ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

"EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA PARA LA REMOCIÓN DE CROMO EN EFLUENTES DE CURTIEMBRES, MEDIANTE ELECTROFLOTACIÓN"

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: EDISSON ANDRÉS ALTAMIRANO CARRASCO

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA

Riobamba –Ecuador

2019

© 2019, Altamirano Carrasco Edisson Andrés

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Investigación: "**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA PARA LA REMOCIÓN DE CROMO EN EFLUENTES DE CURTIEMBRES, MEDIANTE ELECTROFLOTACIÓN**" de responsabilidad del señor Edisson Andrés Altamirano Carrasco ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	**FECHA**
Ingeniero - Juan Carlos González García **DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**		**03/10/2019**
Dra. Magdy Mileni Echeverria Guadalupe, Ph.D **MIEMBRO DEL TRIBUNAL**		**03/10/2019**

Yo, Edisson Andrés Altamirano Carrasco soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

……...……

Edisson Andrés Altamirano Carrasco

DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD

Yo, EDISSON ANDRÉS ALTAMIRANO CARRASCO, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Edisson Andrés Altamirano Carrasco
C.I. 180435060-0

DEDICATORIA

A DIOS, quien me acompaña día tras día, me dio la iluminación, fortaleza y el conocimiento para poder llegar a este punto y seguir avanzando.

A mi padre, que es todo para mí, quien nunca me abandono y siempre fue mi mejor amigo y apoyo en esta vida.

A mi madre, por su apoyo, consejos de vida y demás.

A mi hermana, mi compañera de vida y gran amiga, que me apoyado y ayudado siempre.

A mis sobrinas por ser mi fuente de motivación para ser mejor y buscar mejorar el mundo en el que vivimos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a DIOS por todo lo bueno que ha puesto en mi vida.

A mi familia por su apoyo y compañía incondicional

Al Ingeniero Juan Carlos González por sus enseñanzas y asesoría al momento de realizar el presente trabajo de investigación.

A la Dra Magdy Echeverría por sus conocimientos, consejos, sugerencias y bendiciones.

Al Dr. Robert Cazar por todos sus conocimientos recibidos, por su apoyo y por qué además de ser un gran docente es un grandioso amigo también.

A la Dra. Gina Alvares y también a la Ing. Raquel Coba por brindarme las facilidades y sus conocimientos que fueron de gran ayuda en la elaboración de esta tesis.

A la Tenería Inca por su amabilidad, por todas las facilidades que me otorgaron para la toma de muestras y el conocimiento sobre el proceso de Curtido de Pieles.

A mis grandes amigos Andrés Ramos, Mario Miranda, Andrés Olivo, Juan Sánchez, Marcelo Salinas, Diana Moreira, Daniela Carrión, Ivy Catota por su apoyo, por ser grandes compañeros de vida, por su apoyo, consejos y buenos momentos vividos.

ÍNDICE

RESUMEN ..... **¡Error! Marcador no definido.**

ABSTRACT ..... **¡Error! Marcador no definido.**

INTRODUCCIÓN xv

OBJETIVOS 4

General 4

Específicos 4

CAPITULO I 5

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL 5

1.1. Antecedentes de la investigación 5

1.2. Marco Teórico 7

1.2.1. Curtido de pieles 7

1.2.2. Aguas residuales de la industria de curtido 12

1.2.3. Cromo 14

1.2.4. Electroquímica 18

1.2.5. Electroflotación 21

CAPITULO II 28

2. MARCO METODOLÓGICO 28

2.1. Tipo y diseño de la investigación 28

2.1.1. Tipo de investigación: 28

2.1.2. Diseño de investigación: 28

2.2. Hipótesis y Especificación de Variables 29

2.2.1. Hipótesis 30

2.2.2. Variables 30

2.3. Obtención de la muestra: 30

2.3.1. Población de estudio: 30

2.3.2. Unidad de análisis 30

2.3.3. Tamaño de la muestra: 31

2.3.4. Selección de la muestra: 31

2.4. Técnicas de recolección de datos 31
2.4.1. Toma de muestras del Agua residual de curtido. 31
2.4.2. Caracterización del efluente 31
2.4.3. Dimensionamiento y Construcción del equipo de electroflotación 34
2.4.4. Preparación de los electrodos 35
2.4.5. Distancia entre electrodos 36
2.4.6. Montaje del equipo de electroflotación 36
2.4.7. Funcionamiento y Control de variables 38
2.4.8. Toma de muestra del efluente tratado 38
2.4.9. Análisis del efluente tratado 38
2.4.10. Procesamiento estadístico de los datos 39

CAPITULO III 40

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS. 40

3.1. Resultados de la caracterización de aguas residuales de curtido 40
3.2. Resultado de ensayos preliminares para determinar la distancia entre los electrodos 41
3.3. Construcción de Celdas de Electroflotación. 43
3.4. Control de Voltaje, Amperaje 44
3.5. Resultado de la caracterización de efluentes tratados. 45
3.5.1. Resultados de la Concentración de cromo 45
3.5.1.1 Análisis Estadístico de la concentración final de Cromo 48
3.5.1.2 Análisis Estadístico del porcentaje de cromo reducido. 49
3.5.2. Reducción de la absorbancia 50
3.5.3. Resultados de la Demanda Química de Oxigeno 52
3.5.3.1 Análisis Estadístico de los resultados de DQO 55
3.5.3.2 Analisis estadistico del porcentage de DQO reducido 56
3.5.4. Resultados de la Variación de pH. 57
3.5.4.1. Análisis estadístico de Resultados de pH 59

