Tiempo
Agua	300%	5,469	
Cloruro de Sodio	9%	164.07	20
Ácido fórmico (pH 3.5)	2%	36.46	10
Sulfato de cromo	6%	109.38	40
Formiato	0.65	10.93	120
Bicarbonato de sodio	1%	18.23	120

*Fuente: Elaboración propia*

Al finalizar, Romero, R. (2015), indica que se ejecuta el escurrido y rebajado en dos distintas máquinas para la remoción del exceso de agua y darle al cuero el espesor que se requiera brindándole uniformidad.

#### **1.3.2.1.3 Tinturado**

No siendo el cuero curtido un producto comercial para su uso, pese a haberse realizado cambios relevantes en sus propiedades; se requiere brindarle cualidades externas como: color, brillo, finura de superficie.

El proceso de tinturado tiene como objetivo proporcionar color al cuero, cubriendo superficialmente o en su totalidad el cuero. El método más común es la aplicación de colorantes solubles contenidos en una solución acuosa, permitiendo una distribución homogénea.

#### **1.3.2.1.4 Acabado**

El acabado está determinado por la finalidad de su uso ya que dependerá de las características que se quiera obtener, mejorando su apariencia e incrementando su valor.

Tenemos dos subprocesos: engrasado y secado.

**Engrasado:** tiene por finalidad suavizar la piel. Evitando que el secado vuelva duro y frágil al cuero. Aplicar grasas, aceites, lacas, tensoactivos, etc. al cuero influirá sobre sus propiedades mecánicas, impermeabilizándolo y haciéndolo resistente al agua.

**Secado:** Permite disminuir los niveles de humedad en el cuero incluyendo en el producto final.

### **1.3.2.2 Aguas residuales generadas en curtiembres**

Los efluentes residuales de la industria de la curtiembre se caracterizan por tener concentraciones altas en componentes orgánicos e inorgánicos en solución, asimismo concentraciones altas de sólidos y tiene un color verde oscuro de mal olor. Por otra parte, el grado de contaminación de los efluentes está relacionado con la ingeniería de proceso y el tipo de cuero procesado, ya que depende de estos la cantidad de insumos químicos a usar. Desde el punto de vista de contaminación por efluentes residuales las etapas que más contaminan son, remojo, pelambre, cromado y teñido. Por otra parte Quijano, P. (2015) menciona que los efluentes residuales vertido a las redes de alcantarillado contienen altos rangos de DQO y el pH (ácido y alcalino).

#### **1.3.2.2.1 Parámetros de aguas residuales**

A través de la cuantificación de las concentraciones de los parámetros y la comparación con la normativa ambiental vigente, se puede determinar qué factores son críticos. A continuación, se describen los principales:

**Color:** El color del efluente como lo menciona Romero, D. (2001), se debe a distintos aspectos como los sólidos suspendidos, compuestos metálicos, etc. En específico, las aguas residuales producto del curtido son de coloración azul verdosa, esto a causa del uso de sulfato de cromo.

**DQO:** Sánchez & Herzing (2007) afirman que la demanda química de oxígeno es la concentración de oxígeno que permite la descomposición de la materia orgánica y los compuestos inorgánicos. El parámetro se usa para determinar la cantidad de contaminante orgánico en efluentes residuales.

**Conductividad eléctrica:** Esta determinada por el número de iones disueltos en el agua, cabe señalar que el agua potable en promedio tiene valores de  $5 \cdot 10^{-3}$  S/m.

**pH:** El pH indica la concentración de los iones  $H^+$  existentes en el agua, esta expresado como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrogeno ( $H^+$ ).

**Turbidez:** Es la deficiencia que tiene el agua para atravesar el haz de luz. Este parámetro indica la cantidad de sólidos suspendidos, MO, microorganismos, etc.; dándole al efluente un aspecto turbio. Su unidad es la unidad nefelometría de turbidez (NTU).

Característicamente los efluentes provenientes de las curtiembres tienen altos valores de turbidez, esto a causa de la presencia de sólidos suspendido.

**Sólidos:** Están clasificados dependiendo del tamaño del componente, por tanto, pueden ser: sólidos disueltos, coloides o sólidos suspendidos.

Los sólidos disueltos indica Romero, D. (2001), tienen dimensiones menores a  $10^{-9}$  m, pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Si nos referimos a los coloides, estos tienen medidas entre  $10^{-9}$  y  $10^{-6}$  m, poseen carga negativa. Con respecto a los sólidos suspendidos, su tamaño es mayor, y se mide desde micrómetros hasta metros. Un alto índice de sólidos influye en una decreciente de oxígeno presente en el agua, impactando su calidad.

**Materiales suspendidos:** Son aquellos que no están disueltos y se encuentran en el efluente, estos son residuos de la etapa de pelambre o compuesto químico que no han sido absorbidos por la piel, tales como el pelo e hidróxidos metálico, así mismo la contaminación por componentes oxidables.

**Cromo:** El cromo es un metal presente en la naturaleza, formando compuestos con otras sustancias. Es utilizado en diversas industrias como: la metalurgia, curtiembres, cromado, etc. El cromo posee dos valencias principales: +3 y +6. El cromo +3, su presencia es esencial para nuestro organismo; por otro lado, el cromo +6 es altamente tóxico.

El cromo +6 es cancerígeno, según Chávez (2010), si se establece contacto directo, produce efectos permanentes y agudos en personas. Las vías de contaminación son por: vía respiratoria, cutánea y digestiva. Tienen facilidad de incorporarse en los eritrocitos y mezclarse con la hemoglobina.

Lugo, V. (2014) menciona que el cromo es un mineral que se encuentra en la superficie terrestre en forma de cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ), es de color oscuro y presenta grietas en su aspecto, así mismo tiene tres estados principales de oxidación, Cr (II) es inestable en el ambiente y no tiene mucha importancia biológica, el Cr (III) es importante en los procesos de todos los seres vivos y el Cr(VI) es el más común en la industria Metalurgia. Es normal encontrar los tres estados de oxidación en cualquier industria que aplique cromo en sus etapas de proceso.

## **Elemento cromo en el ambiente**

Martínez, S. (2014) refiere que cromo al encontrarse en el ambiente presenta la siguiente característica; en los sistemas acuáticos, la toxicidad del cromo depende de los parámetros temperatura, pH, dureza y especies de organismos que habitan en el ecosistema. El Cr (VI) se disuelve sin dificultad en condiciones ambiente, pero en presencia de compuestos orgánicos oxidantes se reducen a cromo trivalente (Cr III), el cual es estable y con poca solubilidad en condiciones naturales.

MARTINEZ, S (2014) menciona que el Cr (III) al incorporarse a la cadena alimentaria y al ser asimilado por el cuerpo no es dañino, ya que regula el metabolismo de la glucosa, pero el Cr (VI) tiene efectos contrarios, ya que tiende a reducirse al cromo trivalente. La asimilación complejos de cromo orgánico se estima entre un 20-25% y cromo inorgánico 0.5%.

## **Toxicidad del Cromo**

LUGO, V. (2014) menciona el Cr (VI) tiende a inducir a la generación de cáncer de pulmón y mutaciones genéticas, así mismo es genéticamente activo, es decir interactúa con el ADN, pero el cromo trivalente es inactivo.

## **Reducción electroquímica de Cr (VI)**

Lugo, V. (2014) menciona que la aplicación de los sistemas de oxidorreducción, son métodos que se aplican para todo tipo de tratamiento de efluentes domiciliarios e industriales, este método tiene las siguientes ventajas; Temperatura bajas del proceso, costo bajo de operación, generación mínima de desechos, condición de operación segura.

## **Reducción del Cr (VI) por electrocoagulación**

MARTINEZ, S. (2014) menciona que la electrocoagulación consiste en la generación de agentes desestabilizantes que neutralizan la carga eléctrica de los compuestos líquidos a tratar. Es decir, la inducción de corriente a los electrodos genera iones libres que neutralizan los contaminantes y permiten removerlos, este sistema se reduce en tres fases predominantes; celda que contiene efluente a tratar, electrodos para ánodo (-) y cátodo (+), finalmente una fuente que permita la entrada de corriente para disolución de electrodos.

## **Reacción del electrodo hierro con el cromo**



La remoción de Cr (VI) por electrocoagulación se da en dos etapas; en la primera etapa reducción del Cr (VI) al Cr (III) da por los iones de  $Fe^{2+}$  generados por la oxidación del ánodo (Fe) y la posterior precipitación del  $Fe^{2+}/Cr^{3+}$  o reducción directa en el cátodo. En rangos de pH la reducción de cromo hexavalente a cromo trivalente es favorecido, pero no se da la precipitación del cromo, así mismo la electrocoagulación con Fe tiende a incrementar el pH a de ácido a alcalino.

### 1.3.2.2.2 Contaminantes de las aguas residuales

La composición de los efluentes de curtiembre varía con respecto a los elementos empleados y su dosificación. La **Tabla N°2** indica los diferentes tipos de efluentes y sus principales contaminantes, estableciendo rangos de valores.

**Tabla N°2: Características de las diferentes corrientes de aguas**

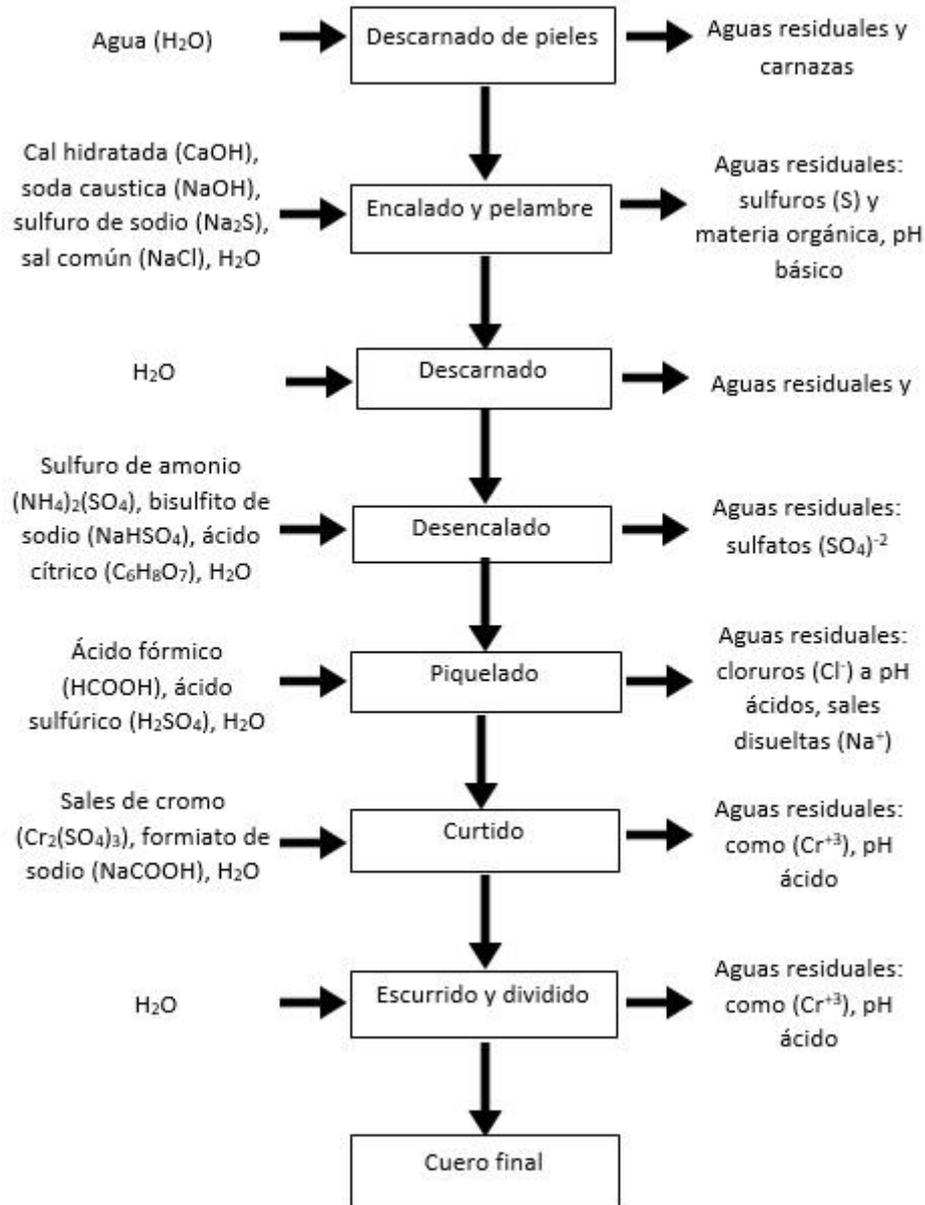
Parámetro	Pelambre	Desencalado	Piquelado	Curtido
pH	11,0— 12,0	11,7 - 11,8	3,6 - 3,7	3,0 — 4,0
DQO [mg O <sub>2</sub> /L]	12000-18000	1140 - 1 770	3 240 -1 105	7000 -10 000
DBO <sub>5</sub> [mg O <sub>2</sub> /L]	1700-6000	350 - 650	1 126 - 370	1900 - 6 000
Cr total [mg/L]	0	0	0	2000 - 6 000
I2 [mg/L]	186,00— 659,00	5,00-35,00	0,30- 0,50	0,02-0,03
SO <sub>4</sub> " [mg/L]	156-228	158 -175	2 000 - 9 000	14

Fuente: Méndez 2003.p.21

La etapa de encalado y pelambre, origina efluentes con pelos, grasas, proteínas y sulfuros (S<sup>-</sup>), MO, pH básico. Por otra parte, el desencalado produce efluentes que contienen sulfatos (SO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>. El piquelado provoca la acidificación del efluente. Méndez (2007) indica que, en las etapas de curtido, debido a la utilización de sulfato de cromo (Cr<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>), sus aguas son acidas con altos valores de cromo.

La **Figura N°7** indica los procesos y compuestos químicos empleados en la industria de curtiembre, así como los contaminantes que se generan.

**Figura N°7: Proceso de producción de cuero y sus efluentes residuales**



Los componentes más contaminantes en la industria de curtiembre son los sulfuros, producto del pelambre y la presencia de cromo debido al curtido; dándole alta toxicidad a las descargas. Siendo los efluentes del pelambre básico; por otro lado, los efluentes del curtido acidas.

### 1.3.2.2.3 Legislación ambiental

**Valores Máximos Admisibles:** En vista de que no existe una norma específica para el sector curtiembre se tomara en cuenta el D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, el cual especifica los parámetros de vertimientos a la red de alcantarillado de efluentes domésticos.

**Tabla N°3: Valores Máximos Admisibles para descarga a un sistema de alcantarillado sanitario**

Parámetro	Unidad	Expresión	VMA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DB05	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1000
Ph		pH	6 a 9
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr+6	0.5

*Fuente: D.S. N° 021-2009-Vivienda*

#### 1.3.2.2.4. Química del cromo

Las moléculas presentes en los agentes curtientes deben poseer la capacidad de poder mezclarse con la proteína de la piel. Si hablamos de las sales de cromo podríamos mencionar que este metal y el colágeno forman diversos tipos de enlace. CÓRDOVA, H. (2013), menciona que las sales de cromo son los más utilizados como agentes curtientes por sus propiedades que permiten que el cuero tenga una gran estabilidad hidrotérmica y le proporciona características físicas-mecánicas que hacen que este producto pueda venderse como calzado, vestimenta, revestimientos, etc.

**Tabla N°4: Generalidades del cromo**

Generalidades del cromo	
Número atómico	24
Peso molecular	51,996
Características	Blanco plateado, brillante, duro y quebradizo.
Estados de oxidación	Son +2, +3, +6
Presencia en el organismo	Oligoelemento presente en el organismo en forma de cromo trivalente
Vías de ingreso en el ser humano	Vía inhalatoria, vía cutánea y por ingestión

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°5: Generalidades del cromo hexavalente (VI)**

<b>Generalidades del cromo hexavalente (VI)</b>	
Se encuentra presente en los cromatos, dicromatos y el ácido crómico	
<b>Industrias que lo utilizan</b>	Minería, soldadura, fabricación de cemento, industria de pinturas, industria del cuero, industria fotográfica, industria galvánica, y producción de acero inoxidable.
<b>Toxicología</b>	Considerado carcinógeno, ya que penetra en el organismo con mayor facilidad atravesando las membranas celulares.
<b>Toxicocinética</b>	El cromo (VI) es rápidamente tomado por los eritrocitos e integrado a otras células por el sistema transportador de sulfatos.
<b>Toxicodinámica</b>	Por acción caustica, sensibilización cutánea, citotoxicidad e inflamación de neumocitos e interacción con biomoléculas.
<b>Efectos</b>	Produce alteraciones de cromáticas hermanas, aberraciones cromosómicas y reacciones cruzadas en la cadena de ADN.

Fuente: Elaboración propia.

### **Efecto del cromo en el ambiente**

Las concentraciones de cromo en forma de material particulado presente en el aire, se incrementan producto de la quema de carbón y petróleo, fabricación de acero, soldadura, etc. En el caso de la contaminación de cuerpos de agua, Molina, N. (2010) menciona que esto ocurre por vertimientos que derivan de la actividad curtiembre de pieles, por lo general el cromo precipita y otra parte es diluida. El sulfato de cromo (III) presente en los efluentes residuales son persistentes en el tiempo y puede causar daños en la salud si es absorbido por las personas.

**Tabla N°6: Cuadro comparativo de cromo trivalente y hexavalente**

<b>Comportamiento metabólico y toxicológico considerado</b>	<b>Cromo (III)</b>	<b>Cromo (VI)</b>
<b>Presencia en la sangre y paso de la membrana eritrocito</b>	Incapaz de superar la membrana eritrocito esencialmente presente en el plasma asociado a la transferencia	Penetra la membrana eritrocitaria asociándose a la gbina de la hemoglobina después de la reducción a Cr(III)
<b>Fuerza de enlace con proteínas</b>	Interacciona con enlaces fuertes	Interacciona con enlaces débiles a pH bajos
<b>Absorbimiento</b>	Absorbimiento modesto	3 a 5 veces más elevado que Cromo (II)
<b>Cinética de acumulaciones</b>	Acumulación hepática gradual en las 24 horas	Decremento hepático en las 24 horas
<b>Concentración en los tejidos en exposición crónica</b>	Inferiores a los gupos de animales tratados con el cromo (VI)	9 veces más elevado en el mismo grupo de animales

<b>Toxicidad</b>	Muy limitada	Toxicidad 100 veces superior a Cr(III) cuando es suministro oralmente
<b>Efectos sistémicos</b>	Muy limitada aún en altas dosis	Crecimiento reducido y daños a nivel hepático y renal en animales de laboratorio
<b>Efectos locales</b>	Ningún efecto irritante	Úlcera en la piel y efectos corrosivos en la cavidad nasal

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°7: Valores de diferentes en el proceso de electrocoagulación para distintos efluentes residual**

Referencia	Contaminante	Intensidad de corriente eléctrica(A)	Densidad de corriente (A/m <sup>2</sup> )	Voltaje	Materiales de los electrodos. Conexiones de los electrodos	Distancia entre electrodos	Área de electrodo	Caudales	Eficiencia de tratamiento (%)	Tiempo (minutos)	PH	Tipo de reactor	Capacidad de celda
RODRIGUEZ, J (2014)	Dureza total y alcalinidad	2			Aluminio/bipolar	0.5 cm	532 cm <sup>2</sup>		95%	5	7.5	Bach	1
ARBOLEDA, J & HERRERA, P(2015)	Cromo 6	4,31		25,9	Aluminio/bipolar	0.5 cm	40,5 cm <sup>2</sup>		99%	40	8	Bach	1
RODRIGUEZ, E (2016)	DQO	10		20	Hierro (una placa)	1.2 cm	6 cm <sup>2</sup>	100L/h	92.20%	8		Bach/continuo	3
ANDALUZ, J (2016)	DQO	18		12.65	Hierro	2		0.6 L/min	80%	3	2.95	Bach/continuo	3
RUIZ, A & GARCÉS, L(2008)	DQO	4	43,23	57,74	Al(cátodo)/ Fe(ánodo)	1		2.8 cm <sup>3</sup> /segundo	94%	15	5	Bach	
MURILLO, A (2016)	Cromo 6			30	Al, Fe/Bipolar	1			99%	35	3	Bach	2.2
HUMPIRE, F (2017)	DQO	3	17	10	Al/Fe/Bipolar	1	150 cm <sup>2</sup>		80%	34	6	Bach	2
TERÁN, J (2012)	DQO	1		66	Aluminio/bipolar	0.57	0.54 m <sup>2</sup>		40%	3	9.5	Bach	4.5
ARIAS, W (2013)	Cromo3	2	42			2	450cm <sup>2</sup>		95%	20	5	Bach	1
AGUILAR, E (2015)	DQO	5		3.5	Al.Monopolar en serie	10 mm	0,0819 m <sup>2</sup>		87%	15	7.12	Bach	4.5
CULQUI, N (2015)	Cianuros	4	53		Cobre. Monopolar en serie	1 cm	0,013 m <sup>2</sup>		99%	25	7	Bach	3

<b>PANTOJA, A (2014)</b>	Fe ,DQO		30		Al,monopolar en serie	10 mm	0.00922 m2		88.76%	4	8	Bach	0.8
<b>BELTRÁN, K (2015)</b>	Cromo 6			5	Al,	1 cm	0.0064 m2						0.75
<b>WESTRES, S (2013)</b>	Boro, Cromo, Fosforo, Niquel, Plomo	5			AL	1		14 mL/s		15	9	Continuo	3

Fuente: Elaboración propia.

## **1.4 Formulación del problema**

### **Problema General**

¿Cuál es el nivel de eficiencia del sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción Cromo (VI) y DQO de Curtiembre– Huachipa, 2018?

### **Problemas específicos**

- ¿Cuál es el tiempo e intensidad de corriente óptimos del sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de Cromo (VI) y DQO de curtiembre– Huachipa, 2018?
- ¿Cuál es la velocidad de reacción del sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de Cromo (VI) de Curtiembre – Huachipa, 2018?
- ¿Cuál es el costo total de aplicar un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre – Huachipa, 2018?

## **1.5 Justificación del estudio**

En el Perú existe una ineficiencia del abastecimiento del recurso hídrico, como consecuencia del desequilibrio que existe entre la demanda del recurso y su disponibilidad por zonas.

Lazo (2017) menciona que la industria del cuero genera contaminantes orgánicos e inorgánicos, los cuales sobrepasan los valores máximos admisibles en todas sus etapas; teniendo dos parámetros de mayor impacto: cromo total y nivel de sulfuros. Siendo este último compuesto generado en la etapa de pelambre y en mayor proporción; dicha etapa genera efluentes con mayor carga orgánica, malos olores y evidencia un gran uso del recurso agua con respecto a las demás etapas.

Por tanto, la presente investigación busca alternativas de solución para implantarlas en el proceso de tratamiento de los efluentes de la etapa de pelambre, ya que como se mencionó genera altos niveles de concentración de sulfuros e implica mayor consumo del recurso agua.

### **Justificación teórica**

Según Restrepo, P. (2006) la electrocoagulación es la aplicación de técnicas para el tratamiento de aguas residuales. Consiste en la remoción de los contaminantes provenientes de diferentes efluentes mediante el principio de coagulación. Las partículas de contaminantes que se encuentran en un medio acuoso son desestabilizadas por inducción de corriente eléctrica a través de placas metálicas, que funcionan como electrodos (ánodo y cátodo) los cuales proveen iones positivos y negativos.

### **Justificación metodológica**

El sistema de electrocoagulación según Westres, S. (2013) posee las siguientes ventajas con respecto a otros tratamientos: requerimiento de equipos simples de fácil montaje y operación; la formación de flóculos más compactos con menor cantidad de agua superficial y mayor estabilidad.

Martínez, F. (2007) expone que esta técnica electroquímica ha tenido indicadores de eficiencia en la remoción de cromo de entre el 51% y el 99%, bajo condiciones distintas ya sea por el tipo de electrodos, las configuraciones obtenidos en tiempos cortos de residencia; con una menor generación de lodos, por su menor porcentaje de humedad. Asimismo, Hernández, D. (2016) señala que para reducir DQO se obtuvieron eficiencias del 80% al 90%.

En los efluentes líquidos, la presencia de coloides, caracterizados por su particular tamaño (de 1 a 1000 nm), presentan una de las principales problemáticas al no poder ser eliminados por técnicas de separación sólido – líquido; por tanto, se requiere la aplicación de reactivos para incrementar su tamaño y precipitación.