CONCLUSIONES 61

RECOMENDACIONES 62

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Capas de la Piel 7
Figura 1-2 Bombo de curtido 8
Figura 1-3. Diagrama del Proceso de Curtido 9
Figura 1-4. Reticulación lateral del sulfato de cromo con el colágeno. 11
Figura 1-5. Proceso de producción de cuero y sus efluentes Residuales. 14
Figura 1-6. Procesos presentes en un reactor electrolítico 23
Figura 1-7 Electrodisolución del metal del Ánodo 24
Figura 2-1 Construcción del equipo de electroflotación. 34
Figura 2-2 Combinación de electrodos usados durante el estudio 35
Figura 2-3 Preparación de los electrodos 36
Figura 2-4 Montaje de la celda de electroflotación *con placa de Acero Inoxidable y malla de Hierro.* 37
Figura 2-5 Montaje de la celda de electroflotación *con placa de grafito y malla de Hierro.* 37
Figura 2-6 Montaje de la celda de electroflotación *con placa de cobre y malla de Hierro.* 38
Figura 3-1 Equipo de electroflotacion 44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tratamientos a realizados en la investigación 28
Tabla 2-2 Intensidad de corriente eléctrica aplicada en los tratamientos 29
Tabla 2-3 Voltaje aplicado durante el tratamiento 29
Tabla 2-4 Combinaciones de electrodos y su respectiva nomenclatura 30
Tabla 2-5 Parámetros a analizar en la caracterización inicial 32
Tabla 2-6 Parámetros a analizar en la caracterización final 39
Tabla 3-1 Resultados de la caracterización de la muestra de agua de curtido 40
Tabla 3-2 Resultados de los ensayos para determinar la disposición y distancia 42
Tabla 3-3 Control de intensidad Eléctrica 44
Tabla 3-4 Control de Voltaje 45
Tabla 3-5 Resultados de concentración de Cromo total de efluentes tratados. 46
Tabla 3-6 Absorbancia de las muestras de los tratamientos realizados a 281 nm 51
Tabla 3-7 Demanda Química de Oxigeno en los efluentes tratados. 52
Tabla 3-8 Resultados de mediciones de pH 57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1 Disminución de la concentración de Cromo en los 47
Gráfico 3-2 Porcentaje de remoción de Cromo en los tratamientos..... 47
Gráfico 3-3 Análisis Estadístico de la concentración final de Cromo..... 49
Gráfico 3-4 Análisis Estadístico del porcentaje de cromo Reducido. 50
Gráfico 3-5 Absorbancia a 281 nm 52
Gráfico 3-6 Reducción de la Demanda Química de Oxigeno 53
Gráfico 3-7 Porcentaje de reducción de la DQO en los efluentes..... 54
Gráfico 3-8 Análisis Estadístico de los resultados de DQO..... 56
Gráfico 3-9 Analisis estadistico del porcentage de DQO reducido..... 57
Gráfico 3-10 Variación de pH. 58
Gráfico 3-11 Análisis estadístico de Resultados de pH 59

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A Proceso de curtido y toma de muestras.

ANEXO B Calculo del tamaño de la muestra

ANEXO C Análisis de cromo Y DQO

ANEXO D Caracterización del efluente

ANEXO E Volúmenes de titulación en Yodometría y % de óxido de Cromo

ANEXO F Equipo de electroflotación y observaciones

RESUMEN

Se sometió una muestra de efluentes de curtido de pieles a tratamiento de electroflotación con el objetivo de evaluar la eficiencia de dicho tratamiento en la remoción de cromo, inicialmente se caracterizó los parámetros físico-químicos del efluente, teniendo una concentración inicial de cromo total de 16 g/l y una DQO de 19600 mg/l, la celda de electroflotación fue construida en acrílico, con una base de 11 x 11 cm y una altura de 15 cm, con una configuración binaria de Electrodos es decir un Ánodo soluble y un cátodo estable con alto potencial estándar de reducción, se utilizaron 3 combinaciones de electrodos (E) la primera combinación (E1): malla de hierro como ánodo y placa de acero inoxidable como cátodo, la segunda (E2): malla de hierro como ánodo y grafito como cátodo, la tercera combinación (E3): malla de hierro como ánodo y placa de cobre como cátodo, conectados a una fuente de poder de 1 Amperio y 12 voltios. Se aplicaron 4 tiempos de tratamiento T, el primero T1 consistió en someter al efluente a al proceso de electroflotación durante 15 minutos, el tiempo T2 se la sometió a 30 minutos, el tiempo T3 fue de 45 minutos, mientras que T4 fue de 45 minutos de electroflotación y 1 día de precipitación. Los resultados demuestran que a mayor tiempo de tratamiento mayor es la eficiencia de remoción y que es necesario que el efluente tratado repose para que las partículas desestabilizadas precipiten. El tratamiento E2T4 fue el que obtuvo 64.64 % de reducción de cromo y 58.34 % de DQO. Se recomienda en futuras investigaciones aumentar tanto el tiempo de tratamiento.

Palabras clave

BIOTECNOLOGÍA, INGENIERÍA AMBIENTAL, TRATAMIENTO DE AGUAS, CELDA DE ELECTROFLOTACIÓN, ELECTRODOS, EFLUENTE DE CURTIDO, EFICIENCIA, REDUCCIÓN DE CROMO.

ESPOCH - DIBRAI
PROCESOS TÉCNICOS Y ANALISIS
BIBLIOGRAFICO Y DOCUMENTAL
19 SEP 2013
REVISIÓN DE RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA
Por: ..... Hora: 10:12

ABSTRACT

A sample of skin tanning effluents was subjected to electro-flotation treatment in order to evaluate the efficiency of said treatment in chromium removal, initially the physical-chemical parameters of the effluent were characterized, having an initial total chromium concentration of 16 g / l and a DQO of 19600 mg / l, the electro flotation cell was constructed in acrylic, with a base of 11 x 11 cm and a height of 15 cm, with a binary configuration of Electrodes that is a soluble anode and a stable cathode with high standard reduction potential, 3 combinations of electrodes (E) the first combination (E1): iron mesh as anode and stainless steel plate as cathode, the second (E2) were used: iron mesh as anode and graphite as cathode, the third combination (E3): iron mesh as anode and copper plate as cathode, connected to a power source of 1 Ampere and 12 volts. 4 treatment times T were applied, the first T1 consisted of subjecting the effluent to the electro-flotation process for 15 minutes, the time T2 was subjected to 30 minutes, the time T3 was 45 minutes, while T4 was 45 minutes of electro flotation and 1 day of precipitation. The results show that the longer the treatment time, the greater the removal efficiency and that the treated effluent needs to rest so that the destabilized particles precipitate. The E2T4 treatment was the one that obtained 64.64% chromium reduction and 58.34% DQO. It is recommended in future research to increase both the treatment time.