Las sales de Fe (III) y Al (III) son probablemente los reactivos más utilizados en la industria por su elevada carga, que favorecen gran parte el proceso de desestabilización coloidal, por descenso de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas.

### **Justificación tecnológica**

Según Aguilar, E. (2015) explica que el tratamiento convencional de aguas residuales industriales por procesos fisicoquímicos implica el uso de grandes cantidades de compuestos químicos como coagulantes, polímeros de origen sintético y sales de hierro. Siendo otro factor a considerar la alta producción de lodos, por su alto contenido de humedad, lo que representa un mayor problema para su disposición final.

Sin embargo, bajo el método de electrocoagulación se obtienen remociones importantes de metales, si los parámetros de operación son optimizados.

Hernández, P. (2011) señala que la aplicación de un sistema electrolítico, por su sencillez, facilidad de montaje y bajo consumo garantiza resultados con mayor posibilidad de remover contaminantes en el proceso: SST, turbidez, DQO y fosfatos.

### **Justificación económica**

Hernández, P. (2011) manifiesta que los principales beneficios económicos que presenta la aplicación de un sistema de electrocoagulación; es la reducción de costos en adición de reactivos, ya que el proceso genera coagulantes *in situ* los cuales son provistos por el electrodo de sacrificio (placas metálicas) aplicando una diferencia de potencial.

Además, tiene altos valores de eficiencia energética y tiempos menos prolongados de tratamiento.

Por otro lado, Martínez, F. (2007) señala que esta tecnología representa una opción económica, en vista que la remoción de contaminantes se efectúa en una sola operación, ya que el proceso es llevado a cabo en condiciones *in situ*. Asimismo, indica que el capital y los costos de operación son inferiores si se compara con una coagulación química convencional.

## **1.6 Hipótesis**

### **Hipótesis general:**

Se afirma que la aplicación de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo tiene una eficiencia mayor a 80% para la remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre – Huachipa, 2018.

### **Hipótesis específicas:**

- La optimización de parámetros se da en un rango de tiempo de 15 a 30 min y una intensidad de corriente entre 6A a 9A en el sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre - Huachipa - 2018.

- La velocidad de reacción es de segundo orden en el sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre - Huachipa - 2018.
- El análisis de costo del sistema de electrocoagulación indica teóricamente que es 20% menos costoso que la coagulación química para la remoción de Cromo (VI) y DQO de curtiembre - Huachipa - 2018.

## **1.7 Objetivos**

### **Objetivo General:**

Evaluar el nivel de eficiencia de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de Cromo (VI) Y DQO de Curtiembre - Huachipa – 2018.

### **Objetivos específicos:**

- Definir el tiempo e intensidad de corriente óptimos de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre - Huachipa - 2018.
- Determinar la velocidad de reacción de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción Cromo (VI) de Curtiembre- Huachipa – 2018
- Estimar el costo total de la aplicación de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción cromo (VI) y DQO de Curtiembre- Huachipa - 2018

# **CAPÍTULO II**

## **MÉTODO**

## **II. MÉTODO**

### **2.1 Diseño de investigación**

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, en vista de que los procesos que se ejecutan son secuenciales y probatorias. Surge de una idea la cual una vez delimitada, implica el planteamiento de objetivos y preguntas de investigación, teniendo en cuenta una perspectiva teórica. A parte de este punto se plantean y establecen hipótesis y se determinan variables; desarrollándose un diseño y la recolección de datos que permitan medir los fenómenos estudiados.

Los alcances de la investigación son de tipo explicativo, estas investigaciones están muy bien estructuradas y además facilitan un sentido del entendimiento del fenómeno al que se hace referencia. También es de alcance descriptivo, ya que se busca especificar las características del fenómeno que se somete en el análisis. (Hernández, R. 2013, p 85).

Los diseños experimentales, pretenden establecer la posibilidad de que se lleve a cabo un efector por aplicación de una causa (la cual es manipulada). El primer requisito de un diseño experimental es la presencia de una o más variables independientes. Dado que la variable independiente será evaluada como la supuesta causa con respecto a la dependiente (efecto provocado). La variable independiente es la variable de interés del investigador, siendo esta la que manipulara para observar los cambios en la variable dependiente. El segundo requisito es que el efecto de la variable dependiente es medible. El tercer requisito es tener control de la situación experimental (saber que ocurre realmente que ocurre con la variable dependiente e independiente).

Tipos: experimento puro, tiene dos requisitos: manipulación de la variable dependiente y equivalencia de los grupos. La presente investigación tiene un diseño experimental factorial, en vista que se pretende analizar experimentalmente el efecto que sobre la variable dependiente tiene la manipulación de más de una variable independiente (Hernandez, R, 2013, p.144).

La construcción básica de un diseño factorial consiste en que todos los niveles o modalidades de cada variable independiente son tomados en combinación con todos los niveles o modalidades de las otras variables independientes. (Hernández (Wiersma y Jurs, 2008).

## **2.2 Variables, Operacionalización**

### **2.2.1 Variables**

La variable independiente es aquella que no depende de la otra variable, mientras que la variable dependiente está sujeta a la variable independiente, es decir electrocoagulación de flujo continuo influye en la remoción de cromo (VI) y DQO en la celda de electrocoagulación.

#### **Variable Independiente: Electrocoagulación de flujo continuo**

La electrocoagulación es la aplicación de técnicas para el tratamiento de aguas residuales. Consiste en la remoción de los contaminantes provenientes de diferentes efluentes mediante el principio de coagulación-floculación en un reactor electrolítico, sin embargo, en este proceso no se aplican coagulantes químicos; ya que estos son generados a partir de la oxidación del electrodo de sacrificio. Morales (2015).

#### **Variable Dependiente: Remoción de Cromo (VI)**

Según Muñoz, N. (2010) el cromo hexavalente presenta una alta solubilidad en los cuerpos de agua, móvil en el ambiente, con efectos tóxicos, mutagénicos y carcinogénicos. Siendo uno de los compuestos químicos más producidos en la industria.

#### **Variable Dependiente: Disminución de DQO**

Sánchez & Herzing (2007) afirman que la demanda química de oxígeno, es la concentración de oxígeno que permite la descomposición de la materia orgánica y los compuestos inorgánicos. El parámetro se usa para determinar la cantidad de contaminante orgánico en efluentes residuales

### **2.2.2 Operacionalización de variables**

La variable independiente del estudio: Electrocoagulación de flujo continuo, responde a las dimensiones del estudio, los cuales son; parámetro operacional, Cinética química y análisis de costo, cada uno con los indicadores correspondientes, por otra parte, las variables dependientes, remoción de cromo (VI) y remoción de DQO con la dimensión análisis químico con sus respectivos indicadores. Anexo I

## **2.3 Población y Muestra**

### **2.3.1. Unidad de estudio**

El efluente residual de la etapa de curtido al cromo de la curtiembre industria Peletera Artesanal S.A.C. Huachipa.

### **2.3.2. Población**

Todo el efluente residual de la etapa de curtido al cromo de la curtiembre industria peletera artesanal S.A.C. Huachipa.

### **2.3.3. Muestra**

La muestra fue 180 litros de efluente de la etapa de cromado de la empresa Industria Peletera Artesanal S.A.C, ya que se realizará cuarenta y ocho experimentos en el que se utilizará cuatro litros por prueba.

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

### **2.4.1 Técnica de recolección de datos**

Para el presente trabajo de investigación se aplicó la técnica de la observación, el cual consiste en registrar los cambios producidos después del tratamiento en el sistema de electrocoagulación de flujo continuo para el análisis posterior.

### **2.4.2. Instrumento de recolección de datos**

Como instrumento para el registro del trabajo de investigación se realiza ficha de registro de datos de laboratorio el cual se adjuntará en el Anexo III y IV

### **2.4.3 Validez y Confiabilidad**

CARRASCO refiere que Validez es el atributo de los instrumentos de investigación el cual consiste en que miden con objetividad, precisión, veracidad y autenticidad aquello que se desea medir de la variable de estudio, es decir un instrumento es válido cuando mide lo que se desea medir, cuando nos permite extraer datos que preconcebidamente necesitamos conocer.(2006,p.336), es por ello que el instrumento será mediante la aprobación de seis expertos, debido a su experiencia evaluaron y validaron los instrumentos teniendo como resultado un promedio de 85% de validación.

Por otra parte, la confiabilidad de la medición estará determinado por la calibración de los equipos de medición de la Universidad Cesar Vallejo.

**Tabla N°8: Juicio de expertos**

Apellidos y Nombres	Especialidad del validador	Promedio de validación
Espinoza Farfán, Eduardo	Temático	85%
Suarez Alvites, Alejandro	Temático	81%
Cabello Torres, Rita	Temático	90%
Cuellar Bautista, José	Temático	85%
Sernaque Auccawassi, Fernando	Metodólogo	85%
Martell, Javier	Metodólogo	84%
		Promedio: 86%

Fuente: Elaboración propia.

## 2.5 Método de análisis de datos

### 2.5.1 Metodología del desarrollo del proyecto

#### *Caracterización fisicoquímica de las muestras*

Se trabajó con el efluente generado en la etapa de curtido al cromo de la Industria Peletera Artesanal S.A.C.; recolectadas directamente del botal donde se ejecuta esta etapa.

Esta curtiembre procesa principalmente pieles de ovino, caprino, vacuno; y produce efluentes de distintas características; por tanto, se determinó hacer uso específicamente solo de la etapa de curtido al cromo de las pieles de caprinos. Para la caracterización inicial se procedió a tomar 3 muestras en distintos días, las cuales fueron representativas. Estas muestras fueron depositadas por cada uno en 3 recipientes de poliuretano para su análisis, de capacidades de: 500 ml, 250 ml y 100 ml. Las muestras fueron caracterizadas según los parámetros que se indican en la **Tabla N°9**.

**Tabla N°9: Parámetros evaluados y metodología de análisis.**

Parámetro	Unidad	Método
pH	Unidades de pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B.22nd Ed.
Conductividad Eléctrica	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B.22nd Ed.
Turbidez	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B.22nd Ed.
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D Ed 23_A_PE
Cromo (VI)	mg/l	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Cr-B..23nd Ed.

Fuente: Elaboración propia

### ***Ensayos preliminares***

Se llevó a cabo la realización de pruebas preliminares de electrocoagulación en Bach de capacidad de 1.8 L, se empleó una celda de acrílico de capacidad de 2 L tal como se muestra en la Figura 7; se usaron ánodos de aluminio y cátodos de hierro; se aplicó una distancia de 10 mm entre electrodos, se trabajó con una densidad de corriente de 8 A/m<sup>2</sup> y un tiempo de reacción de 30 minutos. El experimento se realizó con el efluente originado en la etapa de curtido al cromo. Los parámetros que fueron monitoreados son: Turbidez, conductividad eléctrica y pH.

**Figura N°8: Ensayos Preliminares**



### ***Diseño, construcción y evaluación del sistema de electrocoagulación***

Con respecto a las pruebas preliminares se elaboró el diseño del reactor de electrocoagulación; para determinar el nivel de eficiencia del sistema se utilizó como variable de respuesta los valores de concentración de DQO y cromo (VI), así mismo los siguientes parámetros fueron monitoreados: turbidez, conductividad eléctrica y pH.

### ***Fuente de poder***

Se utilizó una fuente de poder de corriente directa, contaba con los siguientes componentes: voltímetro digital, controles de regulación de los niveles de voltaje; cuya finalidad fue regular la cantidad de corriente inducida a la celda de electrocoagulación, la fuente de poder tenía un suministro de corriente constante de 8 amperios y un rango de voltaje de 0 a 50V. Para verificar las lecturas de intensidad de corriente en los medidores digitales, se empleó

una pinza amperimétrica y un multítester, para llevar el control del tiempo se usó un cronómetro.

### ***Reactor de electrocoagulación***

Se construyó un prototipo a escala de laboratorio para un régimen continuo, con dimensiones de 14 cm de largo, 10 cm de ancho y 17 cm de altura, tuvo una capacidad de 2 litros; se usó acrílico transparente para la elaboración de la celda, la forma del reactor es la de un paralelepípedo rectangular tal como se observa en la figura X. En el interior de la celda se situaron separadores de acrílico para soporte de los electrodos. Los electrodos que se utilizaron son placas metálicas de forma rectangular de aluminio y hierro ubicadas en paralelo con las siguientes dimensiones 6.9cm x 9.6cm con un espesor de 3mm, estas medidas se aplicaron para todas las placas. Se dispuso que la distancia entre placas fuese de 10mm. Respectivamente todos los electrodos fueron conectados a la fuente de alimentación, cuya función era suministrar la corriente eléctrica que se requería para llevar a cabo el proceso de electrocoagulación. Para llevar un control del caudal se utilizó un equipo de microgoteo vuotrol.

**Figura N°9: Ensayos Preliminares Electroflotacion**



### ***Pruebas de electrocoagulación***

El proceso de electrocoagulación está influenciado por distintos factores tales como: la densidad de corriente, pH, conductividad del efluente, tiempo, además del material de los electrodos y la distancia de las placas; por tanto, la optimización de dichas variables faculta

obtener mejores niveles de eficiencia en el tratamiento del efluente residual. Para llevar a cabo la optimización se realizaron pruebas de electrocoagulación basado en un diseño experimental factorial realizado al azar, empleando un reactor continuo de capacidad de 2 L, la experimentación se realizó con muestras puntuales del efluente de la etapa de curtido al cromo, estableciéndose que la distancia entre electrodos es de 10mm. Posterior a cada experimento, se tomaron muestras y se variaron los siguientes parámetros:

### ***Intensidad de Corriente***

El proceso de electrocoagulación se realizó utilizando diferentes intensidades de corriente, siendo estos:  $I_1=6A$ ,  $I_2=7A$ ,  $I_3=8A$  y  $I_4=9A$ ; para el monitoreo de dichas unidades se ejecutó el uso de un Multitester.

### ***Tiempo***

Las pruebas se ajustaron a 4 valores de tiempo:  $t_1=15min$ ,  $t_2=20min$ ,  $t_3=25min$ ,  $t_4=30min$ ; para controlar estos valores se usó un cronómetro.

### ***Cálculo del porcentaje de remoción***

Los resultados obtenidos se manifestaron en porcentajes de remoción (%R) de DQO y cromo (VI), los cuales se hallaron bajo la siguiente ecuación:

$$\%R = \left( \frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100 \quad (13)$$

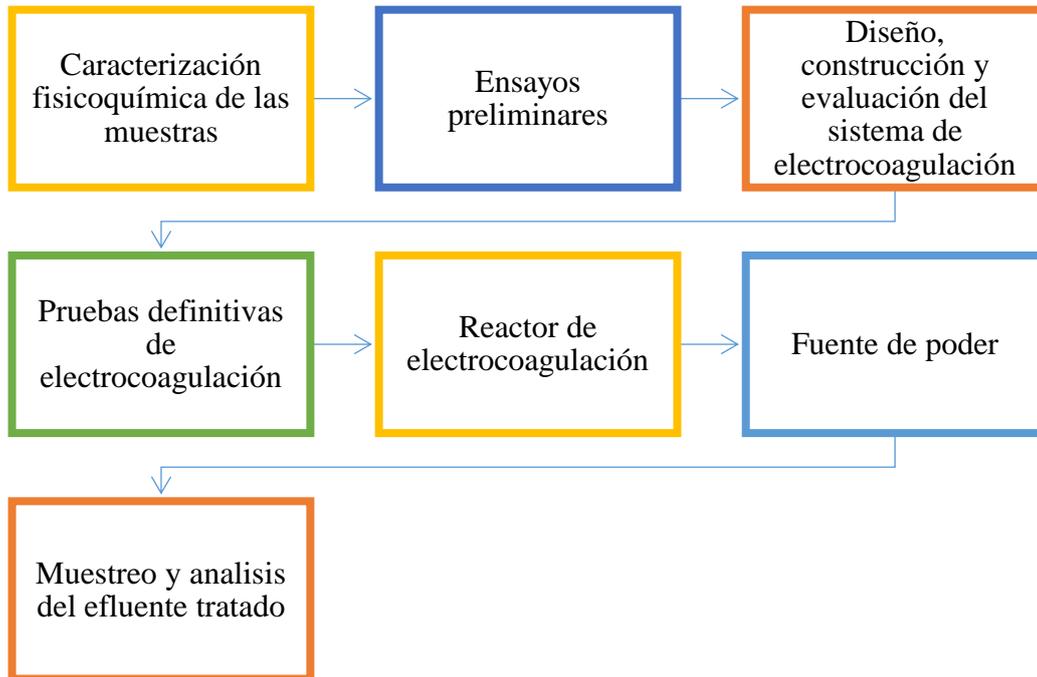
*Donde:*

- %R: Porcentaje de remoción de DQO y cromo (VI)
- $C_0$ : Concentración inicial (mg/L)
- $C_t$ : Concentración final (mg/L)

### **Influencia del caudal**

Para el sistema de flujo continuo se utilizó un caudal equivalente a 2 ml/s. Para determinar el caudal de trabajo en nuestro prototipo de flujo continuo, se tuvo en consideración mantener el nivel del efluente en el reactor al mismo nivel que cubriera los electrodos.

## Metodología de desarrollo



### Especificaciones técnicas:

#### Descripción del sistema

##### *Fuente de abastecimiento de efluente sin tratamiento*

La fuente de abastecimiento del efluente residual de curtido al cromo sin tratar estuvo ubicado a una altura de 65 cm de nivel del piso, ya que esta permitió que el efluente fluctuó a la celda de electrocoagulación por la fuerza de la gravedad. Las dimensiones fueron un acho de 15 cm, altura de 15 cm, un largo de 15 cm y tendrá una capacidad de 3375 cm<sup>3</sup>, teniendo así la forma de un cubo. El material usado para construir la fuente es acrílico transparente, el cual tienen un espesor de 3mm. La llave fue de tipo esfera Metálico de ½” de entrada, de salida ¾ y de cierre ¼ de vuelta, así mismo esta llave permitirá determinar el caudal de salida a la celda de electrocoagulación. Ver anexo IX

Fórmula para determinar Caudal (Q)

$$Q = \frac{\text{Volumen}(m^3)}{\text{Tiempo}(S)} \quad (14)$$

### ***Celda de electrocoagulación***

La celda de electrocoagulación de flujo continuo tuvo la capacidad de tratar 2000 cm<sup>3</sup> de efluente residual, el material empleado para construir la celda fue acrílico transparente y tiene la forma de un paralelepípedo rectangular, ya que la base la celda es rectangular. Ver anexo V

**Tabla N°10: Características de la celda**

Dimensiones de la celda	
<b>Largo</b>	14 cm
<b>Ancho</b>	10 cm
<b>Altura</b>	17 cm
<b>Zona de Flotación</b>	4 cm
<b>Zona de Reacción</b>	9 cm
<b>Zona de Sedimento</b>	4 cm

*Fuente: Elaboración propia*

**La celda tendrá tres zonas:**

**Zona de sedimentación:** Esta zona es donde precipitaron los flóculos formados en la zona de reacción y tuvo un espacio de 4 cm del nivel de la base de la celda. Ver anexo V

**Zona de flotación:** Espacio en el que se acumuló los componentes formados en la reacción química de la celda.

**Zona de reacción.** Espacio en el que se dio el proceso de electrocoagulación, ya que los electrodos estaban sumergidos en la celda de electrocoagulación tuvieron una altura de 9 cm x 10 cm x 13 cm y un espesor de electrodo de 3 mm, además tiene un área superficial de 54 cm<sup>2</sup> por placa. Los electrodos que se usarán fueron de Aluminio (ánodo) y fierro (cátodo). La elección de los electrodos se basa en los trabajos previos.

Arango, A (2007), Estableció la siguiente fórmula para determinar los electrodos necesarios a aplicar en una celda de electrocoagulación.

$$N^{\circ} \text{ electrodos} = \frac{(\text{ancho de la celda}) - (2 * \text{dist. electrodos a cara lateral})}{(\text{dist. máxima entre electrodos} + \text{espesor de placa})} \quad (15)$$

$$N^{\circ} \text{ de electrodos} = \frac{(140 \text{ mm}) - (2 * 20 \text{ mm})}{10 \text{ mm} + 3 \text{ mm}} = 7.69 \quad (16)$$

En base a la ecuación dos y tres se determinó la cantidad de electrodos necesarios para la celda de electrocoagulación, el resultado de la ecuación tres se redondea con la finalidad de obtener un número par, es así que se tiene 8 placas, de los cuales cuatro fueron de hierro (cátodo) y cuatro de Aluminio (ánodo)

**Descripción de varillas:** La varilla tiene una longitud de 17 cm y es de 1/3 pulgadas, esta estaba a una distancia de 1 cm de la cara lateral de la celda-electrodo.

**Fuente poder:** tubo la siguiente característica; un botón para controlar el Voltaje, un botón de encendido y apagado, así mismo en la salida del cátodo y ánodo se acondiciono para conectar cable N° 12 y un conector mechero con pinza, el cual se conectó directo a las varillas. La fuente poder es regulable de 1A a 12A.

#### **Fuente de almacenamiento de efluente residual tratado**

Las dimensiones de la fuente fueron 15 x15 x 15 centímetros y tuvo una capacidad de almacenamiento de 3,375 cm<sup>3</sup> de efluente tratado, esta estaba abastecido de la celda de electrocoagulación.

#### **Fuente de almacenamiento de materiales suspendidos**

Tuvo las dimensiones de 7 x 7 x 7 centímetros con una capacidad de 343 cm<sup>3</sup>, esta estaba construido de acrílico transparente y los materiales flotantes cayeron por la fuerza de la gravedad, así mismo la distancia de la celda a la fuente de

#### **Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)**

TRH es el periodo que permanece un efluente residual en una celda de electrocoagulación y se determina con la siguiente ecuación.

$$TRH = \frac{VOLUMEN\ DEL\ SISTEMA(cm^3)}{CAUDAL\ DEL\ EFLUENTE(\frac{cm^3}{s})} \quad (17)$$

#### **Manguera de abastecimiento y salida de agua tratada**

La manguera que abasteció de efluente residual a la celda de electrocoagulación y agua tratada fue de 0.39", con una extensión de 30 centímetros, el material fue PVC transparente de 0.39". El Policloruro de vinilo se escoge por la resistencia a una temperatura de 60 °C,

por ser un buen aislante de electricidad, capacidad para resistir a sustancias químicas, mínima absorción de agua.

### Extracción de muestra para analizar

La muestra para análisis en laboratorio se extrajo de la fuente de almacenamiento de los efluentes tratados, los volúmenes extraídos fueron según especificaciones técnicas de laboratorio.

**Tabla N°11: Materiales para la construcción de la celda**

Componentes del prototipo	Dimensiones	Material
Cuerpo de fuentes de almacenamiento(x3)	a= 15cm	Acrílico
	h=15cm	
	l=15 cm	
Cuerpo de fuente de almacenamiento de material flotante	a= 7cm	Acrílico
	h=7cm	
	l =7 cm	
Cuerpo del reactor	a= 10cm	Acrílico
	h=17cm	
	l= 14cm	
Electrodos	l=	Aluminio y Hierro
	a=	
	e= 3 mm	
Varilla	1/3pulgada	Cobre
Alambre	n° 12	Cobre
Conector	Conector mechero con pinza	Metal
Volutrol	0.5	PVC
Manguera de lodo	1"	PVC
Melanina	40 cm x 30 cm x 18 mm	Madera

Fuente: elaboración propia. A= ancho, H= altura, l= largo, e= espesor

### Procedimiento experimental

Se recopiló información correspondiente a la electrocoagulación y se realizó el diseño en AutoCAD del sistema de electrocoagulación de flujo continuo, según las características mencionadas en el trabajo.

### Suministro de materiales

Los materiales se cotizaron según el diseño en AutoCAD, para el armado del prototipo de electrocoagulación de flujo continuo.

*Las empresas proveedoras de material fueron:*

*Soporte del sistema: INNOVUS S.A.C*

*Material acrílico: INNOVUS S.A.C*

### ***Acondicionamiento de área***

El prototipo se instaló en el laboratorio de Industria Peletera Artesanal S.A.C, previo acondicionamiento y solicitud al personal correspondiente.