Keywords:

BIOTECHNOLOGY, ENVIRONMENTAL ENGINEERING, WATER TREATMENT, ELECTROFLOTATION CELL, ELECTRODES, EFFICIENCY, REDUCTION CHROME.

CENTRO DE IDIOMAS
SECRETARIA
RIOBAMBA - ECUADOR

INTRODUCCIÓN

A nivel nacional, la industria del cuero es una de las principales actividades económicas en varias ciudades del país, la mayor concentración de esta industria radica en la Provincia de Tungurahua con cerca del 85% de la producción Nacional, pero la manera en la que se realiza el proceso está generando contaminación a los cuerpos hídricos. Actualmente, más del 90% de las industrias de curtido utilizan sales de cromo para convertir pieles animales en Cuero, este proceso le otorga blandura, estructura, resistencia y mejor elasticidad, siendo el producto final utilizado como materia prima en diversas industrias. El proceso de curtido al cromo es considerado el más versátil debido a que resulta más conveniente, efectivo y rápido en comparación a utilizar sustancias vegetales como curtientes. (MAE, 2013, pp. 126-155)

La industria de Curtido genera un elevado consumo de agua y un considerable impacto ambiental, según (Ortíz, 2013, pp. 28-33), el proceso de curtido está favoreciendo a la perdida de la calidad de cuerpos de agua, debido al nulo o inadecuado tratamiento de los efluentes producidos por estas actividades, estas descargas poseen la presencia principalmente de cromo ya que en el proceso se requiere un exceso de este elemento, además se ha reportado también la existencia de: sulfatos, taninos, grasas, colorantes, residuos orgánicos, sólidos en suspensión, lo que genera elevados valores de DQO esto hace que se vean afectados ecosistemas acuáticos y en ocasiones la salud de algunas poblaciones, ya a que en muchos casos estas aguas son usados para regadío, provocando una acumulación en la cadena trófica. Usualmente en efluentes de curtiembre, se encuentran mayor concentración de Cr^{3+} que Cr^{+6}, siendo este último más toxico para las diferentes formas de vida. Además (Tayupanda, 2010, pp. 30-37) indica que, durante el proceso de curtido, se producen efluentes que presentan sulfatos, lo cual, al ser descargados directamente hacia un sistema de alcantarillado, pueden producir problemas de corrosión en las cañerías y la generación de sulfuro de hidrógeno gaseoso.

El cromo es un metal pesado que puede bioacumularse, por lo que puede afectar a varios niveles de la cadena trófica. Algunos organismos internacionales como el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) de los Estados Unidos, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) indican que el $Cromo^{6+}$ puede ser cancerígeno para seres humanos, por lo que su remoción de los efluentes de curtidos es de vital importancia. (Medina & Pozo , 2016, pp. 85-87)

La electroflotación es un proceso por el cual sustancias contaminantes presentes en efluentes suben a la superficie, esto gracias a un proceso de electrolisis, donde se da la generación de burbujas de hidrógeno y oxígeno en un cátodo y en un ánodo respectivamente. La eficiencia del proceso de flotación está determinada por el pequeño tamaño de las burbujas generadas, las burbujas pequeñas proporcionan una mayor superficie de contacto para la adsorción de las partículas a eliminar, además del efecto de la electricidad desestabilizando el efluente. Estas son algunas de las principales ventajas de este proceso respecto a otros de flotación clásicos como DAF (disolved air flotation). (Universidad de Alcalá, 2010).

Esta tecnología plantea ser una solución económica, efectiva, rápida y sencilla para reducir la concentración de Cromo presente en aguas residuales del proceso de curtido de pieles, mediante la reducción del potencial Z y la desestabilización de las moléculas, logrando hacer que estas suban a la superficie y su posterior precipitación. Según (Rodríguez, 2016, pp. 33-37) las partículas desestabilizadas durante la electroflotación, se aglutinan para formar flóculos, donde al mismo tiempo, las pequeñas burbujas de hidrógeno y oxígeno, producidas provocan la flotación de los mismos, agilizando la separación de partículas del agua residual.

De acuerdo al (TULSMA, 2014) se establece en el libro III del anexo VI, sobre la descarga de efluentes hacia un sistema de alcantarillado, que los niveles de Cr VI no deben exceder los 0.5 mg/l, lo cual a nivel de las industrias de producción de cuero es difícil de conseguir, ya que el proceso requiere un exceso de cromo lo que da una concentración residual muy elevada y a que la gran mayoría de industrias de curtido no tratan sus aguas residuales o el tratamiento no es suficiente ,por lo cual, sus efluentes contribuyen a la perdida de la calidad de ecosistemas acuáticos.

La presente investigación busca usar como electrodos materiales de bajo costo y resistentes al desgaste como el acero Inoxidable, el cobre y el Grafito. En base a esto se considera la utilización de un tratamiento de electroflotación, siendo este más rápido que los tratamientos biológicos y con costos operacionales menores que los tratamientos químicos; obteniéndose además eficiencias aceptables en la remoción no solo de cromo sino también DBO, color y además desestabiliza emulsiones y partículas disueltas en el agua. (Rodríguez, 2016, pp. 33-37)

Reduciendo la concentración de cromo Trivalente en las descargas, evitaríamos que se produzca Cromo Hexavalente al entrar en contacto con especies químicas oxidantes, mismas que se pueden encontrar en aguas negras o grises y reduciendo así el deterioro ecosistémico y favorecer a una industria de producción de cuero más amigable con el ambiente.

Durante la experimentación, se planteó utilizar 3 celdas de 0.11 X 0.11 m de base X 0.15 de altura con 3 diferentes combinaciones binarias es decir en cada una un cátodo y un Ánodo , con una placa solidas (Acero Inoxidable, Grafito y Cobre) en la base (cátodo) combinada con una malla de Hierro (Ánodo) en cada una, se optó por el uso de una malla para que así no se vea afectado el tránsito de los gases producidos por la hidrolisis hacia la superficie (Grisol da Cruz & Dutra, 2016, pp. 3681-3687), combinaciones de cátodo – ánodo diferente a las que se usa en el proceso de electrocoagulación habitual (Hierro – Aluminio), la primera combinación planteada es el uso de una placa grafito y una malla de hierro ,esto debido al uso de grafito en varios proceso de eletroremediación (Al-Shannag, et al., 2014, p. 749–756). La segunda combinación planteada es el uso de Cobre – Malla de Hierro, en este caso el cobre al ser un material con una gran capacidad de conducir electricidad, podría mantener una buena eficiencia energética, lo cual lo haría apto para desestabilizar las dispersas partículas presentes en el agua. La última configuración propuesta es Acero Inoxidable – Malla de hierro, donde (Oliveira , et al., 2015, pp. 109-113) indica que el acero fue usado como electrodo con resultados óptimos al desgaste y que pueden liberar agentes que favorezcan la coagulación. A diferencia del proceso de electrocoagulación el principio es que los electrodos de Fe-Al liberan iones al agua y causando desgaste de los mismos, la electroflotación podría ser una tecnología con costos de operación menores.