### ***Instalación del equipo***

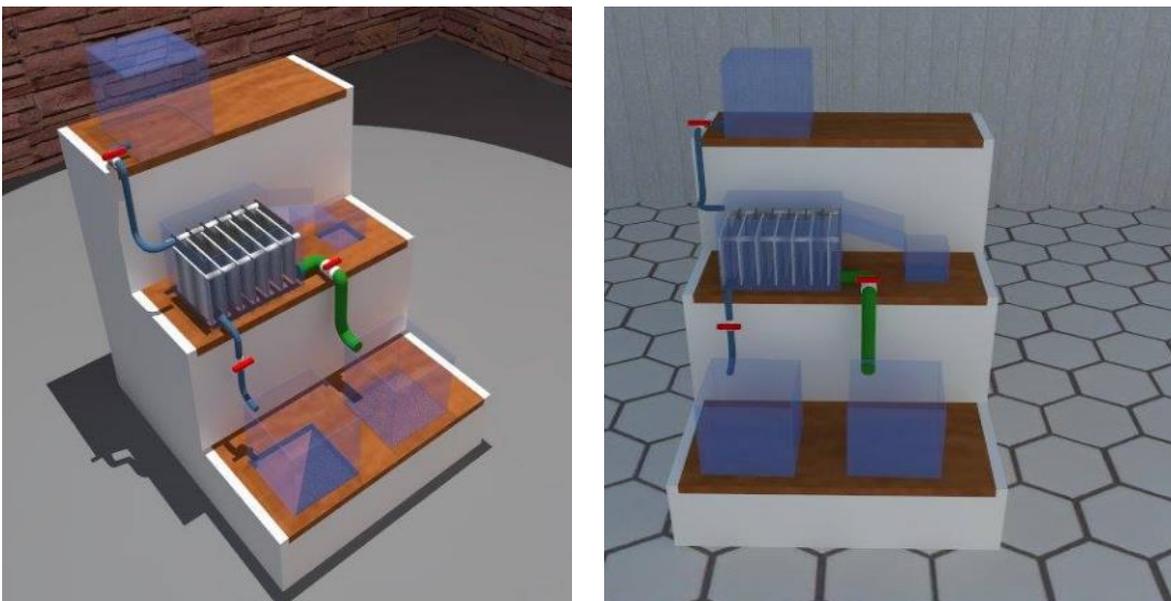
Se armó los soportes y se instaló el sistema de electrocoagulación de flujo continuo, los cuales tuvieron tres escalones:

**Primer escalón:** Una fuente de almacenamiento y otra de los sedimentos.

**Segundo escalón:** Aquí se instaló la celda de electrocoagulación, la fuente de abastecimiento de energía eléctrica y la fuente de depósito de los materiales flotantes.

**Tercer escalón:** Aquí se instaló la fuente de acrílico el cual serbio de abastecimiento a la celda.

**Figura N°10: Montaje del sistema de electrocoagulación de flujo continuo**



Fuente: elaboración propia.

## Recopilación de la muestra

La muestra se tomó directamente de la empresa al finalizar cada proceso y se transportó a la zona de experimentación en la misma planta.

## Metodología de análisis de muestra

El análisis de muestra se realizó en el laboratorio ALAB S.A

## Determinación de cromo hexavalente

La determinación de la concentración de cromo hexavalente fue evaluada por el método 3500-Cr B Método colorimétrico por reacción con difenilcarbazida en solución ácida.

## Determinación de DQO

La determinación de los niveles de DQO fue evaluada por el método dicromato de potasio en base a la referencia del Estándar Método APHA 5220-D.

### 2.5.2 Metodología de análisis de datos

#### *Diseño completamente al azar (DCA) Análisis de Varianza ANOVA*

El trabajo se planteó bajo la perspectiva de un diseño completo al azar (DCA) siendo dieciséis tratamientos con tres repeticiones y como unidad experimental la celda de electrocoagulación de flujo continua, se realizará el análisis de varianza para determinar la existencia significativa entre los tratamientos.

Para la obtención de información se contó con los servicios de laboratorio Alab S.A.C, en el que se caracterizó la muestra antes del tratamiento y después de esta, además se muestra gráficos y tablas que permitieron identificar el comportamiento de las variables. Programas usados fueron Software Excel y SPSS versión 21.1.

**Tabla N°12: Total de tratamientos**

TRATAMIENTOS				
Tiempo	Intensidad de corriente			
	6A	7A	8A	9A
15 min	15min y 6A	15min y 7A	15min y 8A	15min y 9A
20 min	20min y 6A	20min y 7A	20min y 8A	20min y 9A
25 min	25min y 6A	25min y 7A	25min y 8A	25min y 9A
30 min	30min y 6A	30min y 7A	30min y 8A	30min y 9A

Fuente: Elaboración propia

## Análisis estadístico

El diseño experimental aplicado en la investigación fue un diseño factorial 4A4B con 4 niveles de cada factor, teniendo como factores: Intensidad de corriente (A) y Tiempo de residencia (min), en un diseño al azar. Así mismo se elaboró un análisis de varianza de la información mediante Microsoft Excel 2016.

En la Tabla 10 se observa las combinaciones de los factores y los modelos matemáticos para el modelo factorial con dos factores.

**Tabla N°13: ANOVA modelo factorial con dos factores (con replicación)**

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F exp
Factor A	SCA	a - 1	CMA	CMA/CMR
Factor B	SCB	b - 1	CMB	CMB/CMR
AxB	SC(AB)	(a - 1)(b - 1)	CM(AB)	CM(AB)/CMR
Residual	SCR	ab(r - 1)	CMR	
TOTAL	SCT	ab - 1	CMT	

Fuente: Elaboración propia.

Para llevar a cabo el análisis estadístico empleando el software estadístico SPSS, se utilizó la siguiente codificación para cada factor: para el factor voltaje la denominación de A, y los niveles  $I_1=6A$ ,  $I_2=7A$ ,  $I_3=8A$  y  $I_4=9A$  con  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  y  $a_4$  respectivamente; para el factor tiempo la denominación de B y los niveles  $t_1=15\text{min}$ ,  $t_2=20\text{min}$ ,  $t_3=25\text{min}$  y  $t_4=30\text{min}$  con el  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  y  $b_4$  respectivamente.

## 2.6 Aspectos Éticos

En este trabajo de investigación no se comete plagios, ya que la información es obtenida de especialistas y citados debidamente con la finalidad de respetar la producción intelectual, así mismo la información no se manipuló por lo que se consideran reales.

# **CAPÍTULO III**

## **RESULTADOS**

### III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de la evaluación del sistema de electrocoagulación aplicado al tratamiento de un efluente procedente de la etapa de curtido al cromo, contempla los resultados de la caracterización inicial del efluente; y los resultados del proceso de electrocoagulación en sí, que comprende el comportamiento de cada variable que ha sido calculada: DQO, Cromo (VI), turbidez, pH y conductividad, con respecto a la manipulación de los parámetros Intensidad de Corriente y Tiempo.

#### 3.1. Caracterización del efluente

Las características del efluente de la etapa de curtido al cromo de la curtiembre “Industria Peletera Artesanal S.A.C.” varía según la cantidad de pieles que son procesadas, así mismo de la eficiencia que pueda tener el proceso, es decir cuanto cromo es absorbido por las pieles.

Como se puede observar en la Figura N° 11, la muestra obtenida del botal es de coloración azul verdosa, cabe mencionar que es de fuerte pigmentación; y se nota a simple vista la presencia de solidos suspendidos (virutas). Tiene un olor desagradable.

**Figura N°11: Muestra del efluente de la etapa curtido al cromo.**



Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla N°14** se muestran las condiciones iniciales del efluente. Esta caracterización estuvo a cargo de Alab Analytical Laboratory EIRL. Así mismo la tabla indica los métodos de análisis.

**Tabla N°14: Resultados del análisis fisicoquímico de las muestras del efluente de la etapa de curtido al cromo.**

Parámetro	Unidad	M-1	M-2	M-3	Método	D.S. N° 021-2009- VIVIENDA
<b>Cromo (VI)</b>	mg/l	2.57	3.75	3.28	SMEWW-APHA-AWWA- WEF Part 3500-Cr-B..23nd Ed.	0.5
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	mg/l	3251.12	3021.02	2863.1	SMEWW-APHA-AWWA- WEF Part 5220 D Ed 23_A_PE	1000
<b>Turbidez</b>	NTU	35.3	35.52	35.97	SMEWW-APHA-AWWA- WEF Part 2130 B.22nd Ed.	-----
<b>Conductividad Eléctrica</b>	uS/cm	85000	87012	86010	SMEWW-APHA-AWWA- WEF Part 2510 B.22nd Ed.	-----
<b>pH</b>	Unidades de pH	3.5	3.2	3.65	SMEWW-APHA-AWWA- WEF Part 4500-H+ B.22nd Ed.	6 a 9

*Fuente: Laboratorio Alab.*

### 3.2 Análisis de las muestras tratadas por electrocoagulación

Posterior a la aplicación de cada tratamiento en forma individual, se procedió a la toma de muestras, estas fueron depositadas en recipientes de botellas de PVC. Al fin de determinar los valores de cada parámetro para cada tratamiento.

Los parámetros evaluados para determinar la eficiencia del proceso de electrocoagulación fueron los parámetros de cromo (VI), DQO y turbidez; siendo estos valores necesarios para conseguir los porcentajes de remoción con respecto a la caracterización inicial y la caracterización final posterior a la aplicación del método.

#### 3.2.1. Parámetros fisicoquímicos

##### 3.2.1.1. Reducción Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los efluentes posterior al tratamiento

En la **Tabla N°15** se muestran las concentraciones finales de DQO de los 16 tratamientos aplicados, se llevaron a cabo tres repeticiones, se promedió los valores para efectuar la comparación.

**Tabla N°15: Resultados finales de DQO de los tratamientos**

Tratamiento	Experimentación N°1	Experimentación N°2	Experimentación N°3	Promedio mg/L	Porcentaje de Remoción
<b>M0</b>	3251.12	3021.02	2863.10	<b>3045.08</b>	100%
<b>M1</b>	1852.00	1501.00	1879.00	1744.00	42.73%
<b>M2</b>	1782.00	1398.00	1725.00	1635.00	46.31%
<b>M3</b>	1497.00	1312.00	1678.00	1495.67	50.88%
<b>M4</b>	1401.00	1268.00	1572.00	1413.67	53.58%
<b>M5</b>	1360.00	1182.00	1429.00	1323.67	56.53%
<b>M6</b>	1203.00	1056.00	1365.00	1208.00	60.33%
<b>M7</b>	1145.00	998.00	1206.00	1116.33	63.34%
<b>M8</b>	1040.00	961.00	1157.00	1052.67	65.43%
<b>M9</b>	936.00	896.00	1041.00	957.67	68.55%
<b>M10</b>	852.00	825.00	913.00	863.33	71.65%
<b>M11</b>	748.00	759.00	820.00	775.67	74.53%
<b>M12</b>	702.00	721.00	781.00	734.67	75.87%
<b>M13</b>	<b>584.00</b>	<b>654.00</b>	<b>725.00</b>	<b>654.33</b>	<b>78.51%</b>
<b>M14</b>	<b>521.00</b>	<b>600.00</b>	<b>658.00</b>	<b>593.00</b>	<b>80.53%</b>
<b>M15</b>	592.00	691.00	699.00	660.67	78.30%
<b>M16</b>	621.00	741.00	751.00	704.33	76.87%

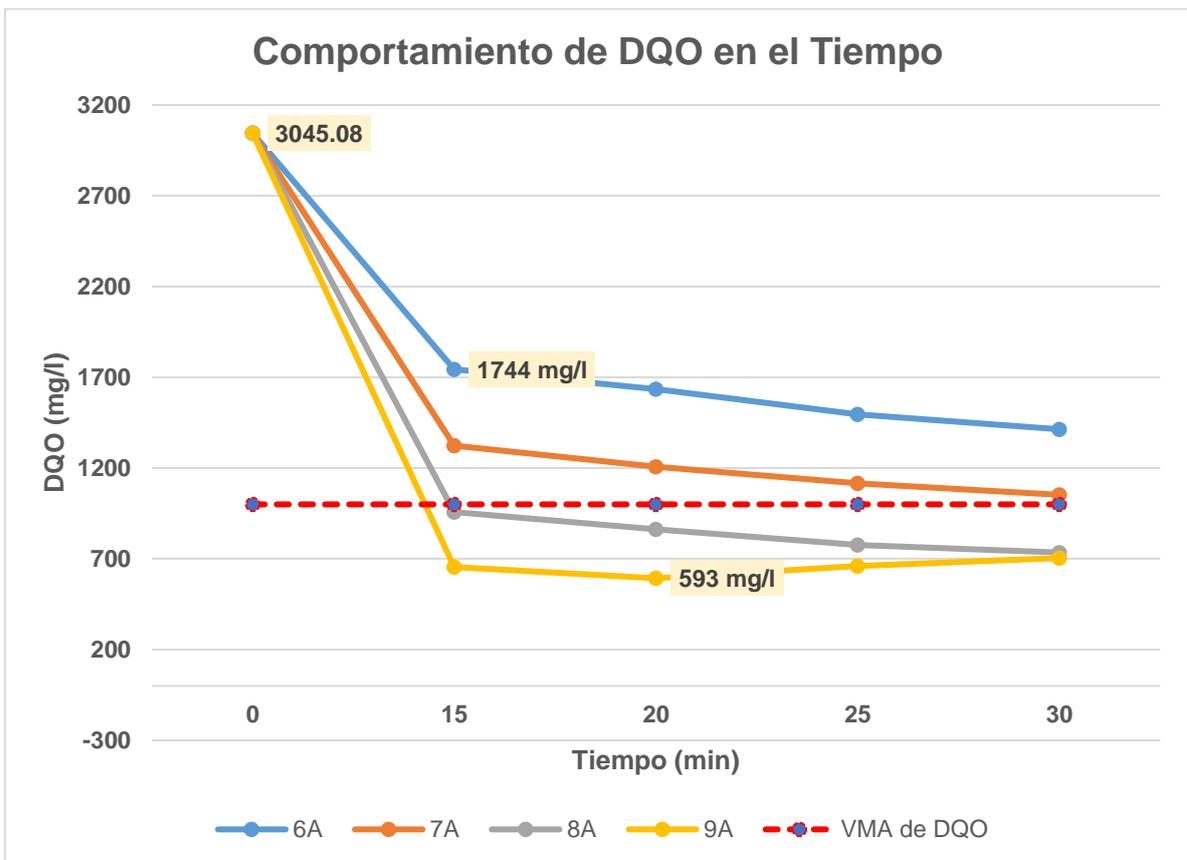
Fuente: Elaboración propia

### Comportamiento de DQO

En la **Gráfico N°1** y **Gráfico N°2** se indican las concentraciones de DQO obtenidas y los porcentajes de reducción de DQO del efluente tratado con respecto al valor inicial (3045.08 mg/l) procedente de la etapa curtido al cromo. El parámetro está expresado en mg/l. La gráfica muestra un evidente comportamiento decreciente para las tres primeras intensidades de corriente aplicadas al sistema (6A, 7A, 8A); sin embargo, en la última intensidad se observa una decreciente hasta los 20 min de aplicados el tratamiento, a partir de ese punto se manifiesta una creciente de los valores de concentración de DQO. Por tanto, el mayor porcentaje de remoción (80.53%) se alcanza al aplicar una intensidad de corriente de 9A en un tiempo promedio de 20 min. Por otro lado, el porcentaje de reducción más deficiente (42.73%) se consigue al aplicar una intensidad de 6A en un tiempo de 15 min.

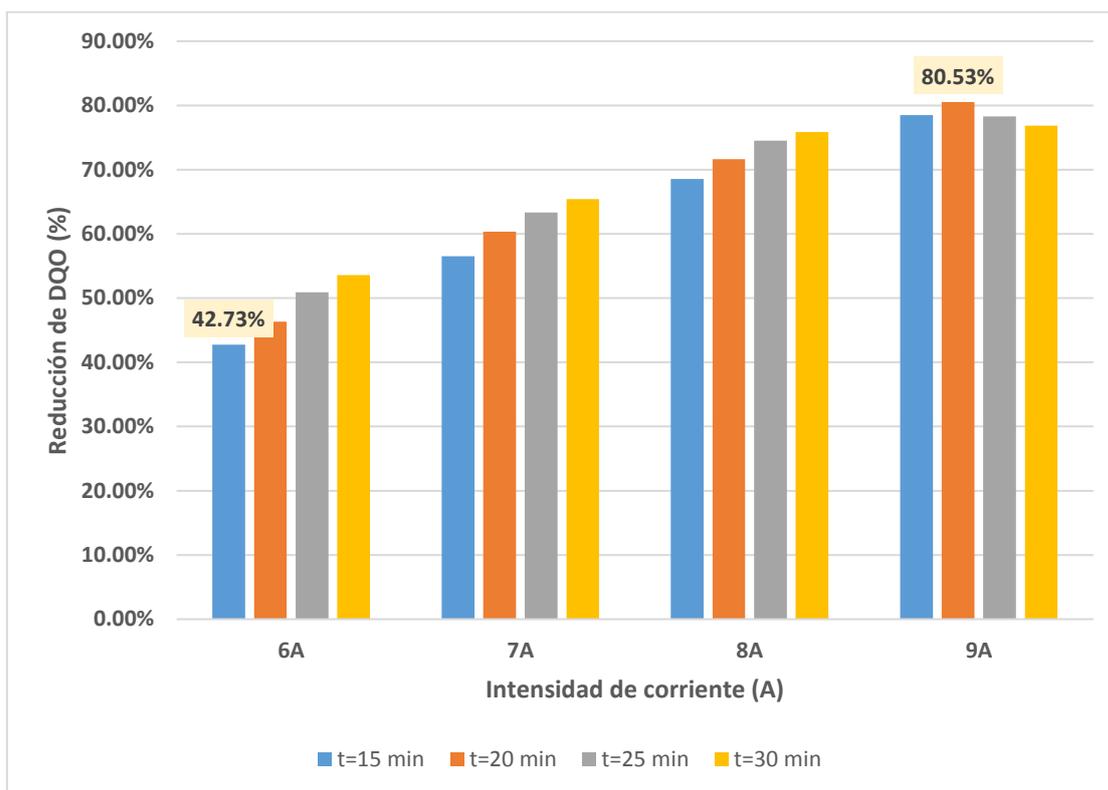
Así mismo en la gráfica se determinó, que al aplicar intensidades de corrientes de 8A y 9A en los tiempos establecidos (15, 20, 25 y 30 min); las concentraciones resultantes (957.67 mg/l, 863.33 mg/l, 775.67 mg/l, 734.67 mg/l, 654.33 mg/l, 593 mg/l, 660.67 mg/l y 704.33 mg/l) se encuentran por debajo de los Valores Máximos Admisibles de DQO (1000 mg/l) para vertimiento a alcantarillados (D.S. 021-2009-VIVIENDA).

**Gráfico N°1: Comportamiento de DQO en el Tiempo**



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N°2: Reducción de DQO vs intensidad de Corriente**



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.2. Remoción Cromo (VI) de los efluentes posterior al tratamiento

En la **Tabla N°16** se muestran las concentraciones finales de Cromo (VI) de los 16 tratamientos aplicados, se llevaron a cabo tres repeticiones, se promedió los valores para efectuar la comparación.

**Tabla N°16: Resultados finales de DQO de los tratamientos**

Tratamiento	Experimentación N°1	Experimentación N°2	Experimentación N°3	Promedio mg/L	Porcentaje de Remoción
M0	2.57	3.75	3.28	3.20	100%
M1	2.30	2.59	2.74	2.54	20.52%
M2	2.16	2.30	2.63	2.36	26.15%
M3	1.99	2.24	2.52	2.25	29.69%
M4	1.93	2.12	2.34	2.13	33.44%
M5	1.81	2.01	2.01	1.94	39.27%

<b>M6</b>	1.72	1.83	1.89	1.81	43.33%
<b>M7</b>	1.69	1.74	1.74	1.72	46.15%
<b>M8</b>	1.61	1.62	1.61	1.61	49.58%
<b>M9</b>	1.58	1.56	2.12	1.75	45.21%
<b>M10</b>	1.52	1.45	1.59	1.52	52.50%
<b>M11</b>	1.30	1.38	1.52	1.40	56.25%
<b>M12</b>	1.23	1.23	1.41	1.29	59.69%
<b>M13</b>	1.12	0.97	1.23	1.11	65.42%
<b>M14</b>	<b>1.03</b>	<b>0.23</b>	<b>0.21</b>	<b>0.49</b>	<b>84.69%</b>
<b>M15</b>	1.55	1.22	1.45	1.41	56.04%
<b>M16</b>	1.62	1.54	1.53	1.56	51.15%

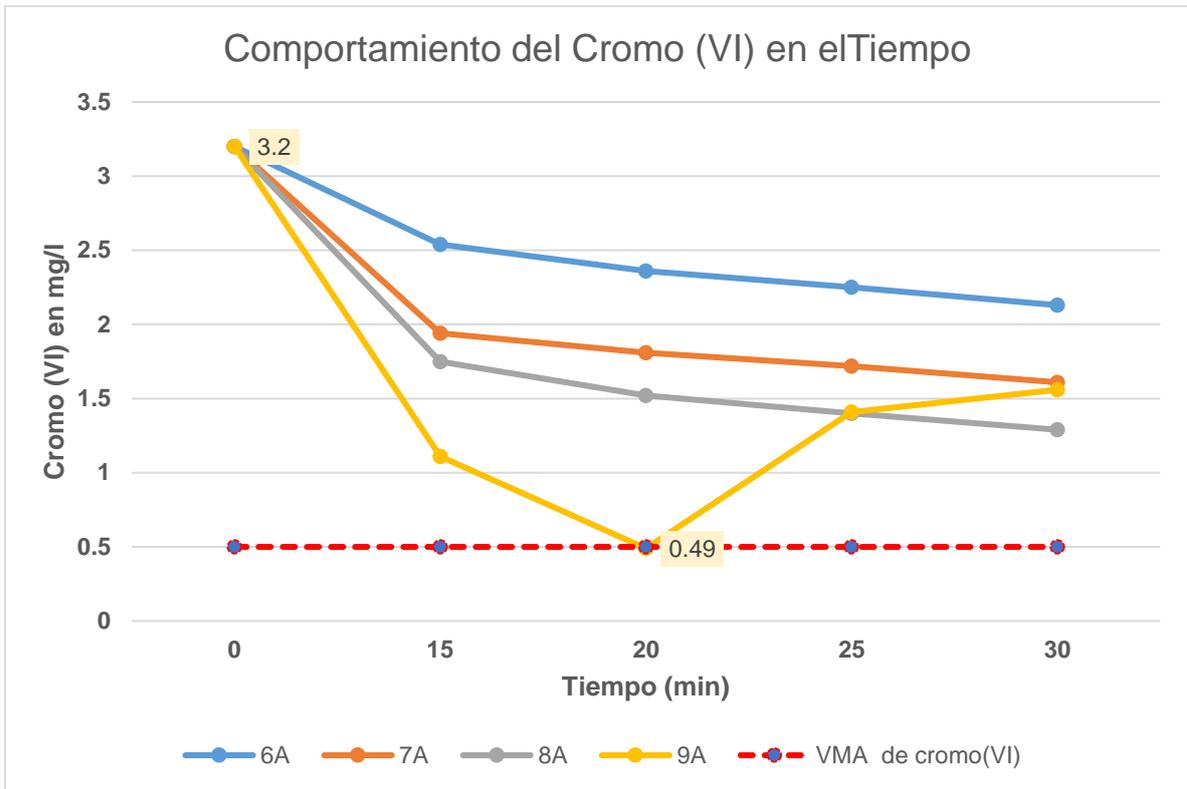
Fuente: Elaboración propia

### **Comportamiento el Cromo (VI)**

En la **Gráfico N°3** y **Gráfico N°4** se indican las concentraciones de Cromo (VI) obtenidas y los porcentajes de remoción de Cromo (VI) del efluente tratado con respecto al valor inicial (3.2 mg/l) procedente de la etapa curtido al cromo. El parámetro esta expresado en mg/l. La grafica muestra un evidente comportamiento decreciente para las tres primeras intensidades de corriente aplicadas al sistema (6A, 7A, 8A); sin embargo, en la última intensidad se observa una decreciente hasta los 20 min de aplicados el tratamiento, a partir de ese punto se manifiesta una creciente de los valores de concentración de Cromo (VI). Por tanto, el mayor porcentaje de remoción (84.69%) se alcanza al aplicar una intensidad de corriente de 9A en un tiempo promedio de 20 min. Por otro lado, el porcentaje de reducción más deficiente (20.63%) se consigue al aplicar una intensidad de 6A en un tiempo de 15 min.