Se plantea evaluar el porcentaje de remoción de cromo mediante la aplicación de técnicas de electro flotación utilizando 3 diferentes combinaciones de cátodo - ánodo a 3 tiempos de tratamiento (15, 30, 45 minutos), y un voltaje de (12V), dado que un voltaje alto podría elevar la temperatura del agua y eso favorece a la oxidación de cromo trivalente a cromo hexavalente. (Romero, 2015, pp. 38-55)

OBJETIVOS

General

Evaluar de la eficiencia para la remoción de cromo en efluentes de curtiembres, mediante electroflotación

Específicos

Caracterizar los efluentes procedentes del curtido

Efectuar el tratamiento de las aguas mediante un sistema de electroflotación construido con diferentes tipos de ánodos y cátodos.

Determinar el porcentaje de remoción de cromo en los efluentes tratados

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

En Ecuador, existen escasos estudios sobre la eficiencia de la aplicación de electroflotación como tratamiento de efluentes de industrias de curtiembre; sin embargo, ciertas investigaciones realizadas, tanto dentro como principalmente fuera del país, aplican técnicas electroquímicas para el tratamiento de diferentes efluentes industriales.

Usualmente las propuestas de tratamiento convencionales que se les da a los efluentes de curtiembres, se basan en coagulantes químicos, procesos de oxidación avanzada y/o tratamiento biológico (Vidal , et al., 2003, pp. 58-64); mismos que resultan ser eficientes, pero no son muy aplicados a nivel local por diversos motivos.

La utilización de procesos electroquímicos para el tratamiento de aguas residuales está adquiriendo cada día más importancia por su versatilidad, reducido tamaño y capacidad de automatización. La utilización de electricidad para tratar aguas residuales tiene una larga tradición, siendo utilizada por primera vez en Inglaterra en 1889. La utilización de procesos electrolíticos en la recuperación de metales fue patentada por Elmore en 1904 y el proceso de electrocoagulación (EC) con aluminio y hierro fue patentado en Estados Unidos en 1909. La primera utilización a gran escala de la EC para el tratamiento de aguas potables fue en 1946. (Suárez López, et al., 2015, pp. 4-11)

(Romero, 2015, pp. 110-128) en su estudio realizado en la ciudad de Quito para recuperar cromo utilizado en curtido de pieles mediante el método de electrocoagulación partiendo de aguas residuales de curtido con valores de Cr de hasta 6000 mg/l y valores de DQO de hasta 10000 con tiempos de residencia de 15,30,45 minutos en una celda de 8 L y electrodos de Fe-Al, se consiguió una reducción máxima del 21,9 % de la concentración de cromo.

Las remediación mediante técnicas electroquímicas, no son muy estudiadas o aplicadas en el Ecuador, es así que (Rodríguez, 2016), en su estudio de "Determinación de la eficiencia de remoción de colorantes presentes en el efluente de una industria de textiles de tela de algodón mediante electrocoagulación", nos indica que la aplicación de electrocoagulación usando electrodos de aluminio- hierro , con voltajes menores a 30 V , consiguen una remoción de DQO del 99.2 % y del Color del 99.8, siendo este sistema apropiado para reducir dichos parámetros.

El control de variables como el voltaje, amperaje, tiempo de tratamiento, pH y la conductividad eléctrica, pueden afectar seriamente la eficiencia de la remoción de contaminantes de las aguas tratadas, tal como (Gómez & Martínez, 2013) relata en su "Estudio de Optimización de Variables de Funcionamiento de un Sistema de Electrocoagulación para tratar Aguas de la Industria Textil", donde además nos señala que, la duración de los electrodos será proporcional al amperaje al que se someterá el tratamiento.

El estudio realizado por (Morales & Acosta , 2010) nos indica que, los tratamientos electroquímicos aplicados a industrias de galvanizado, tienen porcentajes de remoción de superiores al 47 % de metales pesados tales como Cr, Pb y Zn , siendo el Cr VI el que fue removido mayoritariamente, alcanzándose una eficiencia del 51.65 % a pH ácidos y temperaturas de 48 °C. Dicho experiencia se basó en el estudio denominado "Selección de electrodo y amperaje en la separación de un aceite lubricante emulsionado en agua por electroflotación" (Huangal Scheineder & Cabrera , 2015), donde nos indica que la utilización de electrodos de acero inoxidable logra un porcentaje de remoción de aceites de hasta un 78%, lo que demuestra que la técnica de electroflotación podría arrojar resultados prometedores para reducir las concentraciones de Cr ; además de la reducción significativa de los niveles de grasas y DQO de efluentes de Curtiembre.

(Al-Shannag, et al., 2014) en su estudio sobre remoción de iones de metales pesados mediante electrocoagulación donde se utiliza un reactor de electrocoagulación con electrodos de grafito y parte de aguas creada en laboratorio con presencia de cobre, níquel, zinc y una concentración de Cromo de 95 ppm y una conductividad eléctrica de 8.9 ms/cm, se logra una remoción máxima de 93% de la concentración de Cr 3+ y valores similares en el resto de iones metales.

El estudio de (Oliveira , et al., 2015) sobre la electroflotación como método para tratar aguas contaminadas por metales pesados donde se crea agua sintética con presencia de Plomo Zinc y Bario, un pH de 10 y un tiempo de resiliencia de 30, en un reactor BATCH de electro flotación utilizando mallas de Acero, y una densidad de corriente eléctrica de 35 A/m^2 en el cual se logró una remoción promedio del 97%.

(Merzouk , et al., 2009) en su estudio para remover turbiedad y separar metales pesados de aguas residuales mediante la técnica de electroflotación – electrocoagulación, donde aplican 1 A de intensidad de corriente eléctrica y una separación de placas de acero que va desde 1 a 3 cm una de otra, aguas con rangos de concentración de metales (Fe, Ni, Pb, Zn, Cu) que van desde los 50-600 mg/l finalmente logra reducir el 81.5 % de la turbiedad y una recuperación máxima 95%.

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Curtido de pieles

El curtido es un proceso químico por el cual se busca convertir la piel de diversos animales principalmente bovinos, y ovinos en cuero. El curtido comprende una combinación de procesos mecánicos y químicos, el corazón del proceso es la operación de curtido en sí, en la cual materiales orgánicos o inorgánicos se ligan a la estructura proteínica de la piel y la preservan del deterioro.

El proceso de curtido radica en reforzar la estructura proteica del cuero creando enlaces en las cadenas peptídicas. (Germillac, 2002)

El cuero consta de tres capas: epidermis, dermis y capa subcutánea

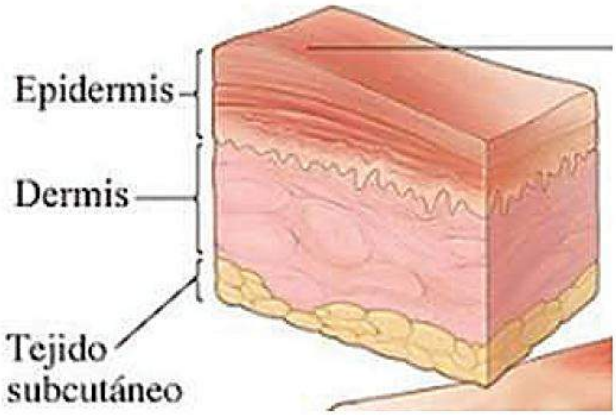


Figura 1-1 Capas de la Piel

Fuente: (Moreno de la Fuente, 2009)

Según (Germillac, 2002) ,la dermis comprende aproximadamente un 30 a un 35 % proteína, que en su mayor parte es colágeno, siendo el resto agua y grasa. La dermis se utiliza para fabricar después de eliminar las demás capas con medios químicos y mecánicos.

Los procesos de curtido pueden realizarse con agentes vegetales y con sales de cromo; el curtido vegetal es el realizado con taninos que aportan poli fenoles, que son agentes astringentes; el proceso es lento, pues requiere entre una y dos semanas, por otro lado, el curtido químico con cromo es mucho más rápido y se realiza en un período de 6 a 8 horas. (Ortíz & Carmona, 2015, pp. 117-123)

Hoy en día, más del 80 % de los cueros del mundo se curten mediante el proceso al cromo, utilizándose soluciones acidas para regular el pH y sales de cromo como sulfato básico de cromo o sulfato de cromo. Es un proceso muy rápido donde todos los cueros salen con un tinte azul claro, conocido como "azul húmedo o wet blue".

Los procesos del curtido de pieles se dan en reactores de forma cilíndrica llamados "Bombos" los mismos que están conectados a motores que facilitan su rotación, dicha rotación sirve para logra el contacto uniforme de las pieles con las soluciones curtientes. La calidad del cuero depende principalmente de la cantidad y homogeneidad del cromo fijado en el colágeno de la piel. El proceso de curtido utiliza exceso de cromo para garantizar la fijación de este en las proteínas de la piel y evitar la descomposición del cuero.

Figura 1-2 Bombo de curtido

Realizado por: Altamirano,2019

1.2.1.1. Proceso de Curtido

El proceso de curtido costa de 5 etapas: Ribera, Piquelado, Curtido, Tinturado y Acabado, las cuales constan de varios subprocesos que se detallan a continuación.

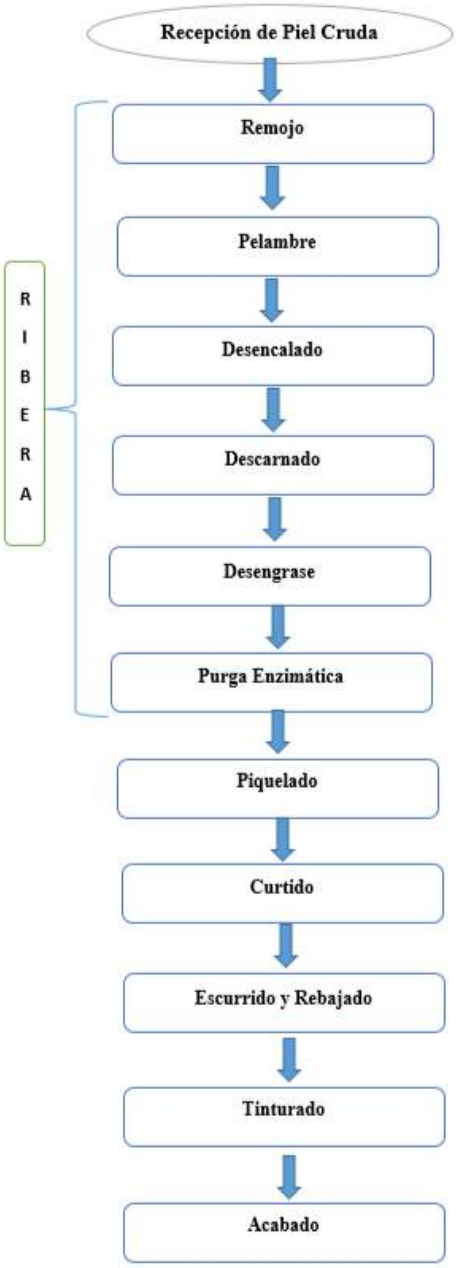


Figura 1-3. Diagrama del Proceso de Curtido

Realizado por: Altamirano,2019

1.2.1.2. Etapa de Ribera

En esta etapa se acondiciona el cuero para el posterior curtido, se limpia y se regula el nivel de humedad. En esta etapa se procede a la eliminación del pelo o la lana propia de las pieles además se realiza la desinfección y se devuelve la humedad a las pieles que fueron conservadas antes de su

recepción. En este proceso se utiliza sulfuro de sodio (Na_2S) y oxido de calcio (CaO) para eliminar la epidermis y el pelo. Además del descarnado. Esta etapa consta de algunos subprocesos descritos a continuación. (UNNA, 2002)