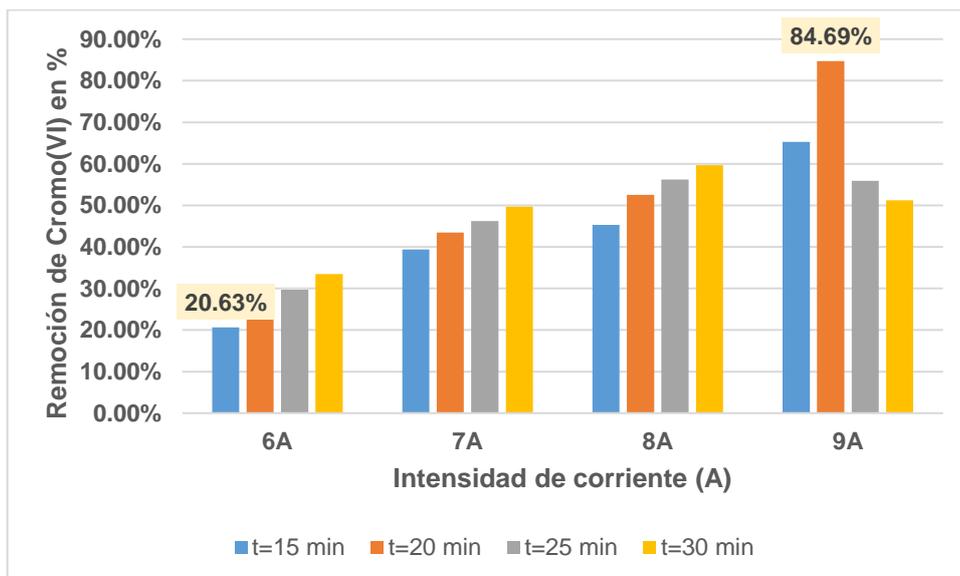
Así mismo en la gráfica se determinó, que al aplicar una intensidad de corriente de 9A en un tiempo de 20 min; se logra una concentración resultante (0.49 mg/l) por debajo de los Valores Máximos Admisibles para Cromo (VI) (0.5 mg/l) para vertimiento a alcantarillados (D.S. 021-2009-VIVIENDA).

**Gráfico N°3: Comportamiento del Cromo (VI) en el Tiempo**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfico N°4: Remoción de Cromo (VI) vs Intensidad de corriente**



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.2. Reducción de Turbidez de los efluentes posterior al tratamiento

En la **Tabla N°17** se muestran los niveles finales de Turbidez de los 16 tratamientos aplicados, se llevaron a cabo tres repeticiones, se promedió los valores para efectuar la comparación.

**Tabla N°17: Resultados finales de DQO de los tratamientos**

Tratamiento	Experimentación N°1	Experimentación N°2	Experimentación N°3	Promedio mg/L	Porcentaje de Remoción
<b>M0</b>	<b>35.30</b>	<b>32.52</b>	<b>40.10</b>	<b>35.97</b>	<b>100%</b>
M1	12.10	13.30	12.84	1744.00	64.57%
M2	21.30	23.20	22.11	1635.00	38.28%
M3	14.07	13.50	13.87	1495.67	61.60%
M4	8.05	7.81	8.15	1413.67	77.75%
M5	9.12	9.28	9.25	1323.67	74.38%
M6	8.94	8.82	8.89	1208.00	75.31%
M7	13.30	13.54	13.22	1116.33	62.88%
M8	18.10	18.18	18.24	1052.67	49.48%
M9	17.00	16.85	16.97	957.67	52.91%
M10	4.28	4.45	4.33	863.33	87.90%
M11	4.39	4.58	4.46	775.67	87.56%
M12	4.33	4.39	4.43	734.67	87.82%
<b>M13</b>	<b>4.08</b>	<b>4.05</b>	<b>4.11</b>	<b>654.33</b>	<b>88.66%</b>
<b>M14</b>	<b>4.08</b>	<b>4.12</b>	<b>4.10</b>	<b>593.00</b>	<b>88.60%</b>
M15	4.06	4.17	4.11	660.67	88.57%
M16	4.02	4.32	4.09	704.33	88.48%

Fuente: Elaboración propia

#### Comportamiento de la Turbidez

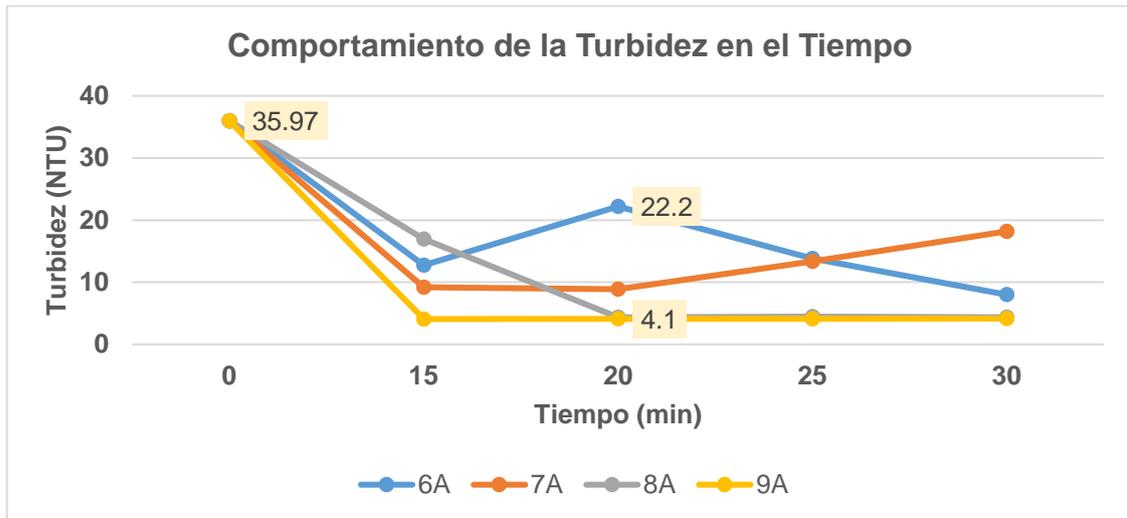
En la **Gráfico N°5** y **Gráfico N°6** se indican las concentraciones de Turbidez obtenidas y los porcentajes de reducción de Turbidez del efluente tratado con respecto al valor inicial (35.97 NTU) procedente de la etapa curtido al cromo. El parámetro esta expresado en NTU (unidad nefelométrica de turbidez).

La grafica muestra que el mayor porcentaje de remoción (88.66%) se alcanza al aplicar una intensidad de corriente de 9A en un tiempo promedio de 15 min. Por otro lado, el porcentaje

de reducción más deficiente (38.28%) se consigue al aplicar una intensidad de 6A en un tiempo de 20 min.

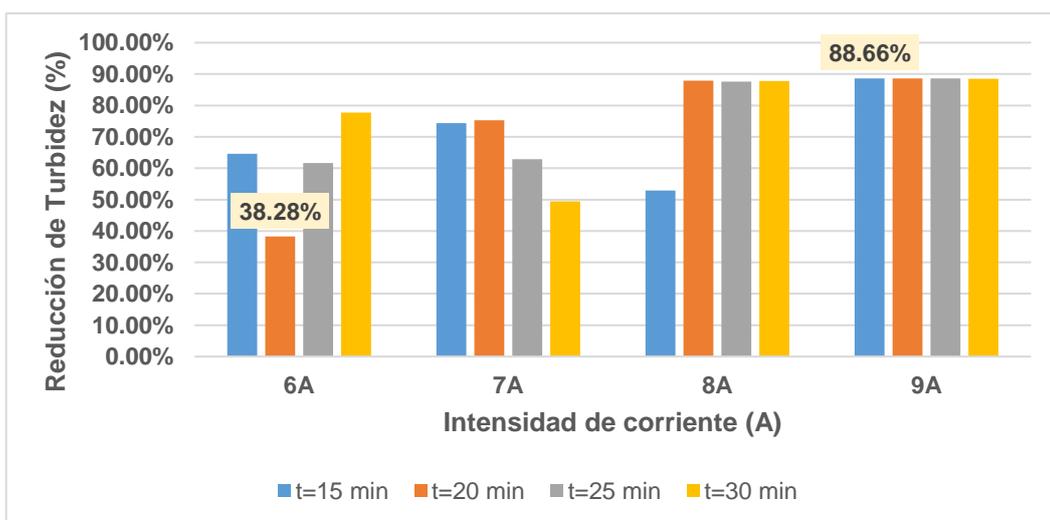
Así mismo en la gráfica se determinó, que al aplicar intensidades de corrientes de 8A y 9A en los tiempos establecidos (15, 20, 25 y 30 min); se obtienen los más bajos niveles de turbidez en el efluente tratado.

**Gráfico N°5: Comportamiento de la Turbidez en el Tiempo**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfico N°6: Reducción de Turbidez vs Intensidad de corriente**



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.4. Potencial de Hidrogeno de los efluentes posterior al tratamiento

En la **Tabla N°18** se muestran las unidades finales de pH de los 16 tratamientos aplicados, se llevaron a cabo tres repeticiones, se promedió los valores para efectuar la comparación.

**Tabla N° 18: Resultados finales de DQO de los tratamientos**

Tratamiento	Experimentación N°1	Experimentación N°2	Experimentación N°3	Promedio mg/L
<b>M0</b>	<b>3251.12</b>	<b>3021.02</b>	<b>2863.10</b>	<b>3045.08</b>
<b>M1</b>	3.90	3.56	3.82	3.76
<b>M2</b>	3.93	4.10	4.03	4.02
<b>M3</b>	3.89	3.78	3.72	3.80
<b>M4</b>	3.95	3.82	3.89	3.89
<b>M5</b>	4.04	4.50	4.30	4.28
<b>M6</b>	4.06	4.35	4.21	4.21
<b>M7</b>	4.04	4.08	4.12	4.08
<b>M8</b>	4.01	4.08	4.10	4.06
<b>M9</b>	4.22	4.52	4.33	4.36
<b>M10</b>	4.28	4.35	4.32	4.32
<b>M11</b>	4.39	4.47	4.41	4.42
<b>M12</b>	4.33	4.42	4.37	4.37
<b>M13</b>	6.04	6.08	5.80	5.97
<b>M14</b>	<b>6.02</b>	<b>6.50</b>	<b>6.30</b>	<b>6.27</b>
<b>M15</b>	4.08	4.12	4.15	4.12
<b>M16</b>	4.08	4.17	4.13	4.13

Fuente: Elaboración propia

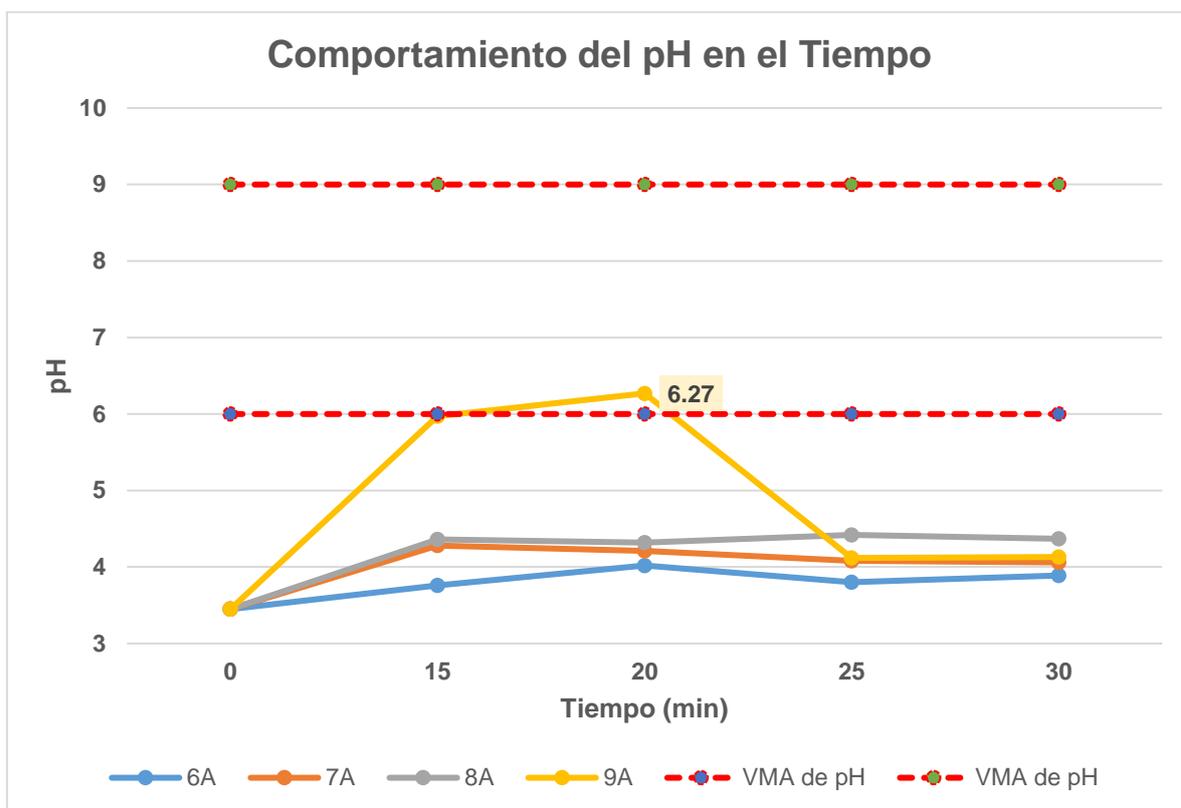
### Comportamiento del pH

En la **Gráfico N°9** se indica los niveles de pH obtenidos del efluente tratado con respecto al valor inicial (pH=3.5) procedente de la etapa curtido al cromo. El parámetro esta expresado en unidades pH.

La grafica muestra un evidente comportamiento creciente al aplicar una intensidad de corriente de 9A al sistema en los dos tiempos (15 y 20 min). A diferencia de las demás intensidades de corriente (6A, 7A y 8A) que mantiene los niveles de pH en un medio acido.

Así mismo en la gráfica se determinó, que al aplicar intensidades de corrientes 9A en un tiempo de 20 min; se logra obtener un nivel de pH (6.27) que se encuentra aceptable para los Valores Máximos Admisibles para vertimiento a alcantarillados (D.S. 021-2009-VIVIENDA).

**Gráfico N°9: Comportamiento del pH en el Tiempo**



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.5. Conductividad Eléctrica de los efluentes posterior al tratamiento

En la **Tabla N°19** se muestran los valores de Conductividad finales de los 16 tratamientos aplicados, se llevaron a cabo tres repeticiones, se promedió los valores para efectuar la comparación.

**Tabla N°19: Resultados finales de DQO de los tratamientos**

Tratamiento	Experimentación N°1	Experimentación N°2	Experimentación N°3	Promedio mg/L
<b>M0</b>	<b>85000.00</b>	<b>87012.00</b>	<b>86010.00</b>	<b>86007.33</b>
<b>M1</b>	84900.00	84905.00	84925.00	84910.00
<b>M2</b>	84600.00	84890.00	84764.00	84751.33
<b>M3</b>	84900.00	84200.00	84804.00	84634.67
<b>M4</b>	84700.00	84581.00	84654.00	84645.00
<b>M5</b>	84092.00	84035.00	84065.00	84064.00

<b>M6</b>	81700.00	81680.00	81692.00	81690.67
<b>M7</b>	80020.00	84800.00	80230.00	81683.33
<b>M8</b>	84620.00	84680.00	84687.00	84662.33
<b>M9</b>	83700.00	83758.00	83789.00	83749.00
<b>M10</b>	82532.00	82599.00	82601.00	82577.33
<b>M11</b>	81236.00	81268.00	81298.00	81267.33
<b>M12</b>	80035.00	80068.00	80085.00	80062.67
<b>M13</b>	63251.00	59631.00	60004.00	60962.00
<b>M14</b>	60001.00	58692.00	52314.00	57002.33
<b>M15</b>	65230.00	70001.00	75363.00	70198.00
<b>M16</b>	70012.00	74523.00	76985.00	73840.00

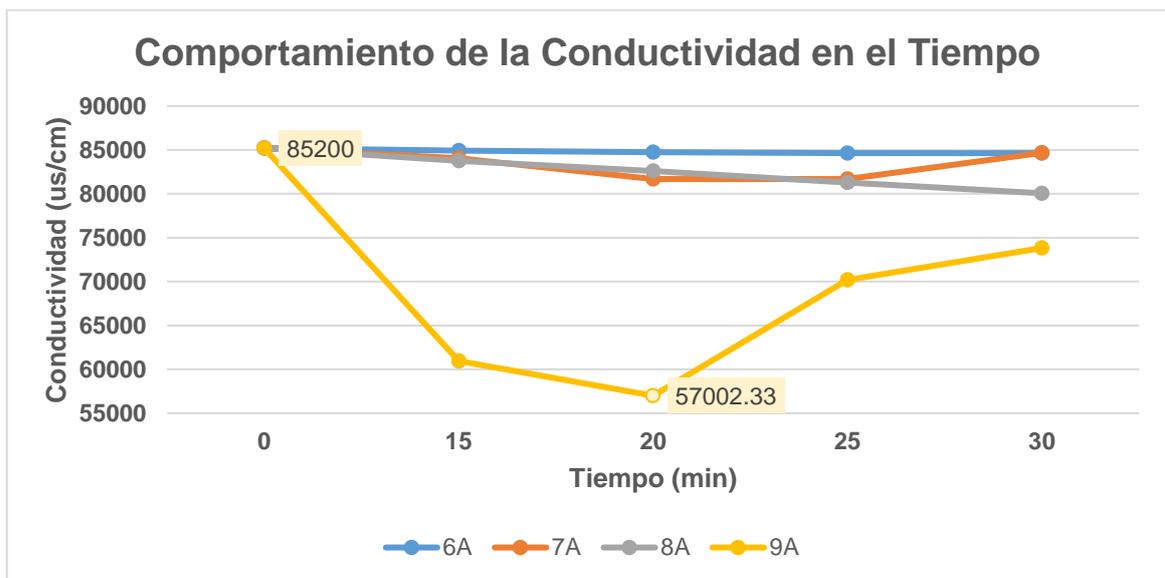
Fuente: Elaboración Propia

### Comportamiento de la Conductividad

En la **Grafico N°10** se indica los valores de Conductividad Eléctrica obtenidos del efluente tratado con respecto al valor inicial (85200 us/cm) procedente de la etapa curtido al cromo. El parámetro esta expresado en valores de us/cm.

La grafica muestra un evidente comportamiento decreciente al aplicar una intensidad de corriente de 9A al sistema en los dos tiempos (15 y 20 min). A diferencia de las demás intensidades de corriente (6A, 7A y 8A) que no muestra variaciones importantes.

**Gráfico N°10: Comportamiento de la Conductividad en el Tiempo**



Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Prueba de Hipótesis

#### Parámetro Cromo (VI)

**Ha:** Presenta diferencias significativas al menos en uno de los factores (tiempo e intensidad de corriente) para la remoción de las concentraciones de Cromo (VI) de las aguas tratadas de la etapa de curtido al cromo.

**Ho:** No presenta diferencias significativas entre los factores (tiempo e intensidad de corriente) y su interacción es nula para la remoción de las concentraciones de Cromo (VI) de las aguas tratadas de la etapa de curtido al cromo.

**Tabla N°20: Análisis de Varianza de los tratamientos para Cromo (VI)**

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
<b>Muestra</b>	0.52180625	3	0.1739354	4.360422	0.01103477	2.90111958
<b>Columnas</b>	8.95223958	3	2.9840799	74.8084992	1.50097E-14	2.90111958
<b>Interacción</b>	2.30901875	9	0.2565576	6.43169513	3.56001E-05	2.18876577
<b>Dentro del grupo</b>	1.27646667	32	0.0398896			
<b>Total</b>	13.0595313	47				

Fuente: Excel 2016

En la **Tabla N°20** se observa que los resultados conseguidos en la prueba estadística ANOVA con un nivel de confianza igual a 95%, que los valores de F son significativos para las muestras (tiempo) y columnas (intensidad de corriente), esto indica que existe una diferencia significativa en ambas variables.

Así mismo el valor de F es significativo para la interacción, señala que existe un efecto significativo entre las variables. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna o del investigador (Ha), es decir existen diferencias significativas entre grupos para la reducción de las concentraciones de Cromo (VI) en el tratamiento de los efluentes de la etapa de curtido al cromo. Se infiere que la aplicación de un Sistema de Electrocoagulación en condiciones óptimas es eficiente para tratar efluentes de la etapa de curtido al cromo.

## Parámetro Demanda Química de Oxígeno

**Ha:** Presenta diferencias significativas al menos en uno de los factores (tiempo e intensidad de corriente) para la remoción de las concentraciones del DQO de las aguas tratadas de la etapa de curtido al cromo.

**Ho:** No presenta diferencias significativas entre los factores (tiempo e intensidad de corriente) y su interacción es nula para la remoción de las concentraciones del DQO de las aguas tratadas de la etapa de curtido al cromo.

**Tabla N°21: Análisis de Varianza de los tratamientos para DQO**

### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
<b>Muestra</b>	259033.75	3	86344.5833	5.885266457	0.00256096	2.901119584
<b>Columnas</b>	5912002.8	3	1970667.58	134.3211511	3.2814E-18	2.901119584
<b>Interacción</b>	166249.42	9	18472.1574	1.259066454	0.29629631	2.188765768
<b>Dentro del grupo</b>	469482	32	14671.3125			
<b>Total</b>	6806767.9	47				

Fuente: Excel 2016.

En el **Tabla N°21** se observa que los resultados conseguidos en la prueba estadística ANOVA con un nivel de confianza igual a 95%, que los valores de F son significativos para las muestras (tiempo) y columnas (intensidad de corriente), esto indica que existe una diferencia significativa en ambas variables.

Así mismo el valor de F no es significativo para la interacción, señala que no existe un efecto significativo entre las variables. Sin embargo, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna o del investigador (Ha), es decir existen diferencias significativas en los grupos para la reducción de las concentraciones de DQO en el tratamiento de los efluentes de la etapa de curtido al cromo. Se infiere que la aplicación de un Sistema de Electrocoagulación en condiciones óptimas es eficiente para tratar efluentes de la etapa de curtido al cromo.

## Parámetro Turbidez

**Ha:** Presenta diferencias significativas al menos en uno de los factores (tiempo e intensidad de corriente para la reducción de los niveles de Turbidez de las aguas tratadas de la etapa de curtido al cromo.

**Ho:** No presenta diferencias significativas entre los factores (tiempo e intensidad de corriente) y su interacción es nula para la reducción de los niveles de Turbidez de las aguas tratadas de la etapa de curtido al cromo.

**Tabla N° 22: Análisis de Varianza de los tratamientos para Turbidez**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
<b>Muestra</b>	32.1480229	3	10.716008	115.2310513	3.12E-17	2.90111958
<b>Columnas</b>	760.254706	3	253.41824	2725.049353	1.32E-38	2.90111958
<b>Interacción</b>	805.810602	9	89.534511	962.7798164	2.48E-36	2.18876577
<b>Dentro del grupo</b>	2.97586667	32	0.0929958			
<b>Total</b>	1601.1892	47				

Fuente: Excel 2016.

En el **Tabla N° 22** se observa que los resultados conseguidos en la prueba estadística ANOVA con un nivel de confianza igual a 95%, que los valores de F son significativos para las muestras (tiempo) y columnas (intensidad de corriente), esto indica que existe una diferencia significativa en ambas variables.

Así mismo el valor de F es significativo para la interacción, señala que existe un efecto significativo entre las variables. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna o del investigador (Ha), es decir existen diferencias significativas entre grupos para la reducción de los niveles de Turbidez en el tratamiento de los efluentes de la etapa de curtido al cromo. Se infiere que la aplicación de un Sistema de Electrocoagulación en condiciones óptimas es eficiente para tratar efluentes de la etapa de curtido al cromo.

## Parámetro pH

Ha: Presenta diferencias significativas al menos en uno de los factores (tiempo e intensidad de corriente para la variación de las unidades de pH de las aguas tratadas de la etapa de curtido al cromo.

Ho: No presenta diferencias significativas entre los factores (tiempo e intensidad de corriente) y su interacción es nula para variación de las unidades de pH de las aguas tratadas de la etapa de curtido al cromo.

**Tabla N°23: Análisis de Varianza de los tratamientos para pH**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
<b>Muestra</b>	3.57443333	3	1.191477778	79.102259	6.87E-15	2.90111958
<b>Columnas</b>	10.3839	3	3.4613	229.79585	1.01608E-21	2.90111958
<b>Interacción</b>	8.81573333	9	0.979525926	65.030767	5.07381E-18	2.18876577
<b>Dentro del grupo</b>	0.482	32	0.0150625			
<b>Total</b>	23.2560667	47				

Fuente: Excel 2016.

En el **Tabla N°23** se observa que los resultados conseguidos en la prueba estadística ANOVA con un nivel de confianza igual a 95%, que los valores de F son significativos para las muestras (tiempo) y columnas (intensidad de corriente), esto indica que existe una diferencia significativa en ambas variables.

Así mismo el valor de F es significativo para la interacción, señala que existe un efecto significativo entre las variables. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna o del investigador (Ha), es decir existen diferencias significativas entre grupos para la reducción de las unidades de pH en el tratamiento de los efluentes de la etapa de curtido al cromo. Se infiere que la aplicación de un Sistema de Electrocoagulación en condiciones óptimas es eficiente para tratar efluentes de la etapa de curtido al cromo.

## Parámetro Conductividad

Ha: Presenta diferencias significativas al menos en uno de los factores (tiempo e intensidad de corriente para la reducción de las unidades de Conductividad de las aguas tratadas de la etapa de curtido al cromo.

Ho: No presenta diferencias significativas entre los factores (tiempo e intensidad de corriente) y su interacción es nula para la reducción de las unidades de Conductividad de las aguas tratadas de la etapa de curtido al cromo.

**Tabla N°24: Análisis de Varianza de los tratamientos para Cromo (VI)**

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
<b>Muestra</b>	118026179	3	39342059.72	9.4579584	0.0001268	2.90111958
<b>Columnas</b>	2875804370	3	958601456.7	230.450891	9.7286E-22	2.90111958
<b>Interacción</b>	480393988	9	53377109.76	12.8320298	2.4108E-08	2.18876577
<b>Dentro del grupo</b>	133109690	32	4159677.813			
<b>Total</b>	3607334227	47				

Fuente: Excel 2016

En el **Tabla N°24** se observa que los resultados conseguidos en la prueba estadística ANOVA con un nivel de confianza igual a 95%, que los valores de F son significativos para las muestras (tiempo) y columnas (intensidad de corriente), esto indica que existe una diferencia significativa en ambas variables.

Así mismo el valor de F es significativo para la interacción, señala que existe un efecto significativo entre las variables. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna o del investigador (Ha), es decir existen diferencias significativas entre grupos para la variación de las unidades de conductividad eléctrica en el tratamiento de los efluentes de la etapa de curtido al cromo. Se infiere que la aplicación de un Sistema de Electrocoagulación en condiciones óptimas es eficiente para tratar efluentes de la etapa de curtido al cromo.

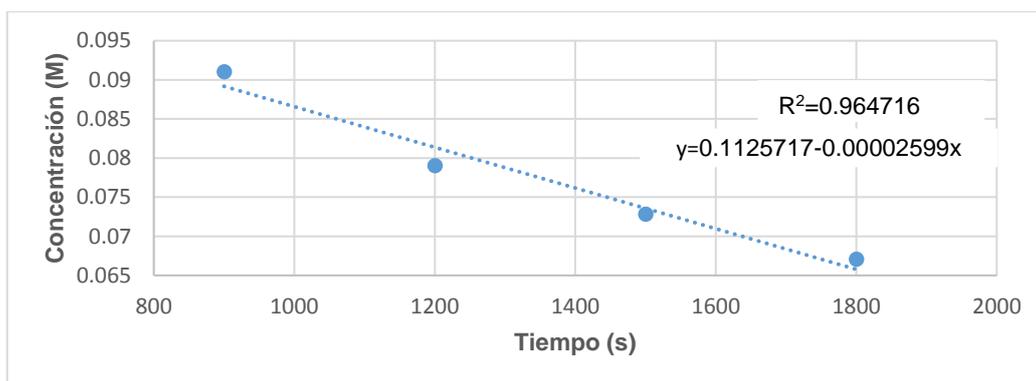
### 3.4. Cinética de degradación a partir de la optimización de parámetros

La cinética se aplicó para las muestras obtenidas del tratamiento de electrocoagulación, se efectuó por un tiempo de reacción de 30 min. Se muestreo cada 5 min. El comportamiento de las variaciones de concentración de DQO y Cromo (VI), es determinado a partir de una cinética de reacción. Por tanto, los valores de concentración obtenidos de forma experimental, fueron evaluados a partir de ecuaciones integradas de primer, segundo y tercer orden de la Ley de Velocidad de Reacción.

#### 3.4.1. Cinética para la remoción de Cromo (VI)

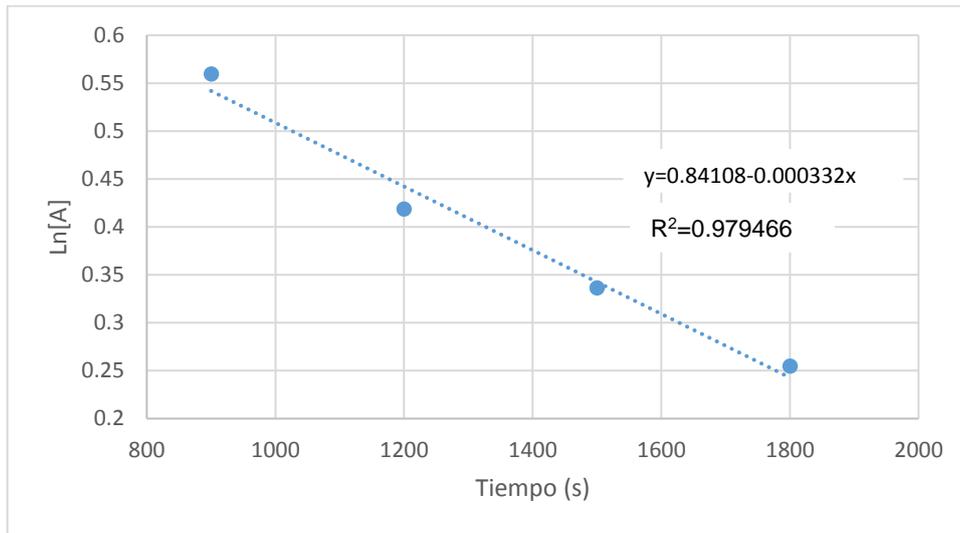
Como se observa en la Figura x el porcentaje de Cromo (VI) es directamente proporcional al tiempo de reacción hasta cierto punto, con un porcentaje máximo de remoción de 84.96% a los 20 min. Indicando que los valores de remoción más notables se obtuvieron durante los primeros 20 min debido que conforme pasa el tiempo de tratamiento, se aglomeran burbujas de O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> sobre la superficie de los electrodos, lo que afecta sobre la eficiencia del reactor.

**Gráfico N°11: Cinética de Cromo (VI) de orden cero**



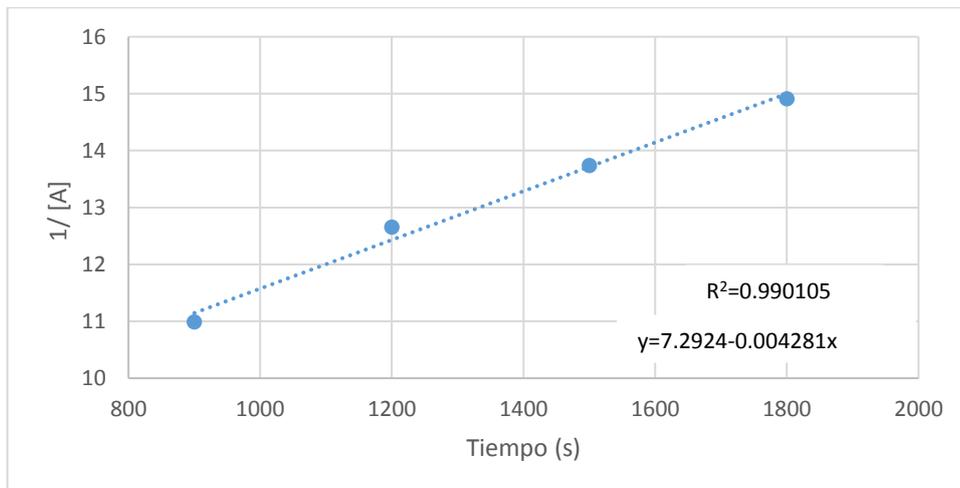
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N°12: Cinética de Cromo (VI) de primer orden**



Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N°13: Cinética de Cromo (VI) de segundo orden**



Fuente: Elaboración Propia

Se alcanzaron resultados eficientes, debido a que en los primeros 20 min se logró reducir las concentraciones de Cromo (VI) a 0.49 mg/l, equivalente a un porcentaje de remoción de 84.69% se consiguió cumplir con los Valores Máximos Admisibles para vertimiento en alcantarillados (D.S. 021-2012-VIVIENDA), que permite una concentración de 0,50 mg/l.

lo que implica que el tratamiento de electrocoagulación es aplicable en la etapa de curtido al cromo.

Para la concentración de Cromo (VI) en nuestra muestra inicial se halló una velocidad de reacción de  $-1.9764 \times 10^{-8}$  M/s. La eficiencia de un sistema de electrocoagulación se verá afectada por las concentraciones iniciales de Cromo (VI). La cinética de remoción de Cromo (VI) para la muestra es de segundo orden, como se puede identificar en la **Grafico N°12**. Por tanto su k cinética es igual a la pendiente 0.004281.

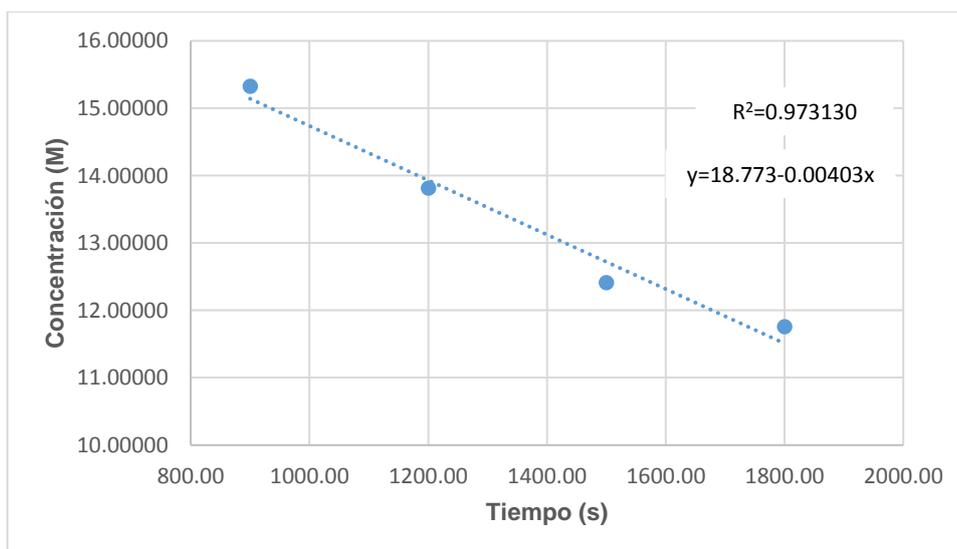
### 3.4.2. Cinética de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Al proceder con la aplicación del método durante 30 min, bajo la previa optimización de los parámetros de operación, se logró un porcentaje de remoción del DQO del 80.53% la cinética de degradación del DQO para la muestra es de segundo orden, como se manifiesta en la **Grafico N°14**.

Los Valores Máximos Admisibles para vertimientos en alcantarillados (D.S. 021-2009-VIVIENDA) impone que los valores de concentración de DQO deben ser menores de 1000 mg/l estos valores se obtuvieron 593 mg/l.

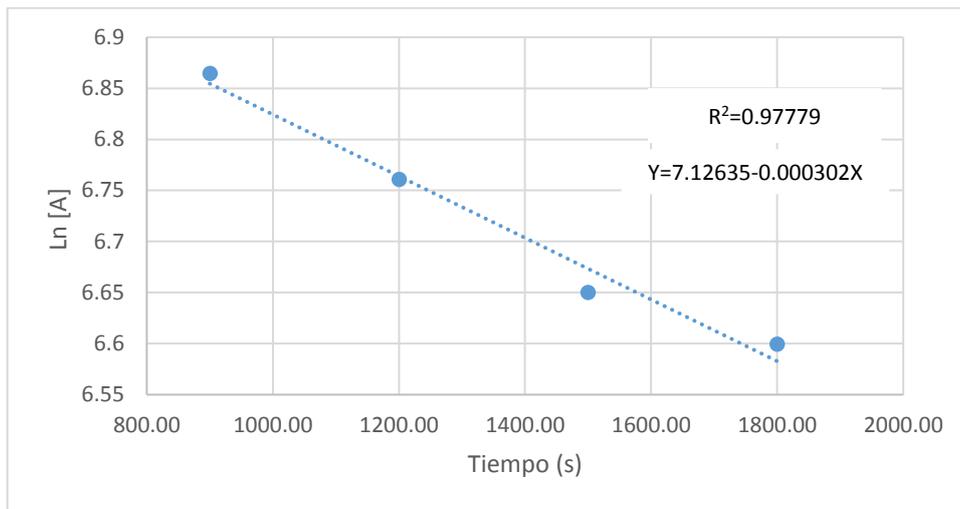
De la **Gráfico N°15** se determina que una velocidad de reacción de  $-1.275 \times 10^{-5}$  M/s de DQO, la constante cinética de reacción es de segundo orden.

**Gráfico N°13: Cinética de DQO de orden cero**



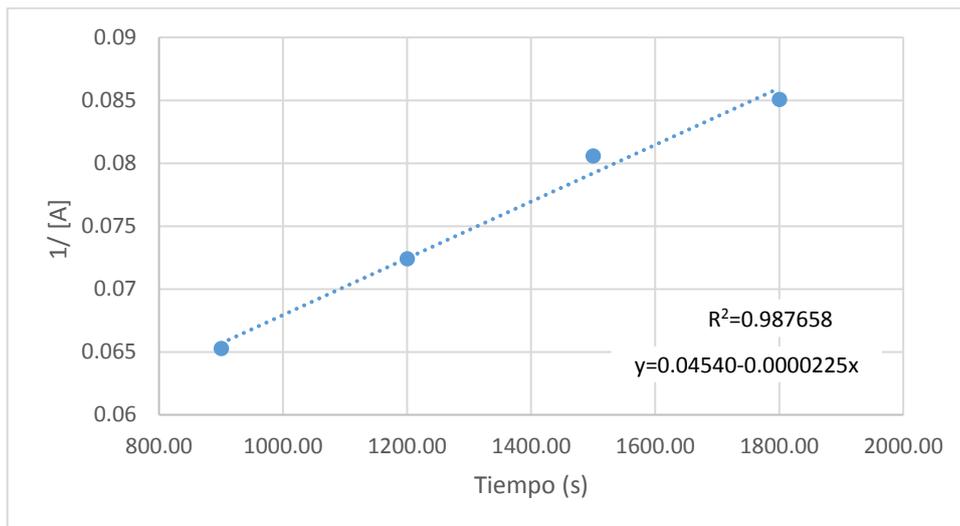
Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico N°14: Cinética de DQO de primer orden**



Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N°15: Cinética de DQO de segundo orden**



Fuente: Elaboración Propia

### 3.5. Análisis de costo

Para evaluar el análisis de costo de efluente residual de la industria curtiembre se realiza la optimización de parámetro y se determina las condiciones del sistema que mayor remoción presenta. El parámetro óptimo del estudio corresponde a los siguientes detalles. 12V, 9 A, 20 minutos, Volumen (2000 ml), teniendo condiciones iniciales de, 86007.33ms/cm, pH 3.45, ánodo (Al) y cátodo (Fe) y distancia entre electrodos de 1 cm.

En base a lo mencionado, el costo total del sistema será evaluado teniendo en cuenta el costo de operación y el costo de los materiales, para ello se considera la siguiente ecuación.

$$\text{Costo total del proceso EC} = \text{Costo Operación} + \text{Costo Materiales}$$

### Costo de operación de EC

El costo del tratamiento para la electrocoagulación se evalúa considerando el costo del electrodo y costo de energía.

$$\text{Costo Operación} = C \text{ Energía} + C \text{ Electrodo} \quad (18)$$

X: precio de la energía eléctrica 74 (0.80 s/kWh)  
 β: precio del electrodo (0.0037 s/. /Kg)

$$\text{Costo de Energía} = \frac{V * I * T}{V * 1000} \quad (19)$$

Teniendo como:

- V: corresponde al voltaje aplicado a la celda (V)
- I: corresponde a la intensidad de corriente (A)
- t: corresponde al tiempo de proceso (h)
- Volumen: corresponde al volumen de agua residual a tratar (m3)

$$\text{Costo de Energía} = \frac{12V * 9A * 0.33}{0.002m^3} \quad (20)$$

$$\text{Costo de Energía} = 17.82 * \frac{KWh}{m^3} \quad (21)$$

$$\text{Costo de Energía} = 17.82 * \frac{KWh}{m^3} * \frac{m^3}{1000L} = 0.018KWh \quad (22)$$

### Determinación de costo de kW del tratamiento óptimo.

60 minutos-----0.018kw

20 minutos----- kW

$$\text{Costo de kW} = \frac{20 \text{ min} * 0.018KW}{60 \text{ min}} \quad (23)$$

**Costo de kW= 0.006kw**

**Determinación de kw a soles**

1 kw-----0.80 soles

0.006kw-----x soles

$$\text{Soles} = \frac{0.006KW * 0.80 \text{ soles}}{1KW} \tag{24}$$

**X = 0.004 soles**

**Determinación de la cantidad de electrodo disuelto en el tratamiento se da por la Primera ley de Faraday**

$$m = \frac{\frac{P}{e} \times I \times t}{F} \tag{25}$$

Donde:

- m: Masa de metal en gramos (g) producida por electrolisis.
- P: Peso molecular del electrodo concerniente (gramos/gramos mol).
- e: Numero de electrones en la reacción de óxido reducción.
- I: Intensidad de corriente en Amperes (A), 1 Ampere = 1 Coulomb segundo.
- t: Tiempo en segundos (s).
- F: Constante de Faraday (96 500 C mol-1).
- Costo de Al (6.70 s/kg)

$$m = \frac{\frac{27g/mol}{3} \times 9A \times 1200 \text{ seg}}{96500c/mol} = \frac{97200gr * A * seg}{96500C} = \frac{0.95gr * A * seg}{C} \tag{26}$$

$$m = \frac{0.95gr * A * seg}{A.seg} \tag{27}$$

**m = 0.95 gr**

La disolución de Aluminio teórico es de 0.95 gramos con 9 A en un tiempo de 20 minutos

**Costo de electrodo**

1kg-----6.70 soles

0.00095kg-----X

$$\text{Costo de electrodo} = \frac{0.00095Kg * 6.70 \text{ soles}}{1 Kg} \tag{28}$$

**Costo de electrodo (Al) = 0.0037soles**

Con base en la información anterior, el costo de operación está dado por:

$$\text{Costo de Operación} = \text{Costo de Energía} + \text{Costo de Electrodo} \quad (29)$$

$$\text{Costo de operación} = 0.004 \text{ soles} + 0.0037 \text{ soles} \quad (30)$$

$$\text{Costo de Operación} = 0.0077 \text{ soles}$$

### Costo de materiales

Los materiales necesarios para el proceso de electrocoagulación y el costo se detallan en lo siguiente:

<b>Materiales</b>	<b>Costo (soles)</b>
Celda de acrílico	150
Cables	12
Pinza	4
Fuente	200
Melanina	120
Otros	75
<b>Total</b>	<b>561</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Determinación de costo total

$$\text{Costo total del proceso} = \text{Costo Operación} + \text{Costo Materiales} \quad (31)$$

$$\text{Costo total del proceso EC} = 0.0077 \text{ soles} + 561 \text{ soles} = 561.0077 \text{ soles} \quad (32)$$

Costo de tratamiento de un metro cubico (m3)

$$2L \text{-----} 0.0077 \text{ soles}$$

$$1000L \text{-----} X \text{ soles}$$

$$\text{Costo m}^3 = \frac{1000 L * 0.0077 \text{ soles}}{2 L} \quad (33)$$

$$X \text{ soles} = 3.85 \text{ soles}$$

**Tabla N°20: Costo de remoción de DQO Cromo (VI) de recurtido**

Referencia	Valor	Unidad	Descripción	Precio Kg	costo de tratamiento de un litro	Gramos	Costo de tratamiento de efluente (m3)
Córdova,H(2014)	5	g/l	soda	8.26	0.041	1000	41.28
Ortiz,N(2013)	6.69	g/l	soda	8.26	0.055	1000	55.24
Pinilla,D(2014)	1	g/l	Soda	8.26	0.008	1000	8.26
Proyecto E.C	0.475	g/l	Electrodo	6.7	0.003	1000	3.18

En la **tabla Tabla N°20** se observa los costos de diferentes experimentos en la reducción de DQO y Cromo (VI) de un efluente de recurtido de la industria del cuero.

Se evidencia que el costo de tratamiento por el sistema planteado es accesible y de bajo costo a comparación con otros tratamientos.

#### **IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Respecto al objetivo principal que plantea “Evaluar el nivel de eficiencia de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) Y DQO de Curtiembre - Huachipa – 2018” en los efluentes de la etapa de curtido al cromo, se lograron porcentajes de remoción de 84.96% para Cromo (VI) y 80.53% para DQO, alcanzando valores mayores al 80%. Estos resultados coinciden con lo obtenido por López, M. (2016), ya que el autor consigue reducir hasta un 72.46% de DQO en su muestra proveniente del laboratorio del cuero del Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas. Así mismo ARBOLEDA, J & HERRERA, P (2015), en la evaluación final de sus resultados demuestran haber alcanzado hasta un 99% de remoción de Cromo (VI) en muestras sintéticas en condiciones similares a la de un efluente industrial. Por otro lado, se difiere con lo presentado por APAZA, H. (2018), quien redujo un 26,6% de DQO en los efluentes de la planta piloto de leche de la Universidad Agraria La Molina. Según la base teórica PORRAS, C. (2015), indica que los niveles de eficiencia del sistema de electrocoagulación, dependerán tanto de las especificaciones técnicas del prototipo tales como: tipo de proceso que, según RODRÍGUEZ, J. (2014) si es de flujo continuo influye notablemente sobre los niveles de remoción de los contaminantes, si es el ideal y sin afectar el proceso; distancia entre electrodos, etc.; y de la naturaleza del efluente. En mi opinión, las condiciones iniciales del efluente como la conductividad y nivel de pH, son factores determinantes en las variaciones de los niveles de eficiencia de una celda electroquímica.

De acuerdo al primer objetivo específico que propone “Determinar tiempo e intensidad de corriente óptimo de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) y DQO de Curtiembre - Huachipa – 2018” en los efluentes de la etapa de curtido al cromo, se determinó que las condiciones óptimas son la aplicación de una intensidad de corriente de 9A en un tiempo de 20 min, ya que el Tratamiento 14 fue el más eficiente. La presente investigación coincide con ARIAS, W. (2013), quien para disminuir los niveles de Cromo y DQO presentes en los efluentes de una curtiembre en la región de Cundiboyacense, asigno a su celda electrolítica una intensidad de corriente de 2,1A a 3,6A en un tiempo de 20 min. En contraparte, RODRIGUEZ, J (2014), quien administro una intensidad de

corriente de 3A en un tiempo de 10 min como parámetros óptimos para obtener su mayor nivel de remoción (93.5%) para tratar el sílice contenido en agua de purga de torres de enfriamiento de refinería. Estos resultados, presentan variaciones debido a que como indica CHEN, Y. (2004), el suministro de corriente a la celda de electrocoagulación determina la cantidad de desprendimiento de iones en el ánodo; esto en complemento con el factor tiempo que define la generación de iones en un periodo específico.

En relación al segundo objetivo específico “Determinar la velocidad de reacción de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción Cromo (VI) de Curtiembre- Huachipa – 2018” en los efluentes de la etapa de curtido al cromo, se calculó una velocidad de remoción de  $-1.9764 \times 10^{-8}$  M/s para Cromo (VI) y  $-1.274 \times 10^{-5}$  M/s para DQO; así mismo se halló que el orden de reacción es de primer orden. Esto coincide con lo expuesto por GIL J. (2012), quien estableció que la cinética de reacción para la remoción de Cromo (VI) y Plata (I); contenidos en muestras cercanas de residuos líquidos peligrosos y sintéticas, conseguidas en el Laboratorio del Departamento de Química de la Universidad de Cauca; corresponden a una cinética de orden uno. Según la base teórica, HEREDIA, S. (2012), la cinética química está referida a la masa, expresada en moles, de un producto obtenido o el consumo de un reactante con respecto a una unidad de tiempo. Por ello, calcular la cinética química nos permite determinar en qué momento se obtendrá una concentración específica con respecto a una concentración inicial.