- Remojo

Proceso para rehidratar la piel, eliminar la sal, lavar impurezas, retirar excretas y suciedad. Aquí se emplean sustancias como de sodio (NaOH), agentes desinfectantes como el hipoclorito de sodio (NaClO), agentes tensoactivos, y preparaciones enzimáticas. En este proceso se ocupa un gran volumen de agua. (UNNA, 2002)

- Pelambre

Proceso por el cual se elimina el pelo presente en las pieles mediante el uso de sustancias químicas como el sulfuro de sodio (Na_2S) y la cal (CaO), además de soluciones enzimáticas para que además se produzca el desdoblamiento de las fibras de la piel preparándola para su posterior curtido. (UNNA, 2002)

- Desencalado

Proceso donde se lava la piel para remover la cal y así evitar que interfiera en los procesos consecuentes. Se utiliza fenolftaleína como indicador en caso de presencia de residuos de cal.

- Descarnado

Proceso que consiste en la eliminación mecánica de la grasa natural y del tejido excedente, se puede elegir el grosor final de la piel, esto es esencial para los siguientes procesos (UNNA, 2002). Este proceso es realizado por maquinas que poseen rodillos que se encargan de dividir y separar el tejido subcutáneo o carnaza del resto de la piel. Este residuo de carnaza puede ser ocupada como materia prima para elaboración de gelatinas.

- Desengrase

Proceso donde se ocupan Tenso activos para eliminar las grasas naturales restantes.

- Purga Enzimática

Proceso donde se emplean enzimas proteolíticas para limpiar los poros de la piel, se encarga de eliminar proteínas no estructuradas mejorando así la textura de las pieles. Dándoles mayor lisura y elasticidad a las mismas. (UNNA, 2002)

1.2.1.3. Etapa de Piquelado

Este proceso consiste en preparar químicamente la piel para el curtido, esto se realiza mediante la utilización se sustancias con pH ácidos, como el caso del ácido fórmico o ácido sulfúrico que aportan protones que enlazan con el grupo carboxílico, permitiendo la difusión del curtiente hacia el interior de la piel, sin que se fije en capas externas de colágeno.

1.2.1.4. Etapa de Curtido

Proceso por el cual se estabiliza el colágeno de la piel mediante agentes curtientes minerales o vegetales, transformándola en cuero, siendo las sales de cromo las más utilizadas. Se adiciona comúnmente sulfato de cromo ($Cr_2(SO_4)_3$) o sulfato básico de cromo ($Cr_2(OH)(SO_4)_3$). Se suele utilizar también sales de Hierro, Aluminio y Zirconio, pero sus efectos curtientes son mucho menores a las sales de cromo. (Moreno de la Fuente,2009). Los curtidos vegetales para la producción de suelas emplean extractos comerciales de taninos. Otros agentes curtientes son los sintanos. (UNNA, 2002).

El colágeno de la piel se combina irreversiblemente con el agente curtiente dando lugar a un cambio en la estructura. Se obtiene una disminución en la capacidad de hinchamiento y un aumento en la temperatura de contracción que da lugar a la gelatinización. (Romero, 2015, pp. 20-28)

El aumento en la estabilidad de la estructura molecular del colágeno está dado por la unión de las cadenas peptídicas. El cromo se combina con el colágeno de la piel, en este caso el sulfato de cromo ioniza los grupos carboxílicos de las cadenas peptídicas del colágeno (Romero, 2015). Como se muestra en la siguiente figura.

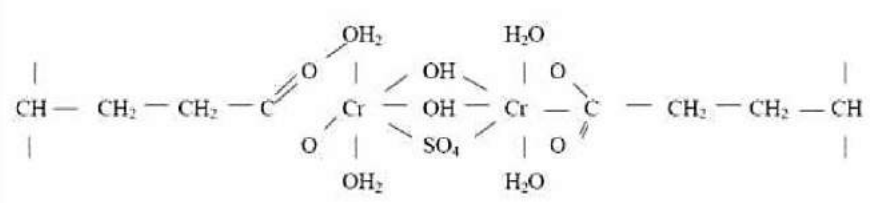


Figura 1-4. Reticulación lateral del sulfato de cromo con el colágeno.

Realizado por : (Moreno de la Fuente, 2009)

- Escurrido y Rebajado

Proceso mecánico que se encarga de retirar el exceso de humedad procedente del curtido. Y darle un acabado uniforme. (UNNA, 2002)

1.2.1.5. Etapa de Tinturado

Este proceso tiene como objetivo darle el color deseado al cuero. Se utiliza soluciones acuosas con colorantes solubles, normalmente anilinas. Este método permite una distribución homogénea y buen acabado del color.

1.2.1.6. Etapa de Acabado

Esta etapa sirve para mejorar la apariencia del producto final y aumentar su valor comercial. La actividad realizada en esta etapa dependerá de las características del producto final deseado. esta etapa consta de 2 procesos.

- Engrasado

Este proceso tiene por objetivo dotarle de suavidad al cuero. El engrase influye en las propiedades mecánicas del producto final dándole principalmente mayor impermeabilidad y resistencia al agua. (Moreno de la fuente,2009)

- Secado

Este proceso tiene por objetivo eliminar la humedad del producto final.

1.2.2. Aguas residuales de la industria de curtido

Se consideran aguas residuales a todas aquellas aguas que provienen del uso del hombre en sus actividades y por ello son contaminadas con sustancias y/o microorganismos, lo que genera la necesidad de desecharlas

Las aguas residuales producto de las actividades de curtido de cueros tienen presencia de silicatos, cromo, grasas, colorantes, cal, hidróxido de sodio, ácido fórmico, residuos orgánicos, sólidos en suspensión, además de altos niveles de DQO Y DBO esto afecta a ecosistemas acuáticos y en ocasiones la salud de personas, dado que estas aguas pueden tener un uso agrícola produciéndose una captación de metales por parte de los cultivos. Usualmente en efluentes de curtiembre, se encuentran mayor concentración de Cr^{3+} que el Cr $^{6+}$, (Tayupanda, 2010, pp. 30-37) indica que, los efluentes producidos en algunos procesos del curtido de pieles presentan pH elevados (entre 9 y 11), además de presentar sulfatos, lo cual, al ser descargados directamente hacia un sistema de alcantarillado, pueden producir la generación de sulfuro de hidrógeno gaseoso.