En cuanto al tercer objetivo específico planteado “Determinar el costo total de la aplicación de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción cromo (VI) y DQO de Curtiembre- Huachipa – 2018” en los efluentes de la etapa de curtido al cromo, se estimó que el costo de operación de una celda electroquímica es S/. 7.70 por cada  $m^3$  de agua tratada; a partir de los obtenido en el prototipo al tratar 2L que incluye el costo de energía que equivale a S/. 0.004 y el costo del electrodo S/. 0.0037. Los valores obtenidos presentan similitudes con los conseguidos por RODRIGUEZ, J. (2004) para la remoción de sílice presente en agua de purga de torres de enfriamiento de refinería, quien en su análisis de costo para el tratamiento por electrocoagulación valoro S//. 4.31 por cada  $m^3$  tratado. El análisis de costo según CULQUI, N. (2015), indica que no es muy costosa la aplicación de este método; en vista que se obtienen porcentajes elevados de remoción de contaminantes en una sola operación.

## V. CONCLUSIONES

La aplicación de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para el tratamiento de efluente residual de la industria curtiembre, en la etapa de curtido al cromo es eficiente en la remoción de DQO y Cromo (VI), debido a que posee características acidas y una conductividad que permite mejoras en la intensidad de corriente en el sistema, así mismo la optimización de parámetros permite crear condiciones adecuados para la variación de la cinética de remoción, por otra parte los costos de tratamiento están sujetos a los parámetros tiempo e intensidad de corriente.

La optimización de parámetros en la electrocoagulación de flujo continuo permite mejores remociones de DQO y Cromo (VI), ya que el tiempo y la intensidad de corriente óptimo permite el tratamiento de los efluentes residuales de curtiembre. Por otra parte, la aplicación de mayor intensidad de corriente no significa mayor remoción, ya que esto conlleva a mayor formación de oxígeno lo que significa saturación del sistema.

La cinética de remoción del efluente de curtido al cromo en un tiempo determinado, conlleva a un descenso en la concentración de DQO y cromo (VI), así mismo la velocidad de reacción depende de la determinación del parámetro óptimo.

El costo para tratar un efluente de la etapa del curtido al cromo por la tecnología de la electrocoagulación es bajo, debido aún menor consumo de energía, ya que la intensidad de corriente aplicada al sistema ha sido optimizada. Para dosificaciones menores de aluminio del tratamiento de electrocoagulación estima menores costos operativos que una coagulación química convencional.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda para próximas experimentaciones de electrocoagulación, implementar mecanismos de agitación o hidráulicos, para mayores efectos de eficiencia.

Es vital que las características fisicoquímicas de los efluentes a tratar, sean estudiadas para determinar factores que intervengan en el proceso de electrocoagulación.

Se recomienda la caracterización de las espumas residuales y darle un uso.

Se recomienda aplicar el sistema de electrocoagulación para toda la etapa.

Se debería realizar una investigación en la que analice la factibilidad de mezclar controladamente los efluentes básicos (remojo y sus lavados + pelambre y sus lavados) con los efluentes ácidos (desencalado y lavados + curtido y lavados) para lograr remociones comparables a las presentadas en este estudio.

## VII REFERENCIAS

1. AGUDELO A., SANDRA and GUTIERREZ M., PAULA. AHORRO DE AGUA Y MATERIA PRIMA EN LOS PROCESOS DE PELAMBRE Y CURTIDO DEL CUERO MEDIANTE PRECIPITACIÓN Y RECIRCULACIÓN DE AGUAS. *Dyna rev.fac.nac.minas*[online]. 2007, vol.74, n.152 [cited 2018-11-26], pp.241-250. Available from: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532007000200022&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532007000200022&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0012-7353.
2. AGUILAR, Edward. *Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua*. Magíster (Ciencias Ambientales). Lima. Universidad Mayor de San Marcos, 2015.
3. ANDALUZ, Jennifer. Reducción de materia orgánica e inorgánica presente en agua residual de agroquímicos mediante técnica electroquímica de oxidación avanzada. Maestría (Gestión Ambiental). Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2016.
4. APAZA, Hugo. *Sistema combinado electrocoagulación-filtro biológica para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos*. Tesis (Magister en Ciencias Ambientales). Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina, 2018.
5. ARANDA, César. Influencia de la densidad de corriente y tiempo de residencia en la reducción de arsénico de efluentes artificiales mediante el proceso de electrocoagulación. Maestría (Gestión de Riesgos Ambientales), Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2016.
6. ARANGO RUIZ, Alvaro. Uso de electrocoagulación para la remoción de tartrazina en soluciones acuosas. *Rev. P+L* [online]. 2011, vol.6, n.2 [cited 2018-11-26], pp.58-68. Available from: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552011000200006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552011000200006&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 1909-0455.
7. ARANGO, Álvaro, *La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales*. *Revista Lasallista de Investigación* [en línea] 2005, 2 (enero-junio): [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520109>> ISSN 1794-4449
8. ARBOLEDA, Juan. *Evaluación de un proceso de electrocoagulación en un reactor tipo batch para la remoción de cromo hexavalente (VI) con electrodos de Aluminio-Aluminio*

- y de Hierro-en condiciones de laboratorio*. Tesis (Ingeniero Ambiental). Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2015.
9. ARIAS, German. Remoción de cromo(III) y DQO través de electrocoagulación en aguas residuales de la industria curtiembre haciendo uso racional de la energía. Maestría (Ingeniería en energías alternativas), Bogotá: Universidad Libre, 2013.
  10. BAÑÓN Gil, Elena María. *Estudio de la pirolisis de piel curtida. Caracterización y reciclado*. Tesis (doctoral). Alicante: Universidad de Alicante, 2016. Disponible en [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/65892/1/tesis\\_banon\\_gil.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/65892/1/tesis_banon_gil.pdf)
  11. BARRERA-DIAZ, C. et al. Electrochemical Advanced Oxidation Processes: An Overview of the Current Applications to Actual Industrial Effluents. *J. Mex. Chem. Soc* [online]. 2014, vol.58, n.3 [citado 2018-11-23], pp.256-275. Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-249X2014000300003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-249X2014000300003&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1870-249X.
  12. BARRERA-DIAZ, C. et al. Electrochemical Advanced Oxidation Processes: An Overview of the Current Applications to Actual Industrial Effluents. *J. Mex. Chem. Soc* [online]. 2014, vol.58, n.3 [citado 2018-11-26], pp.256-275. Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-249X2014000300003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-249X2014000300003&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1870-249X.
  13. BELTRAN, Karen. Diseño conceptual y construcción de un electro coagulador controlado por labview. Tesis (Ingeniera Ambiental). Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2015
  14. BENDEZU, S. et al. CHROMIUM ADSORPTION FROM TANNERY EFFLUENTS BY ACTIVATED CARBONS PREPARED FROM COCONUT SHELLS BY CHEMICAL ACTIVATION WITH KOH AND ZNCL<sub>2</sub>. *J. Chil. Chem. Soc.* [online]. 2005, vol.50, n.4 [cited 2018-11-26], pp.677-684. Available from: <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-97072005000400007&lng=en&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-97072005000400007&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0717-9707. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072005000400007>.
  15. BENITEZ-CAMPO, NEYLA y PERAFAN CABRERA, ACENETH. Las curtiembres del cerrito (valle del cauca): una mirada a su realidad socioeconómica y ambiental. *rev.u dcaactual.divulg. cient.* [en línea]. 2016, vol.19, n.2 [citado 2018-07-09], pp.457-

- 466.disponibleen: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0123-42262016000200022&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0123-42262016000200022&lng=en&nrm=iso)>. issn 0123-4226.
16. CAMARENA,Zambrano. sistema de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales urbanas del anexo de cajas chico – la ribera – Huancayo.Tesis(Ingeniero Ambiental), Huancayo:Universidad Alas Peruanas,2014.
  17. CASTANEDA C, Yasmín Liseth; VARGAS P, Rocío; CESARE C, Mary Flor y VISITACION F, Lizardo. Evaluación y tratamiento de efluentes del remojo convencional y enzimático de pieles, por precipitación de proteínas y coagulación. Rev. Soc. Quím. Perú[online]. 2016, vol.82, n.4 [citado 2018-11-26], pp.440-453. Disponible en: <[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2016000400006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000400006&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1810-634X.
  18. CASTILLO Castro, Christian Alexander & Oviden Agurto, Brian Edu. Influencia de la distancia entre electrodos y densidad de corriente en la disminución de carga contaminante de residuos líquidos de pelambre por electrocoagulación. Tesis (Ingeniero Químico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2017. Disponible en [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9854/CastilloCastro\\_C%20-%20OvidenAgurto\\_B.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9854/CastilloCastro_C%20-%20OvidenAgurto_B.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
  19. CASTRO, Ana. *Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo*. Tesis (Licenciado en Química). Lima: Pontificia Universidad Católica del Ciencias e Ingeniera, 2013.
  20. CAZCO, Ana & JARRIN, Santiago. *Diseño, construcción y análisis de los parámetros de operación de un sistema de electrocoagulación*. Tesis (Ingeniero Ambiental). Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2010.
  21. CHAVEZ PORRAS, Álvaro. Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. Rev. ing. univ. Medellín[online]. 2010, vol.9, n.17 [cited 2018-11-26], pp.41-49. Available from: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242010000200004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242010000200004&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 1692-3324.
  22. CONTRERAS Moreno, Sheyla. Influencia del pH y tiempo de aireación en la remoción de sulfuros en efluentes provenientes de la etapa de pelambre de la industria de curtiduría

- utilizando ácido fórmico, acético y cítrico. Tesis (Ingeniero Ambiental). Trujillo. Universidad Nacional de Trujillo, 2015. Disponible en [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3260/ContrerasMoreno\\_S%20-%20SalvadorTorres\\_K.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3260/ContrerasMoreno_S%20-%20SalvadorTorres_K.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
23. Corredor Rivera, Jorge Luis, El residuo líquido de las curtiembres estudio de caso: cuenca alta del Río Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* [en línea] 2006, 16 (agosto-diciembre): [Fecha de consulta: 9 de julio de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91116203>> ISSN 0124-8170
24. CULQUI, Nora. *Diseño e implementación de una planta piloto para el tratamiento de efluentes líquidos generados en los laboratorios del departamento de metalurgia extractiva*. Tesis (Ingeniero Químico). Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2015.
25. |Denuncia penal por contaminación con desechos de curtiembre [en línea]. *El Día online.com*. 24 septiembre, 2016. [Consulta: 18 mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.eldiaonline.com/denuncia-penal-contaminacion-desechos-curtiembre/>
26. FORERO-NUNEZ, Carlos A; MENDEZ-VELASQUEZ, Jennifer Andrea and SIERRA-VARGAS, Fabio Emiro. Energetic improvement of tanned leather solid wastes by thermal treatment. *Ing. Desarro.* [online]. 2015, vol.33, n.1 [cited 2018-11-26], pp.1-17. Available from: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-34612015000100002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612015000100002&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0122-3461. <http://dx.doi.org/10.14482/inde.33.L5353>.
27. GALIANA Aleixandre, Vicenta. Estudio experimental de minimización de la contaminación de efluentes de la industria de curtidos aplicando reutilización de baños residuales y tratamientos con procesos de membrana y biológicos. Tesis (Tecnología de Membranas, Electroquímica y Medio Ambiente, Seguridad Nuclear). Valencia: Universidad Politécnica Valencia, 2010. Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8954/tesisUPV3377.pdf>
28. GALO, Humberto. Denuncian a tenería de contaminar el ambiente [en línea]. *El Nuevo Diario.Com*. Ni. 05 junio 2017. [Consulta: 18 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/429919-denuncian-teneria-contaminar-ambiente/>

29. GARCIA, C & RODRIGUEZ, E (2017). Influencia del caudal y densidad de corriente eléctrica en el pH, remoción de color y DQO de líquidos de curtiembre usando electrocoagulación continua. Tesis(ingeniero ambiental).Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo,2017.Disponible en [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9880/GarciaMantilla\\_C%20-%20RodriguezEnriquez\\_L.pdf?sequence=1&isAllowed=](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9880/GarciaMantilla_C%20-%20RodriguezEnriquez_L.pdf?sequence=1&isAllowed=)
30. GARCIA, C & RODRIGUEZ, E (2017). Influencia del caudal y densidad de corriente eléctrica en el pH, remoción de color y DQO de líquidos de curtiembre usando electrocoagulación continua. Tesis(ingeniero ambiental).Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo,2017.Disponible en [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9880/GarciaMantilla\\_C%20-%20RodriguezEnriquez\\_L.pdf?sequence=1&isAllowed=](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9880/GarciaMantilla_C%20-%20RodriguezEnriquez_L.pdf?sequence=1&isAllowed=)
31. GARCIA, José. Remoción de arsénico en agua por electrocoagulación. Tesis (Ingeniero Ambiental-Agua), Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico, 2010.
32. GERMAN, William. Remoción de cromo (III) Y DQO través de electrocoagulación en aguas residuales de la industria curtiembre haciendo uso racional de la energía. Maestría (Ingeniería). Bogotá: Universidad Libre, 2013.
33. GOMEZ, Estefanía. *Estudio de optimización de variables de funcionamiento de un sistema de electrocoagulación para aguas de la industria Textil*. Tesis (Ingeniero Ambiental). Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2013.
34. HERNADEZ, Pablo. *Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento y depuración de las aguas mediante electrocoagulación*. Doctor (Ingeniería de Canales, Caminos y Puertos). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2011.
35. HERNÁNDEZ, Daniela. *Tratamiento Acoplado electrocoagulación para incrementar la remoción de la materia orgánica de un agua residual de rastro Municipal*. Maestría (Ciencias del Agua). Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México, 2016.
36. HERNANDEZ, Roberto, Carlos, María. Metodología de la investigación. 6ta ed. México, 2014. 607 pp. ISBN:978-1-4562-2396-0
37. HUAMANÍ, Gumersindo. *La Industria de la Curtiembre y su Incidencia en el Medio Ambiente de Lima-2012*. Tesis (Maestro en Productividad y Relaciones Industriales). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2014. Disponible en

- file:///C:/Users/bray/Downloads/Gumercindo\_Tesis\_maestr%C3%ADa\_2014%20(2).pdf
38. HUAMANÍ, Gumersindo. *La Industria de la Curtiembre y su Incidencia en el Medio Ambiente de Lima-2012*. Tesis (Maestro en Productividad y Relaciones Industriales). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2014. Disponible en file:///C:/Users/bray/Downloads/Gumercindo\_Tesis\_maestr%C3%ADa\_2014%20(2).pdf
39. HUAYTA, Lucero. propuesta de tratamiento electroquímico en aguas de filtración de relave, proveniente de southern copper corporation en la región Moquegua, para su uso agrícola. Tesis (Licenciado en Química). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2017.
40. HUMPIRE, Fredy. *Efecto del pH y tiempo en la depuración de lactosuero residual por electrocoagulación*. Tesis (Ingeniero Agroindustrial). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2017.
41. IBANEZ, Jorge G.; FRONTANA-URIBE, Bernardo A. y VASQUEZ-MEDRANO, Rubén. Paired Electrochemical Processes: Overview, Systematization, Selection Criteria, Design Strategies, and Projection. J. Mex. Chem. Soc [online]. 2016, vol.60, n.4 [citado 2018-11-24], pp.247-260. Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-249X2016000400247&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-249X2016000400247&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1870-249X.
42. LAGOS, Lesly. *Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local*. Tesis (Licenciado en Química). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016.
43. LAZO cuentas, Bach & Alejandra Estefanía. Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una curtiembre de mediana capacidad del parque industrial de río seco, Arequipa. Tesis (Ingeniero Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de san Agustín, 2017. Disponible en file:///C:/Users/bray/Downloads/AMlacuea%20(8).pdf
44. LAZO cuentas, Bach & Alejandra Estefanía. Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una curtiembre de mediana capacidad del parque industrial de río seco, Arequipa. Tesis (Ingeniero

- Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de san Agustín, 2017. Disponible en file:///C:/Users/bray/Downloads/AMlacuea%20(8).pdf
45. MARTINEZ Dávila, Andrea Tania. *Evaluación de residuos agroindustriales como biofiltros: remoción de cr (vi) en efluentes de curtiembres sintéticos*. [en línea]. vol. 15, 10 de Marzo de 2017. [consulta: 20 de mayo de 2018]. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612017000300006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612017000300006) ISSN: 1692-3561
46. MAYTA, Roddy y MAYTA, Jhony. *Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación*. *Rev. Soc. Quím. Perú* [online]. 2017, vol.83, n.3 [citado 2018-06-29], pp.331-340. Disponible en [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lng=es&nrm=iso). ISSN 1810-634X.
47. MEDINA, Juan. *electrocoagulación en la remoción de mercurio de las aguas residuales en el centro poblado la rinconada- puno*. Tesis (Ingeniero Ambiental). Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2015.
48. MINISTERIO de Vivienda y Saneamiento (Perú). Valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Lima, Perú, 2015. 9 p.
49. MONTOYA Arias, Christina Elizabeth & SILENCIO Acuña, Kimberly Alexandra. *Evaluación de pH, concentración de FeSO<sub>4</sub> y FeCl<sub>3</sub> en la remoción de sólidos suspendidos en efluente de pelambre en curtiembre*. Tesis (Ingeniero Químico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2017. Disponible en [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9861/MontoyaArias\\_C%20-%20SilencioAcuna\\_K.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9861/MontoyaArias_C%20-%20SilencioAcuna_K.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
50. MORENO, Rosa. *Tratamiento de aguas residuales del camal municipal, mediante el método de electrocoagulación – cajamarca 2018*. Tesis (Ingeniero Ambiental), Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2018
51. MURILLO, Alexandra. *Propuesta de tratamiento para el agua residual industrial generada por procesos de cromado mediante electrocoagulación*. Tesis (Ingeniero Químico). Bogotá: Fundación Universidad de América, 2016.

52. NAHUI, F. N. B.; NASCIMENTO, M. R.; CAVALCANTI, E. B. and VILAR, E. O..Electroflotation of emulsified oil in industrial wastes evaluated with a full factorial design.Braz. J. Chem. Eng. [online]. 2008, vol.25, n.3 [cited 2018-11-24],pp.435-442.Availablefrom: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-66322008000300001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322008000300001&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0104-6632. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322008000300001>.
53. NAVARRO, Fabiola. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Doctor (Ingeniero Químico). Ciudad Real: Universidad de Castilla la Mancha,2007
54. NUÑEZ, Mario. *Obtención de colágeno por hidrolisis alcalina-enzimática del residuo de wet blue en el proceso de curtición*. Tesis (Ingeniero en Biotecnología Ambiental). Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2011.
55. OÑA,Byron. Tratamiento avanzado de aguas residuales del proceso de lavado y tinturado de jeans en la empresa mundocolor mediante electrocoagulación.Tesis(Ingeniero Industrial).Riobamba: Escuela Superior Potitecnica de Chimborazo,2013
56. PANTOJA, Evelyn. Aplicación de la electrocoagulación y floculación sobre el tratamiento del drenaje de minas de carbón. Tesis (Ingeniero Químico). Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2012.
57. PANTOJA,Evelyn. aplicación de la electrocoagulación y floculación sobre el tratamiento del drenaje ácido de minas de carbón.Tesis(Ingeniera Quimica),Santiago de Cali: Universidad del Valle,2012.
58. Pérez-Sicairos, S., Morales-Cuevas, J.B., Félix-Navarro, R.M., Hernández-Calderón, O.M., EVALUATION OF THE ELECTRO-COAGULATION PROCESS FOR THE REMOVAL OF TURBIDITY OF RIVER WATER, WASTEWATER AND POND WATER. Revista Mexicana de Ingeniería Química [en línea] 2011, 10 (Abril-Sin mes) : [Fecha de consulta: 24 de noviembre de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62019843009>> ISSN 1665-2738
59. PINEDO, Ochoa. *Impactos ambientales generados por la curtiembre D-Leyse, en el distrito del porvenir, provincia Trujillo, región la libertad*. Tesis (Ingeniera Agrónoma). Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2012.

60. POMA, Javier. Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación. Tesis (Ingeniero Químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016.
61. PORTADA Mamani, Alberto. Tratamiento de las aguas residuales del proceso del curtido en pieles por procesos físico-químico de la curtiembre de la facultad de ingeniería química de la UNA-Puno. Tesis (Ingeniero Químico). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2016.
62. PRIETO-GARCIA, Francisco et al. Electrodisolución de electrodos de aluminio durante la electrocoagulación de un lactosuero ácido. *Dyna rev.fac.nac.minas* [online]. 2014, vol.81, n.187 [cited 2018-11-27], pp.129-136. Available from: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S001273532014000500017&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S001273532014000500017&lng=en&nrm=iso)>. ISSN00127353. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n186.40757>.
63. QUIJANO PARRA, Alfonso; CASTILLO T., Carol and MELENDEZ GELVEZ, Iván. POTENCIAL MUTAGÉNICO Y GENOTÓXICO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CURTIEMBRE TASAJERO EN LA CIUDAD DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA. *rev.udcaactual.divulg.cient.* [online]. 2015, vol.18, n.1 [cited 2018-11-26], pp.13-20. Available from: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262015000100003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262015000100003&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0123-4226.
64. QUISCA, A. *Medidas y tratamientos preventivos aplicables a la industria del cuero para reducir el consumo de insumos químicos y la carga de contaminantes de sus efluentes*. Tesis (Ingeniero Químico). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2002.
65. QUISCA, Albertina. *Medidas y tratamientos preventivos aplicables a la industria del cuero para reducir el consumo de insumos químicos y la carga de contaminantes de sus efluentes*. Tesis (Ingeniero Químico). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2002.
66. QUISPE, Humberto. *Recuperación electrolítica de cromo (III) de efluentes de curtido de pieles de animales*. Tesis (Ingeniero Químico). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2017.
67. QUISPE, Karen. *Electrocoagulación en la remoción de mercurio de las aguas residuales en el centro poblado la rinconada Puno*. Tesis (Ingeniero Químico). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2015.