En la etapa de ribera se produce aguas residuales con presencia de excretas, sangre, carnaza, pelo, residuo de desinfectante, cal, hidróxido de sodio, enzimas. Estos e fuentes poseen pH básicos.

En la etapa de piquelado las aguas residuales producidas tienen presencia de ácido fórmico o sulfúrico.

La etapa de curtido genera aguas residuales con una alta concentración de $Cr^{3+,}$ los pH de estas descargas son de carácter acido. El efluente de la etapa de tinturado posee una gran cantidad de colorantes y tintes.

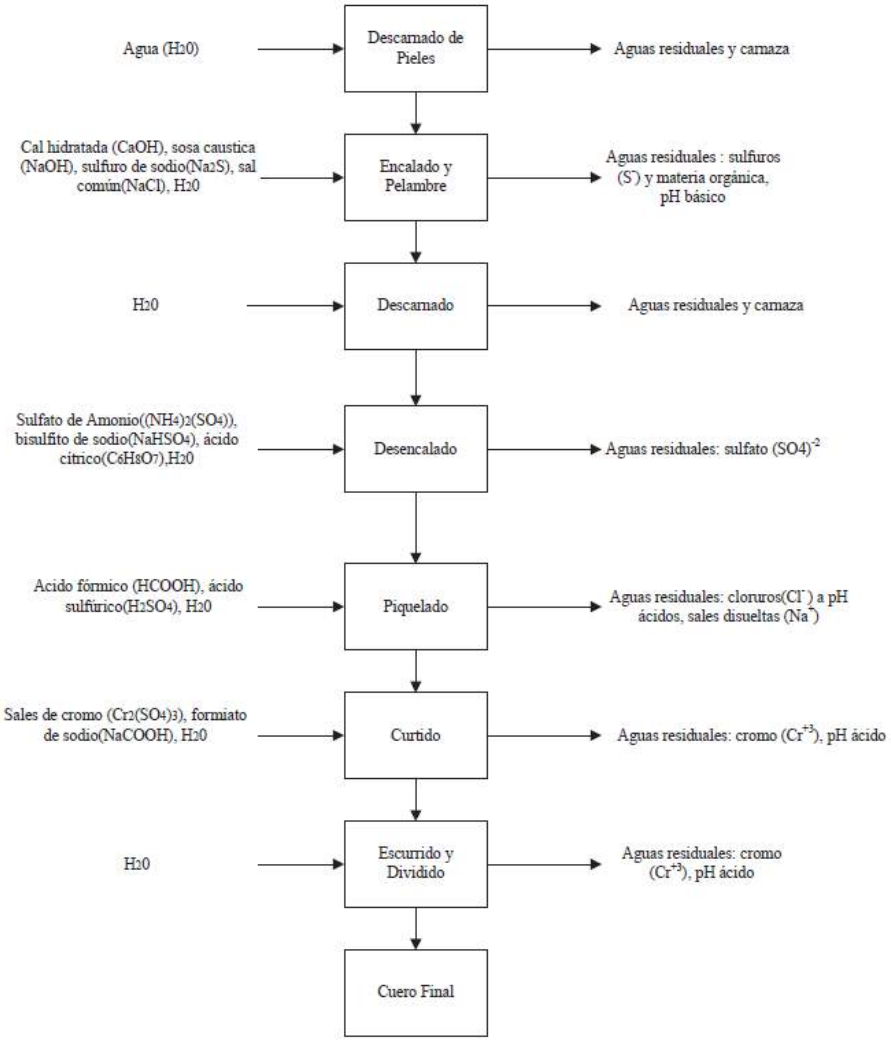


Figura 1-5. Proceso de producción de cuero y sus efluentes Residuales.

Realizado por: (Méndez, 2003, p.21)

1.2.3. Cromo

El cromo (Cr) es un elemento químico metálico de numero atómico 24 y peso molecular de 51.996 g/mol, se encuentra de forma natural en rocas, y el suelo, en donde existe en combinación con otros elementos, formando diferentes compuestos, principalmente cromita de Hierro o de magnesio. El cromo elemental no se encuentra en la naturaleza. Su estado de oxidación más alto es el +6, aunque estos compuestos son muy oxidantes. Los estados de oxidación +4 y +5 son poco frecuentes, mientras que los estados más estables son +2 y +3. Sus propiedades mecánicas, incluyendo su dureza y la

resistencia a la tensión, determinan la capacidad de utilización. Posee enlaces metálicos, por lo que tiene puntos de fusión (1907 ºC) y ebullición (2671 ºC) altos. Además, su estructura cristalina hace de él un metal muy denso (7.19 g/mL). El cromo tiene una capacidad relativa baja de forjado, enrollamiento y propiedades de manejo. (Lenntech, 2005)

El nombre cromo deriva de la palabra griega 'chroma', que significa color, debido a los múltiples e intensos colores que exhiben los compuestos de cromo, ya sean inorgánicos u orgánicos; desde sólidos o soluciones negras, hasta amarillas, anaranjadas, verdes, violetas, azules y rojas. El color del cromo metálico y sus carburos son grisáceos plateados. Esta característica se aprovecha para de cromado para dar a muchas estructuras destellos plateados (Bolivar, 2003).

En el 2008, se produjeron cerca de 24 millones de toneladas de cromo. Cerca del 2% se utilizó para la producción de sulfato de cromo para la fabricación de materiales de curtido de cuero, pero también para colorantes y plásticos.

1.2.3.1. Usos del Cromo

El cromo es usado extensamente en varios tipos de procesos, tales como:

- En maderas tratadas se utiliza Dicromato de cobre.
- El curtido de pieles se realiza con Sulfato crómico o Sulfato básico de cromo.
- En la metalurgia se ocupa al cromo para fortalecer al acero de la oxidación y para otorgarle más brillo mediante el uso de carburos grisáceos.