68. QUISPE, Karen. *electrocoagulación en la remoción de mercurio de las aguas residuales en el centro poblado la rinconada- puno*. Tesis (Ingeniero Químico). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2015.
69. Resolución directoral n°.065. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 21 de octubre de 2016.
70. Resolución directoral n°.065. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 21 de octubre de 2016.
71. Restrepo A., Arango A. y Garcés L. (2006). *La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas*. Producción + Limpia, I(2), 58 77.
72. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química [en línea] Lima: UNMSM, 2014 [consulta: 20 de mayo de 2018]. Disponible en <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/5152/4243>  
ISSN 1609-7599
73. RICCIO, Yauri. Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas del colector agua de las vírgenes por electrocoagulación, a nivel de laboratorio, utilizando como fuente energética un panel fotovoltaico. Doctor (Ingeniería Química y Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015.
74. ROBLES, Lindsay. Diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas, basado en electrocoagulación. Tesis (Ingeniera Civil), Bogotá: Universidad de la Salle, 2017.
75. RODRIGUEZ Ramírez, Carol Luciana & ZAPATA Jáuregui, Cristina. Influencia del pH, concentración de coagulante a base de Aluminio y floculante en la remoción de sulfuros, sólidos suspendidos, demanda química y biológica de oxígeno de efluentes de rivera en curtiembres. Tesis (Ingeniero Ambiental). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2015. Disponible en [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3270/RodriguezRamirez\\_C%20-%20ZapataJauregui\\_C.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3270/RodriguezRamirez_C%20-%20ZapataJauregui_C.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
76. RODRÍGUEZ, Édison. *Determinación de la eficiencia de remoción de colorantes presentes en el efluente de una industria textil de tela de algodón mediante*

- electrocoagulación*. Maestría (Gestión Ambiental). Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2016.
77. RODRIGUEZ, Alejandro. Determinación de la eficiencia de remoción de colorantes presentes en el efluente de una industria de textiles de tela de algodón mediante electrocoagulación. Maestría (Gestión Ambiental), Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2016.
78. ROMERO, Alberto. *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño*. 3ra ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999. 172pp. ISBN: 958-8060-13,3
79. SANTOS, Diogo M. F.; SEQUEIRA, César A. C. and FIGUEIREDO, José L.. Hydrogen production by alkaline water electrolysis. *Quím. Nova* [online]. 2013, vol.36, n.8 [cited 2018-11-24], pp.1176-1193. Available from: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422013000800017&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000800017&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0100-4042. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422013000800017>.
80. SEQUEIRA, C. A. C. and SANTOS, D. M. F.. Electrochemical routes for industrial synthesis. *J. Braz. Chem. Soc.* [online]. 2009, vol.20, n.3 [cited 2018-11-24], pp.387-406. Available from: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-50532009000300002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532009000300002&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 01035053. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532009000300002>.
81. Shiquan Liu, Shivani Bhardwaj Mishra, Yun Zhang, and Ling Qi *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 2017 5 (2), 1509-1516 DOI: 10.1021/acssuschemeng.6b02185
82. SILVA, Leonardo M. da; SANTANA, Mário H. P. and BOODTS, Julien F. C.. Electrochemistry and green chemical processes: electrochemical ozone production. *Quím. Nova* [online]. 2003, vol.26, n.6 [cited 2018-11-24], pp.880-888. Available from: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422003000600017&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422003000600017&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0100-4042. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422003000600017>.
83. SOUZA, F. R. de and GUTTERRES, M.. Application of enzymes in leather processing: a comparison between chemical and coenzymatic processes. *Braz. J. Chem. Eng.* [online]. 2012, vol.29, n.3 [cited 2018-11-26], pp.473-482. Available from: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-)

- 66322012000300004&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0104-6632. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322012000300004>.
84. TERÁN, Jaramillo. Diseño y construcción de un reactor de electrocoagulación para el estudio de tratamiento de agua residual de tintura y acabado textil. Tesis (Ingeniero Textil). Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2012.
85. Ulambayar, R. Oyuntsetseg, J. Tsiiregzen, A., & Bayaraa, D. (2014). Removal of Cr 3+ by electrocoagulation from simulated wastewater. *Mongolian Journal Of Chemistry*, 15, 89-93. doi:<http://dx.doi.org/10.5564/mjc.v15i0.330>
86. VARGAS DORIA MEDINA, Daniela y AMURRIO DERPIC, David. Alternativa de proceso de curtido con alto agotamiento de Cromo para las curtiembres tradicionales de la ciudad de Cochabamba. *RevActaNova*. [online]. 2017, vol.8, n.1 [citado 2018-11-26], pp. 3-30. Disponible en: <[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892017000100002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892017000100002&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1683-0789.
87. VEGA, Lusiana. *Reaprovechamiento del residuo queratinoso del proceso de pelambre como fuente de aminoácidos por hidrólisis alcalina con hidróxido de calcio*. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2014.
88. VIDAL, JORGE; ESPINOZA, CAROLINA; CONTRERAS, NICOLE y SALAZAR, RICARDO. J. *Chil. Chem. Soc.* [online]. 2017, vol.62, n.2 [citado 2018-11-26], pp.3519-3524. Disponible en: <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-97072017000200019&lng=es&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-97072017000200019&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0717-9707. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072017000200019>.
89. WESTRES, Sócrates. *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales procedentes de una planta productora de sulfatos mediante el proceso electroquímico de electrocoagulación*. Tesis (Ingeniero Químico). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013.
90. YAGUANA, Nancy. Determinación de la eficiencia de remoción de colorantes presentes en el efluente de una industria de textiles de tela de algodón mediante electrocoagulación. Tesis (Ingeniera Mecatrónica), Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas, 2015.

# ANEXOS

### Anexo N° I: Matriz de operacionalización de variables.

Título: “Evaluación de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de Cromo (VI) y DQO de curtiembre-Huachipa-2018”					
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades
<b>Variable Independiente: Electrocoagulación de flujo continuo</b>	La electrocoagulación es la aplicación de técnicas para el tratamiento de aguas residuales. Consiste en la remoción de los contaminantes provenientes de diferentes efluentes mediante el principio de coagulación-floculación en un reactor electrolítico, sin embargo, en este proceso no se aplican coagulantes químicos; ya que estos son generados a partir de la oxidación del electrodo de sacrificio. MORALES (2015).	La celda tendrá una forma rectangular y tendrá las dimensiones de 14x10x17 cm, estará construido de material acrílico transparente con capacidad de 2 Litros. Los electrodos serán 4 de hierro (cátodo) y 4 de aluminio (ánodo) y estarán abastecidos de una fuente de poder. El sistema estará armado en melamine de 40x30, con una altura de 65 cm de nivel de piso.	<b>Parámetros Operacionales</b>	Voltaje	V
				Tiempo	minutos
			<b>Cinética Química</b>	Concentración inicial del contaminante	mg/l
				Tiempo	minutos
			<b>Análisis de costos</b>	Costos de materiales	Soles
				consumo de energía	Kwh/hora
Volumen de efluente tratado	Litros				
<b>Variable Dependiente: Remoción de Cromo (VI)</b>	Según MUÑOZ, N (2010) el cromo hexavalente presenta una alta solubilidad en los cuerpos de agua, móvil en el ambiente, con efectos tóxicos, mutagenicos y carcinogénicos. Siendo uno de los compuestos químicos más utilizados en la industria.	La determinación de la concentración de cromo hexavalente será evaluada por el Estándar 3500-Cr B Método colorimétrico por reacción con difenilcarbazida en solución ácida.	<b>Análisis químico</b>	Concentración inicial del contaminante	mg/l
				Concentración final del contaminante	mg/l
				Porcentaje de remoción	%
<b>Variable Dependiente: Disminución de DQO</b>	Sánchez & Herzing (2007) afirman que la demanda química de oxígeno, es la concentración de oxígeno que permite la descomposición de la materia orgánica y los compuestos inorgánicos. El parámetro se usa para determinar la cantidad de	La determinación de los niveles de DQO será evaluada por el método dicromato de potasio en base a la referencia del Estándar Método APHA 5220-D.	<b>Análisis químico</b>	Concentración inicial del contaminante	mg/l
				Concentración final del contaminante	mg/l

	contaminante orgánico en efluentes residuales.			Porcentaje de remoción	%
--	--	--	--	------------------------	---

## Anexo N° II: Matriz de consistencia

Título: “Evaluación de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de Cromo (VI) y DQO de curtiembre-Huachipa-2018”						
Problema	Objetivo	Hipótesis	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Metodología
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Parámetros Operacionales</b>	Voltaje	V	<b>Enfoque:</b> Cuantitativo
				Tiempo	minutos	
¿Cuál es el nivel de eficiencia del sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) y DQO de Curtiembre- Huachipa? 2018?	Evaluar el nivel de eficiencia de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) Y DQO de Curtiembre - Huachipa- 2018.	Se afirma que la aplicación de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo tiene una eficiencia mayor a 80% para la remoción de cromo (VI) y DQO de Curtiembre - Huachipa, 2018.	<b>Cinética Química</b>	Concentración inicial del contaminante	mg/l	<b>Tipo:</b> Experimento puro
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>			Tiempo	minutos
¿Cuál es el tiempo e intensidad de corriente óptimos del sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) y DQO de curtiembre-Huachipa? 2018?	Determinar tiempo e intensidad de corriente óptimos de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo(VI)Y DQO de Curtiembre - Huachipa- 2018.	La optimización de parámetros se da en un rango de tiempos de 15 a 30 min y una intensidad de corriente de 6A a 9A en el sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) y DQO de Curtiembre - Huachipa - 2018.	<b>Análisis de costos</b>	Costos de materiales	Soles	<b>Diseño:</b> Experimental factorial
					consumo de energía	
				Volumen de efluente tratado	Litros	
¿Cuál es la velocidad de reacción del sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo(VI) de Curtiembre - Huachipa, 2018?	Determinar la velocidad de reacción de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre- Huachipa - 2018.	La velocidad de reacción es de segundo orden en el sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo(VI) y DQO de Curtiembre - Huachipa - 2018.	<b>Análisis químico</b>	Concentración inicial del contaminante	mg/l	<b>Muestra:</b> Efluente de la etapa de curtido al cromo
					Concentración final del contaminante	
				Porcentaje de remoción	%	<b>Técnica:</b> Observación

¿Cuál es el costo total de aplicar un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción de cromo (VI) y DQO de Curtiembre - Huac hipa, 2018?	Determinar el costo total de la aplicación de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo para la remoción cromo (VI) y DQO de Curtiembre- Huachipa - 2018	El análisis de costo del sistema de electrocoagulación indica teóricamente que es 20% menos costoso que la coagulación química para la remoción de cromo (VI) y DQO de curtiembre - Huachipa- 2018.	<b>Análisis químico</b>	Concentración inicial del contaminante	mg/l	<b>Instrumento:</b> Ficha de recolección de datos
				Concentración final del contaminante	mg/l	
				Porcentaje de remoción	%	

### Anexo N° III: Ficha de recolección de datos

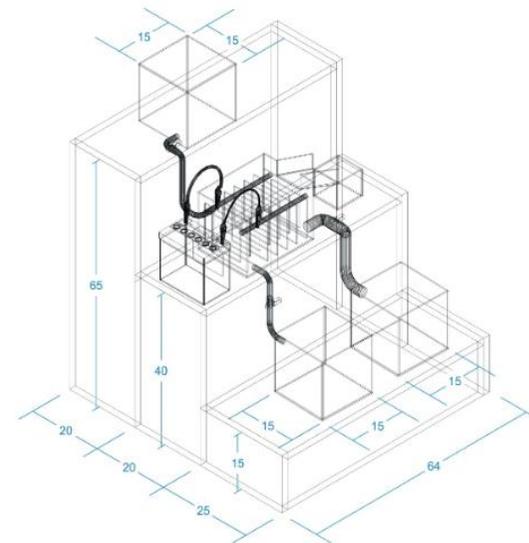
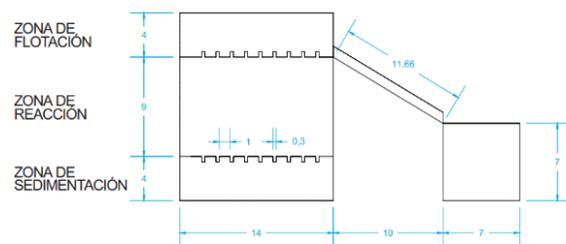
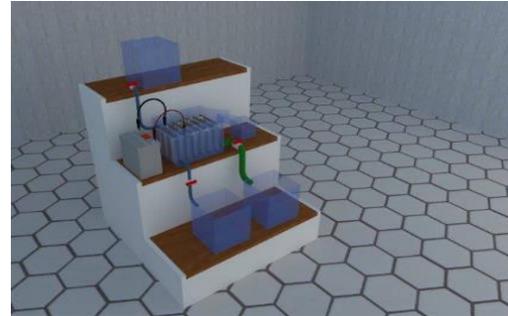
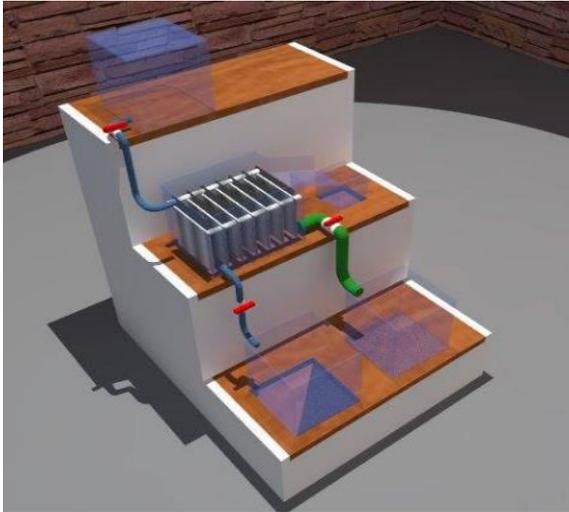
Alumno :										
Tipo de ensayo :										
Tipo de muestra :										
Identificación de la muestra :										
Muestra tomada por :										
Fecha de ingreso de muestra :										
Lugar que se realizó el ensayo :										
Fecha de realización de ensayo :										
		Amperaje							Conductividad	
		3 (A)		4 (A)		5 (A)		6 (A)		
		DQO (inicial)	DQO (final)	Inicial						
Tiempo	15 min									
	20 min									
	25 min									
	30 min									

**Anexo IV. Ficha de Recolección de Datos cinética Química.**

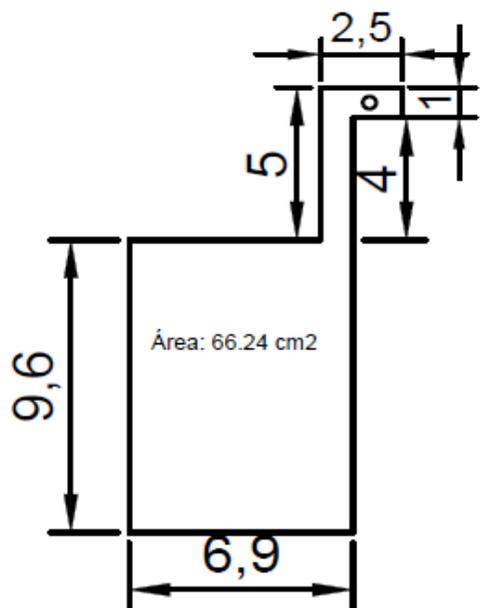
Alumno :			
Tipo de ensayo :			
Tipo de muestra :			
Identificación de la muestra :			
Muestra tomada por :			
Fecha de ingreso de muestra :			
Lugar que se realizó el ensayo :			
Fecha de realización de ensayo :			
		Concentración de Cromo (VI) mg/l	
		Cromo VI (inicial)	Cromo VI (final)
Tiempo	15 min		
	20 min		
	25 min		
	30 min		

Alumno :			
Tipo de ensayo :			
Tipo de muestra :			
Identificación de la muestra :			
Muestra tomada por :			
Fecha de ingreso de muestra :			
Lugar que se realizó el ensayo :			
Fecha de realización de ensayo :			
		Concentración de DQO mg/l	
		DQO(inicial)	DQO(final)
Tiempo	15 min		
	20 min		
	25 min		
	30 min		

## Anexo V. Plano y Montaje



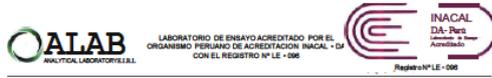
### Anexo N°VI: Dimensiones del electrodo



## Anexo N°VII: Muestreo y análisis de las muestras obtenidas en la experimentación



# Anexo N°VIII: Resultados del laboratorio



## INFORME DE ENSAYO N° IE-18-4066

I. DATOS DEL SERVICIO	
1. RAZON SOCIAL	INDUSTRIA PELETERA ARTESANAL S.A.C
2. DIRECCION	AV. LOS CANARIOS MZA E2 LOTE 7 LIMA- LIMA- LURIGANCHO
3. PROYECTO	TESIS DE ELECTROCOAGULACION CONTINUA
4. PROCEDENCIA	NO INDICA
5. SOLICITANTE	INDUSTRIA PELETERA ARTESANAL S.A.C
6. ORDEN DE SERVICIO N°	OS-18-1579
7. PLAN DE MONITOREO	NO APLICA
8. MUESTREO POR	EL CLIENTE
9. FECHA DE EMISION DE INFORME	2018-11-16

II. DATOS DE ITEMS DE ENSAYO	
1. MATRIZ	AGUA
2. NUMERO DE MUESTRAS	17
3. FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA	2018-11-02
4. PERIODO DE ENSAYO	2018-11-02 a 2018-11-16

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIAL	TITULO
pH (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H <sub>+</sub> B, 23rd Ed.2017	pH Value, Electrode Method

Marcop, Valencia Huerta  
Ing. Químico  
Gerente General  
N° CIP: 152297

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

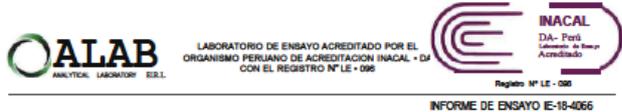
Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe



## III. METODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIAL	TITULO
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Ed.2017	Conductivity, Laboratory Method
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.2017	Turbidity, Nephelometric Method
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed.2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Cromo Hexavalente	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Cr-6, 23rd Ed	Chromum, Colorimetric Method

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao



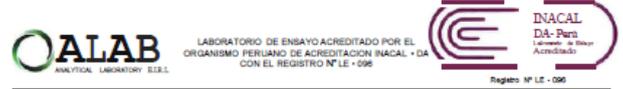
## IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3
CODIGO DE LABORATORIO	M-11588	M-11589	M-11590
CODIGO DEL CLIENTE	M-000	M-001	M-002
COORDENADAS UTMWGS84	NO INDICA		
MATRIZ	AGUA		
GRUPO	NO INDICA		
SUBGRUPO	NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA		
MUESTREO	FECHA: 2018-11-01 HORA: 17:00	2018-11-01 20:15	2018-11-01 21:16
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS
pH (*)	pH	0.01	3.50 3.90 3.93
Conductividad	uS/cm	0.01	85000.00 84900.00 84600.00
Turbidez	NTU	0.01	35.30 12.10 21.30
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	2.57 2.30 2.16
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	3251.12 1852.00 1782.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método  
(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe



## IV. RESULTADOS

ITEM	4	5	6
CODIGO DE LABORATORIO	M-11591	M-11592	M-11593
CODIGO DEL CLIENTE	M-003	M-004	M-005
COORDENADAS UTM WGS84	NO INDICA		
MATRIZ	AGUA		
GRUPO	NO INDICA		
SUBGRUPO	NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA		
MUESTREO	FECHA: 2018-11-01 HORA: 21:43	2018-11-01 22:28	2018-11-01 23:07
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS
pH (*)	pH	0.01	3.89 3.95 4.04
Conductividad	uS/cm	0.01	84900.00 84700.00 84092.00
Turbidez	NTU	0.01	14.07 8.05 9.12
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.99 1.93 1.81
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	1497.00 1401.00 1360.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método  
(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

IV. RESULTADOS

ITEM		7	8	9	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11594	M-11595	M-11596	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-006	M-007	M-008	
COORDENADAS UTM WGS84		NO INDICA			
MATRIZ		AGUA			
GRUPO		NO INDICA			
SUBGRUPO		NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA			
MUESTREO		FECHA: 2018-11-01 HORA: 23:44	2018-11-02 02:06	2018-11-02 10:13	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS		
pH (°)	pH	0.01	4.06	4.04	4.01
Conductividad	uS/cm	0.01	81700.00	80020.00	84620.00
Turbidez	NTU	0.01	894	13.30	18.10
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.72	1.69	1.61
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	1203.00	1145.00	1040.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

IV. RESULTADOS

INFORME DE ENSAYO IE-18-4066

ITEM		10	11	12	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11597	M-11598	M-11599	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-009	M-010	M-011	
COORDENADAS UTM WGS84		NO INDICA			
MATRIZ		AGUA			
GRUPO		NO INDICA			
SUBGRUPO		NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA			
MUESTREO		FECHA: 2018-11-02 HORA: 1:58	2018-11-02 3:40	2018-11-02 4:40	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS		
pH (°)	pH	0.01	4.22	4.28	4.39
Conductividad	uS/cm	0.01	83700.00	82532.00	81236.00
Turbidez	NTU	0.01	17.00	4.28	4.39
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.58	1.52	1.30
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	936.00	852.00	748.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

IV. RESULTADOS

ITEM		13	14	15	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11600	M-11601	M-11602	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-012	M-013	M-014	
COORDENADAS UTM WGS84		NO INDICA			
MATRIZ		AGUA			
GRUPO		NO INDICA			
SUBGRUPO		NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA			
MUESTREO		FECHA: 2018-11-02 HORA: 5:42	2018-11-02 6:42	2018-11-02 7:50	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS		
pH (°)	pH	0.01	4.33	6.04	6.02
Conductividad	uS/cm	0.01	80035.00	63251.00	60001.00
Turbidez	NTU	0.01	4.33	4.08	4.06
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.23	1.12	1.02
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	702.00	584.00	521.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

IV. RESULTADOS

ITEM		16	17	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11603	M-11604	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-015	M-016	
COORDENADAS UTM WGS84		NO INDICA		
MATRIZ		AGUA		
GRUPO		NO INDICA		
SUBGRUPO		NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA		
MUESTREO		FECHA: 2018-11-02 HORA: 9:10	2018-11-02 11:15	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS	
pH (°)	pH	0.01	4.08	4.08
Conductividad	uS/cm	0.01	65200.00	7012.00
Turbidez	NTU	0.01	4.06	4.02
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.55	1.62
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	592.00	521.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

\* FIN DEL DOCUMENTO \*

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-18-4072**

**I. DATOS DEL SERVICIO**

1. RAZÓN SOCIAL	INDUSTRIA PELETERA ARTESANAL S.A.C
2. DIRECCIÓN	AV. LOS CANARIOS MZA. E2 LOTE. 7 LIMA- LIMA- LURIGANCHO
3. PROYECTO	TESIS DE ELECTROCOAGULACION CONTINUA
4. PROCEDENCIA	NO INDICA
5. SOLICITANTE	INDUSTRIA PELETERA ARTESANAL S.A.C
6. ORDEN DE SERVICIO N°	OS-18-1585
7. PLAN DE MONITOREO	NO APLICA
8. MUESTREADO POR	EL CLIENTE
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	2018-11-16

**II. DATOS DE ÍTEM DE ENSAYO**

1. MATRIZ	AGUA
2. NÚMERO DE MUESTRAS	17
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2018-11-05
4. PERÍODO DE ENSAYO	2018-11-05 al 2018-11-16

**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
pH (°)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H 8. 23rd Ed.2017	pH Value. Electrometric Method

*Marco A. Valencia Huerta*  
**Marco A. Valencia Huerta**  
 Ing. Químico  
 Gerente General  
 N° CIP: 152287

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
 Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
 Email. ventas@alab.com.pe  
 www.alab.com.pe

Página 1 de 8

**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS** INFORME DE ENSAYO IE-18-4072

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B. 23rd Ed.2017	Conductivity Laboratory Method
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B. 23rd Ed.2017	Turbidity Nephelometric Method
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D. 23 rd Ed.2017	Chemical Oxygen Demand Closed Reflux, Colorimetric Method
Cromo Hexavalente	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Cr- B. 23 rd Ed.	Chromium. Colorimetric Method

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
 Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
 Email. ventas@alab.com.pe  
 www.alab.com.pe

Página 2 de 8

**INFORME DE ENSAYO IE-18-4072**

**IV. RESULTADOS**

ITEM	1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-11588	M-11589	M-11590
CÓDIGO DEL CLIENTE	M-000	M-001	M-002
COORDENADAS UTM WGS84	NO INDICA		
MATRIZ	AGUA		
GRUPO	NO INDICA		
SUBGRUPO	NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA		
MUESTREO	FECHA: 2018-11-01 HORA: 16:10	2018-11-01 17:12	2018-11-01 19:04
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M. RESULTADOS	
pH (°)	pH	0.01	3.20 3.56 4.10
Conductividad	uS/cm	0.01	87012.00 84905.00 84890.00
Turbidez	NTU	0.01	32.52 13.30 23.20
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	3.75 2.59 2.30
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	3021.02 1501.00 1368.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
 Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
 Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
 Email. ventas@alab.com.pe  
 www.alab.com.pe

Página 3 de 8

**IV. RESULTADOS** INFORME DE ENSAYO IE-18-4072

ITEM	4	5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-11591	M-11592	M-11593
CÓDIGO DEL CLIENTE	M-003	M-004	M-005
COORDENADAS UTM WGS84	NO INDICA		
MATRIZ	AGUA		
GRUPO	NO INDICA		
SUBGRUPO	NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA		
MUESTREO	FECHA: 2018-11-01 HORA: 20:35	2018-11-01 21:23	2018-11-01 22:17
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M. RESULTADOS	
pH (°)	pH	0.01	3.78 3.82 4.50
Conductividad	uS/cm	0.01	84200.00 84581.00 84035.00
Turbidez	NTU	0.01	13.50 7.81 9.28
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	2.24 2.12 2.91
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	1312.00 1268.00 1182.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
 Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
 Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
 Email. ventas@alab.com.pe  
 www.alab.com.pe

Página 4 de 8

IV. RESULTADOS

ITEM		7	8	9	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11594	M-11595	M-11596	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-006	M-007	M-008	
COORDENADAS UTM WGS84		NO INDICA			
MATRIZ		AGUA			
GRUPO		NO INDICA			
SUBGRUPO		NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA			
MUESTREO		FECHA: 2018-11-01	2018-11-02	2018-11-02	
		HORA: 23:36	0:56	2:03	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS		
pH (°)	pH	0.01	4.35	4.08	4.08
Conductividad	uS/cm	0.01	81600.00	84800.00	84600.00
Turbidez	NTU	0.01	8.82	13.54	18.18
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.83	1.74	1.82
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500	1056.00	998.00	961.00

L.C.M.: Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

IV. RESULTADOS

INFORME DE ENSAYO IE-18-4072

ITEM		10	11	12	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11597	M-11598	M-11599	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-009	M-010	M-011	
COORDENADAS UTMWGS84		NO INDICA			
MATRIZ		AGUA			
GRUPO		NO INDICA			
SUBGRUPO		NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA			
MUESTREO		FECHA: 2018-11-02	2018-11-02	2018-11-02	
		HORA: 3:30	4:40	5:50	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS		
pH (°)	pH	0.01	4.52	4.35	4.47
Conductividad	uS/cm	0.01	83750.00	82590.00	81250.00
Turbidez	NTU	0.01	16.85	4.45	4.58
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.55	1.45	1.38
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	695.00	825.00	759.00

L.C.M.: Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

IV. RESULTADOS

ITEM		13	14	15	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11600	M-11601	M-11602	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-012	M-013	M-014	
COORDENADAS UTMWGS84		NO INDICA			
MATRIZ		AGUA			
GRUPO		NO INDICA			
SUBGRUPO		NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA			
MUESTREO		FECHA: 2018-11-02	2018-11-02	2018-11-02	
		HORA: 6:42	7:52	9:10	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS		
pH (°)	pH	0.01	4.42	6.08	6.50
Conductividad	uS/cm	0.01	80060.00	659631.00	59692.00
Turbidez	NTU	0.01	4.39	4.55	4.12
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.23	0.97	0.23
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500	721.00	554.00	600.00

L.C.M.: Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

IV. RESULTADOS

ITEM		16	17	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11603	M-11604	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-015	M-016	
COORDENADAS UTMWGS84		NO INDICA		
MATRIZ		AGUA		
GRUPO		NO INDICA		
SUBGRUPO		NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA		
MUESTREO		FECHA: 2018-11-02	2018-11-02	
		HORA: 10:35	12:25	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS	
pH (°)	pH	0.01	4.12	4.17
Conductividad	uS/cm	0.01	70001.00	74523.00
Turbidez	NTU	0.01	4.17	4.32
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.22	1.54
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	691.00	741.00

L.C.M.: Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

\* FIN DEL DOCUMENTO \*

IV. RESULTADOS

ITEM	13	14	15		
CODIGO DE LABORATORIO	M-11600	M-11601	M-11602		
CODIGO DEL CLIENTE	M-012	M-013	M-014		
COORDENADAS UTMWGS84	NO INDICA				
MATRIZ	AGUA				
GRUPO	NO INDICA				
SUBGRUPO	NO INDICA				
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA				
MUESTREO	FECHA HORA	2016-11-02 6:42	2016-11-02 7:52	2016-11-02 9:10	
ENSAYO	UNIDAD	LC M	RESULTADOS		
pH (°)	pH	0.01	4.42	6.08	6.50
Conductividad	uS/cm	0.01	80960.00	659631.00	58920.00
Turbidez	NTU	0.01	4.39	4.95	4.12
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.23	0.97	0.23
Demanda Quimica de Oxigeno	mg/L	500	721.00	654.00	600.00

"L.C.M": Limite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email: ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

IV. RESULTADOS

ITEM	16	17		
CODIGO DE LABORATORIO	M-11603	M-11604		
CODIGO DEL CLIENTE	M-015	M-016		
COORDENADAS UTMWGS84	NO INDICA			
MATRIZ	AGUA			
GRUPO	NO INDICA			
SUBGRUPO	NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA			
MUESTREO	FECHA HORA	2016-11-02 10:35	2016-11-02 12:25	
ENSAYO	UNIDAD	LC M	RESULTADOS	
pH (°)	pH	0.01	4.12	4.17
Conductividad	uS/cm	0.01	70001.00	74523.00
Turbidez	NTU	0.01	4.17	4.32
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.22	1.54
Demanda Quimica de Oxigeno	mg/L	5.00	691.00	741.00

"L.C.M": Limite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

\* FIN DEL DOCUMENTO \*

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email: ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

IV. RESULTADOS

ITEM	13	14	15		
CODIGO DE LABORATORIO	M-11600	M-11601	M-11602		
CODIGO DEL CLIENTE	M-012	M-013	M-014		
COORDENADAS UTMWGS84	NO INDICA				
MATRIZ	AGUA				
GRUPO	NO INDICA				
SUBGRUPO	NO INDICA				
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA				
MUESTREO	FECHA HORA	2016-11-02 6:42	2016-11-02 7:52	2016-11-02 9:10	
ENSAYO	UNIDAD	LC M	RESULTADOS		
pH (°)	pH	0.01	4.42	6.08	6.50
Conductividad	uS/cm	0.01	80960.00	659631.00	58920.00
Turbidez	NTU	0.01	4.39	4.95	4.12
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.23	0.97	0.23
Demanda Quimica de Oxigeno	mg/L	500	721.00	654.00	600.00

"L.C.M": Limite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email: ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

IV. RESULTADOS

ITEM	16	17		
CODIGO DE LABORATORIO	M-11603	M-11604		
CODIGO DEL CLIENTE	M-015	M-016		
COORDENADAS UTMWGS84	NO INDICA			
MATRIZ	AGUA			
GRUPO	NO INDICA			
SUBGRUPO	NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA			
MUESTREO	FECHA HORA	2016-11-02 10:35	2016-11-02 12:25	
ENSAYO	UNIDAD	LC M	RESULTADOS	
pH (°)	pH	0.01	4.12	4.17
Conductividad	uS/cm	0.01	70001.00	74523.00
Turbidez	NTU	0.01	4.17	4.32
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.22	1.54
Demanda Quimica de Oxigeno	mg/L	5.00	691.00	741.00

"L.C.M": Limite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

\* FIN DEL DOCUMENTO \*

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email: ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-18-4084**

**I. DATOS DEL SERVICIO**

1. RAZÓN SOCIAL	INDUSTRIA PELETERA ARTESANAL S.A.C
2. DIRECCIÓN	AV. LOS CANARIOS MZA. E2 LOTE 7 LIMA- LIMA- LURIGANCHO
3. PROYECTO	TESIS DE ELECTROCOAGULACION CONTINUA
4. PROCEDENCIA	NO INDICA
5. SOLICITANTE	INDUSTRIA PELETERA ARTESANAL S.A.C
6. ORDEN DE SERVICIO N°	OS-18-1592
7. PLAN DE MONITOREO	NO APLICA
8. MUESTREO POR	EL CLIENTE
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	2018-11-16

**II. DATOS DE ÍTEM DE ENSAYO**

1. MATRIZ	AGUA
2. NÚMERO DE MUESTRAS	17
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2018-11-08
4. PERÍODO DE ENSAYO	2018-11-08 al 2018-11-16

**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
pH (°)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H 5. 23rd Ed.2017	pH Value. Electrode Method

*Marco A. Valencia Huerta*  
Ing. Químico  
Gerente General  
N° CIP: 152207

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

**INFORME DE ENSAYO IE-18-4084**

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B. 23rd Ed.2017	Conductivity Laboratory Method
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B. 23rd Ed.2017	Turbidity Nephelometric Method
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D. 23rd Ed.2017	Chemical Oxygen Demand Closed Reflux, Colorimetric Method
Cromo Hexavalente	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Cr-6. 23rd Ed	Chromium. Colorimetric Method

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

**INFORME DE ENSAYO IE-18-4084**

**IV. RESULTADOS**

ITEM	1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-11588	M-11589	M-11590
CÓDIGO DEL CLIENTE	M-003	M-001	M-002
COORDENADAS UTM WGS84	NO INDICA		
MATRIZ	AGUA		
GRUPO	NO INDICA		
SUBGRUPO	NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA		
MUESTREO	FECHA: 2018-11-07 HORA: 13:25	2018-11-07 14:22	2018-11-07 15:34
ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	
pH (°)	pH	0.01	3.65    3.82    4.03
Conductividad	µS/cm	0.01	86010.00    84925.00    84764.00
Turbidez	NTU	0.01	40.10    12.84    22.11
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	3.28    2.74    2.63
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	2863.10    1879.00    1725.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

**IV. RESULTADOS**

**INFORME DE ENSAYO IE-18-4084**

ITEM	4	5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-11591	M-11592	M-11593
CÓDIGO DEL CLIENTE	M-003	M-004	M-005
COORDENADAS UTM WGS84	NO INDICA		
MATRIZ	AGUA		
GRUPO	NO INDICA		
SUBGRUPO	NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA		
MUESTREO	FECHA: 2018-11-07 HORA: 16:42	2018-11-07 17:33	2018-11-07 18:45
ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	
pH (°)	pH	0.01	3.72    3.89    4.30
Conductividad	µS/cm	0.01	84804.00    84654.00    84965.00
Turbidez	NTU	0.01	13.87    8.15    9.25
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	2.52    2.34    2.91
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	1678.00    1572.00    1429.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

IV. RESULTADOS

ITEM		1	2	3	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11592	M-11593	M-11590	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-000	M-001	M-002	
COORDENADAS UTM WGS84		NO INDICA			
MATRIZ		AGUA			
GRUPO		NO INDICA			
SUBGRUPO		NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA			
MUESTREO		FECHA: 2018-11-07 HORA: 13:25	2018-11-07 14:22	2018-11-07 15:34	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M. RESULTADOS			
pH (°)	pH	0.01	3.65	3.82	4.03
Conductividad	uS/cm	0.01	8610.00	84925.00	84764.00
Turbidez	NTU	0.01	40.10	12.84	22.11
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	3.28	2.74	2.53
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	2863.10	1879.00	1725.00

"L.C.M." Límite de cuantificación del Método  
(°) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

Página 3 de 8

IV. RESULTADOS

INFORME DE ENSAYO IE-18-4084

ITEM		4	5	6	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11591	M-11592	M-11593	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-003	M-004	M-005	
COORDENADAS UTM WGS84		NO INDICA			
MATRIZ		AGUA			
GRUPO		NO INDICA			
SUBGRUPO		NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA			
MUESTREO		FECHA: 2018-11-07 HORA: 16:42	2018-11-07 17:33	2018-11-07 18:45	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M. RESULTADOS			
pH (°)	pH	0.01	3.72	3.89	4.30
Conductividad	uS/cm	0.01	84804.00	84654.00	84065.00
Turbidez	NTU	0.01	13.87	8.15	9.25
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	2.52	2.34	2.01
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	1678.00	1572.00	1429.00

"L.C.M." Límite de cuantificación del Método  
(°) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

Página 4 de 8

IV. RESULTADOS

ITEM		7	8	9	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11594	M-11595	M-11596	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-006	M-007	M-008	
COORDENADAS UTM WGS84		NO INDICA			
MATRIZ		AGUA			
GRUPO		NO INDICA			
SUBGRUPO		NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA			
MUESTREO		FECHA: 2018-11-07 HORA: 19:51	2018-11-08 20:56	2018-11-08 21:48	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M. RESULTADOS			
pH (°)	pH	0.01	4.21	4.12	4.10
Conductividad	uS/cm	0.01	81692.00	80230.00	84687.00
Turbidez	NTU	0.01	8.89	13.22	16.24
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.89	1.74	1.61
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	1365.00	1206.00	1157.00

"L.C.M." Límite de cuantificación del Método  
(°) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

Página 5 de 8

IV. RESULTADOS

INFORME DE ENSAYO IE-18-4084

ITEM		10	11	12	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M-11597	M-11598	M-11599	
CÓDIGO DEL CLIENTE		M-009	M-010	M-011	
COORDENADAS UTM WGS84		NO INDICA			
MATRIZ		AGUA			
GRUPO		NO INDICA			
SUBGRUPO		NO INDICA			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		NO APLICA			
MUESTREO		FECHA: 2018-11-08 HORA: 22:37	2018-11-08 23:48	2018-11-08 0:50	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M. RESULTADOS			
pH (°)	pH	0.01	4.33	4.32	4.41
Conductividad	uS/cm	0.01	83789.0	82601.00	81298.00
Turbidez	NTU	0.01	16.97	4.33	4.46
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	2.12	1.59	1.52
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	1041.00	913.00	820.00

"L.C.M." Límite de cuantificación del Método  
(°) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el Informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prolongación Zaramilla Mz 20 lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
www.alab.com.pe

Página 6 de 8

IV. RESULTADOS

ITEM	13	14	15
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-11500	M-11501	M-11502
CÓDIGO DEL CLIENTE	M-012	M-013	M-014
COORDENADAS UTMWGS84	NO INDICA		
MATRIZ	AGUA		
GRUPO	NO INDICA		
SUBGRUPO	NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA		
MUESTREO	FECHA 2018-11-08 HORA 14:2	2018-11-08 3:15	2018-11-08 4:30
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS
pH ( )	pH	0.01	4.37 5.80 6.30
Conductividad	uS/cm	0.01	8005.00 6004.00 5234.00
Turbidez	NTU	0.01	4.43 4.11 4.10
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.41 1.23 0.21
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	781.00 725.00 658.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método  
(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

IV. RESULTADOS

ITEM	16	17	
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-11503	M-11504	
CÓDIGO DEL CLIENTE	M-015	M-016	
COORDENADAS UTMWGS84	NO INDICA		
MATRIZ	AGUA		
GRUPO	NO INDICA		
SUBGRUPO	NO INDICA		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	NO APLICA		
MUESTREO	FECHA 2018-11-08 HORA 8:27	2018-11-08 9:53	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS
pH ( )	pH	0.01	4.15 4.13
Conductividad	uS/cm	0.01	75363.00 76985.00
Turbidez	NTU	0.01	4.11 4.09
Cromo Hexavalente	mg/L	0.01	1.45 1.53
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5.00	659.00 751.00

"L.C.M": Límite de cuantificación del Método  
(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

# Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en ejercicio de las atribuciones conferidas por Ley N° 30224, Ley de Creación del INACAL, y conforme al Reglamento de Organización y Funciones del INACAL, aprobado por DS N° 004-2015-PRODUCE y modificado por DS N° 008-2015-PRODUCE,

OTORGA la presente Acreditación a:

## ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

En su calidad de Laboratorio de Ensayo

Con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, para el alcance de la acreditación contenido en el formato DA-acr-05P-17F, facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial.

**Sede Acreditada:** Domicilio Prolongación Zaramilla, Mz. D2 Lote 3, Asociación Daniel Alcides Carrión, distrito de Bellavista, provincia constitucional del Callao y departamento de Lima.

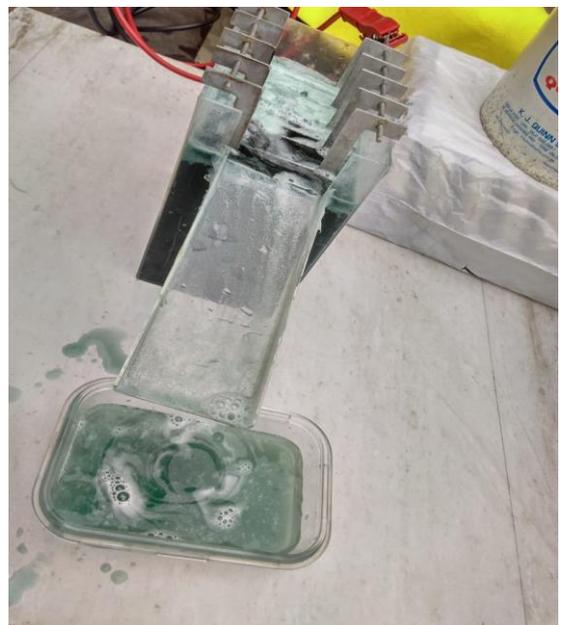
Fecha de Acreditación: 25 de julio de 2016  
Fecha de Vencimiento: 25 de julio de 2019

Registro N° LE - 096  
Fecha de emisión: 12 de agosto de 2016  
DA-acr-01P-02M Ver. 00

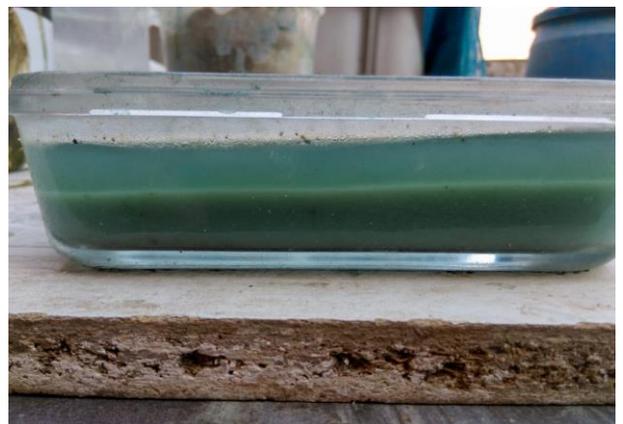
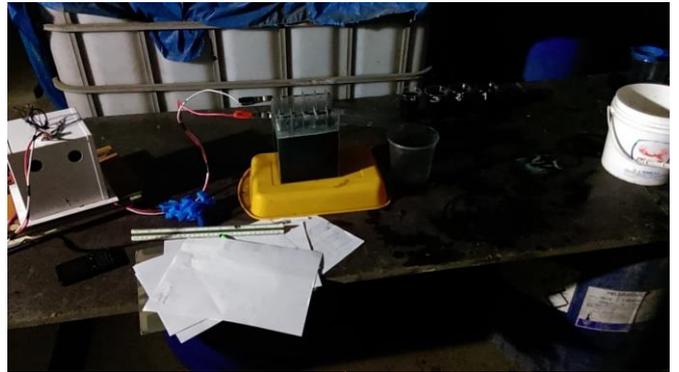
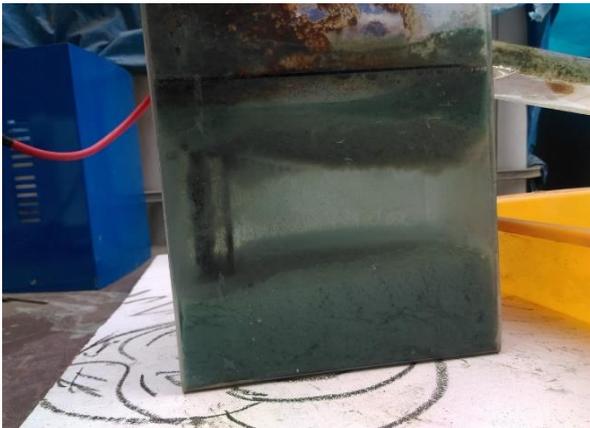
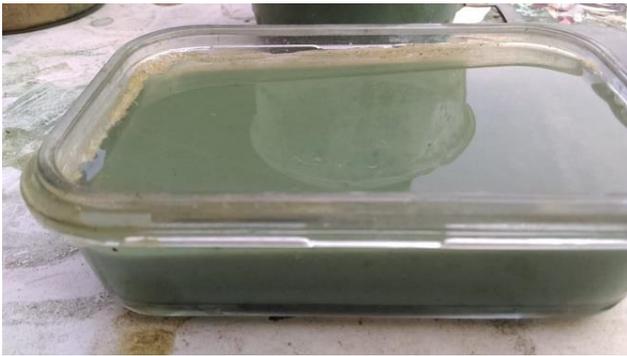
**Augusto Mello Romero**  
Director - Dirección de Acreditación

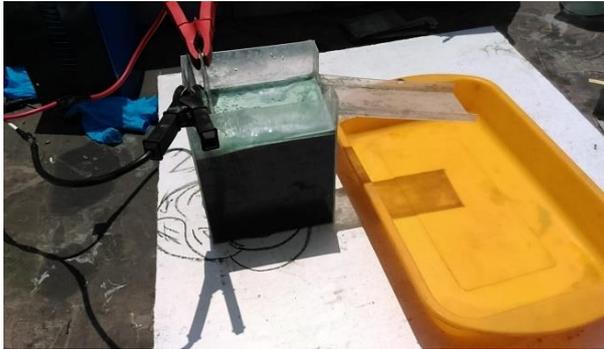
# Anexo N°IX: Panel Fotográfico EC





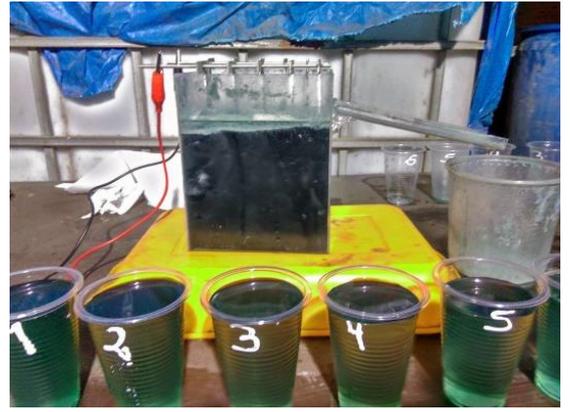








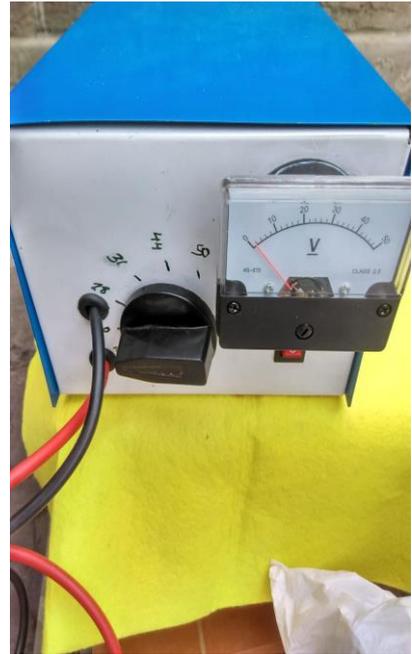














Yo, **Dr. Lorgio Gilberto Valdiviezo Gonzales** docente de la Facultad Ingeniería y Escuela Profesional Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo Lima Este .(precisar filial o sede), revisor (a) de la tesis titulada

„ Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre - Huachipa - 2018

del (de la) estudiante **Franklin Romulo Aguilar Maneco**, constato que la investigación tiene un índice de similitud de **.19** % 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 **Lima, 10 de Diciembre 2018**



Dr. Lorgio Gilberto Valdiviezo Gonzales

DNI: 40323063

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

Feedback Studio - Google Chrome  
 https://ev.turnitin.com/app/carta/es/?lang=es&u=1049382400&o=1054355332&s=1&ro=3

feedback studio      tesis      /20      11 de 70

**21**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**1**  
 Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre-Huachipa-2018."

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES

Franklin Rómulo Aguilar Mancco  
 Allison Palomino Cartolin

Página: 1 de 149      Número de palabras: 27727

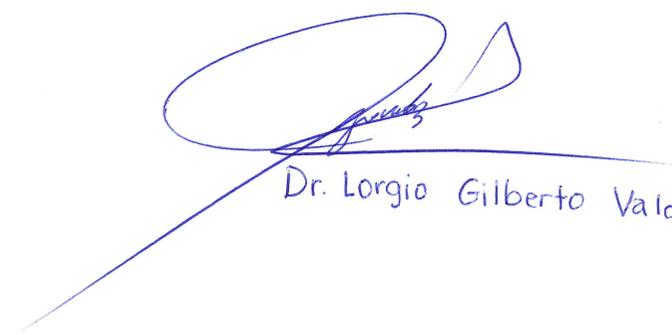
Text-only Report      High Resolution      Activado

15:14  
 12/12/2018

**Resumen de coincidencias** X

**19 %**

Rango	Origen	Porcentaje
1	docplayer.es <small>Fuente de internet</small>	2 %
2	dspace.unitru.edu.pe <small>Fuente de internet</small>	1 %
3	Entregado a Fundacion... <small>Resumen de coincidencias - estudiante</small>	1 %
4	cybertesis.uni.edu.pe <small>Fuente de internet</small>	1 %
5	porticus.usantotomas... <small>Fuente de internet</small>	1 %
6	bibdigital.epn.edu.ec <small>Fuente de internet</small>	1 %
7	www.javeriana.edu.co <small>Fuente de internet</small>	1 %
8	Entregado a Pontificia... <small>Trabajo del estudiante</small>	1 %
9	repositorio.lamolina.ed... <small>Fuente de internet</small>	1 %
10	Entregado a Escuela P... <small>Trabajo del estudiante</small>	1 %



Dr. Lorgio Gilberto Valdiviezo Gonzales





# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

Mg. Fernando Antonio Sernaqué Auccahuasi

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

Franklin Rómulo, Aguilar Manco

INFORME TÍTULADO:

"Evaluación de un sistema de electrocoagulación de flujo continuo  
para la remoción de Cromo (VI) y DQO de Cutimbre - Huachipa - 2018"

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingeniero Ambiental

SUSTENTADO EN FECHA: 10/12/2018

NOTA O MENCIÓN: DIECISIETE (17)

MG. FERNANDO ANTONIO SERNAQUÉ AUCCAHUASI