1.2.3.2. Efectos del cromo en el medio Ambiente

El nivel de Cromo en el aire y es generalmente bajo, no permanece mucho tiempo en este, termina en el agua y suelo en forma de Cromo (III) y Cromo (VI) a través de procesos naturales, pero principalmente por actividades antropogénicas. Las mayores actividades humanas que incrementan las concentraciones de Cromo (III) son las de producción de acero, galvanizados, las curtidurías, las industrias textiles y pinturas eléctricas. Estas aplicaciones incrementarán las concentraciones del Cromo en agua. (Lenntech, 2005)

En los suelos, el Cr^{3+} es relativamente inmóvil debido a su gran capacidad de adsorción en los suelos, pero el Cr^{6+} es muy inestable (Chavez, 2010, pp. 41-50) .Las reacciones redox afectan la biodisponibilidad y la toxicidad del mismo. La concentración de cromo en el suelo puede aumentar a causa de contaminación de este elemento en sistemas de irrigación, esto puede aumentar las concentraciones en los cultivos. La acidificación del suelo puede también influir en la captación de Cromo por los cultivos. Las plantas usualmente absorben sólo Cromo (III). Esta clase de Cromo probablemente es esencial, pero cuando las concentraciones exceden cierto valor, efectos negativos pueden ocurrir. (Lenntech, 2005)

En el agua se ha comprobado que el cromo se acumula en muchas especies acuáticas, especialmente en peces que se alimentan del fondo, como el bagre (Ictalujrus nebulosus), en los bivalvos, como la ostra (Crassostrea virginica), el mejillón azul (Mytilus edulis) y la almeja de caparazón blando. (Chavez, 2010, pp. 41-50)

El cromo es uno de los elementos que pueden encontrarse en las aguas residuales procedentes de diferentes procesos industriales; donde su grado de toxicidad, depende del estado de oxidación y de la concentración en la que se encuentre, es de especial importancia la eliminación de cromo hexavalente, por sus características carcinogénicas. (Tavarez , 2015)

1.2.3.3. Efectos del Cromo en la Salud

Las vías de exposición del cromo en un ser humano pueden ser; Oral, cutánea y respiratoria. A continuación, se detallan los efectos del cromo en la salud.

- En el sistema respiratorio

Los efectos del cromo sobre las vías respiratorias incluyen irritación del revestimiento del interior de la nariz, secreción nasal, y problemas para respirar (asma, tos, falta de aliento, respiración jadeante). Se pueden desarrollar alergias a compuestos de cromo, lo que puede producir dificultad para respirar y salpullido en la piel. (ATSDR, 2016)

Las concentraciones de cromo en el aire que pueden producir estos efectos pueden ser diferentes para los diferentes tipos de compuestos de cromo. Así, estos efectos ocurren con concentraciones de $cromo^{6+}$ mucho más bajas que de $cromo^{3+}$. (ATSDR, 2016)

- En el sistema digestivo

La ingestión de cromo (VI) principalmente afecta al estómago e intestino delgado (irritación y úlceras) y a la sangre (anemia). Los compuestos de cromo (III) son mucho menos tóxicos y parecen no causar estos problemas. (ATSDR, 2016)

- En el sistema Reproductivo

En animales de laboratorio machos expuestos al cromo (VI) se han observado daño de los espermatozoides y del sistema reproductivo. (ATSDR, 2016)

1.2.3.4. Mecanismo para determinar el Cromo del Agua residual

- Yodometría

El Iodo es una sustancia oxidante que nos permite realizar la valoración de diferentes sustancias, entre las que destacan el Tiosulfato, en estos procesos el iodo se ve reducido a Ion Ioduro. Cuando realizamos reductimetrías, para valorar el yodo, el agente reductor por excelencia es el tiosulfato. Por lo general, las reacciones que usan dicha aplicación, no pueden reaccionar directamente con el tiosulfato, así, los agentes oxidantes reaccionan para dar lugar al yodo con yoduros, para más tarde pasar a valorarlos con tiosulfato. Seguidamente se procede a valorar el yodo que se ha formado con una disolución de tiosulfato, permitiéndonos después de realizar cálculos conocer la concentración de la sustancia que queremos cuantificar. (Márquez, 2012, pp. 3-7)

- Determinación del contenido de óxido crómico de aguas residuales

Para determinar la cantidad de cromo presente en las aguas residuales de la industria de curtido se utiliza los métodos IUC 8, que consiste en oxidar el cromo trivalente por acciona acida y después valorar el cromato obtenido mediante Yodometría. (Vinueza, 2012, pp. 46-49). El porcentaje de cromo como oxido de cromo presente en el agua residual se calcula con la ecuación 1.6.

$$\%Cr_2O_3 = \frac{Vx0.02533xN}{W} X\ 100$$

Donde:

$\boldsymbol{V}$ es el volumen de Tiosulfato de sodio en $\frac{m}{l}$

$\boldsymbol{N}$ es la concentración de Tiosulfato de sodio en N

$\boldsymbol{W}$ es el volumen de agua residual analizada

Para determinar la concentración de Oxido de cromo del agua residual se utiliza la ecuación 1.7.

$$\frac{g}{l} Cr_2O_3 = \%Cr_2O_3 \; X \; 10$$

1.2.4. Electroquímica

La electroquímica es una rama de la química que trata del uso de las reacciones químicas para producir electricidad y el uso de la electricidad para producir cambios químicos. Es decir, estudia la conversión entre la energía eléctrica y la energía química. Los procesos electroquímicos son reacciones redox, en las cuales, la energía liberada por una reacción espontánea se convierte en electricidad o viceversa: la energía eléctrica se aprovecha para provocar una reacción química no espontánea. La construcción de las baterías, la electrocoagulación, la electroflotación, la electrodeposición y la corrosión de metales son ejemplos que involucran procesos electroquímicos. En la mayoría de las aplicaciones, el sistema reaccionarte está contenido en una celda electroquímica (Vera, 2007, pp. 3-5). Las celdas electroquímicas se clasifican en:

1.2.4.1. Celdas electrolíticas

Cuando la energía eléctrica procedente de una fuente externa hace que tenga lugar una reacción química no espontánea. (Vera, 2007, pp. 3-5)

1.2.4.2. Celdas galvánicas o voltaicas

En las que la energía que se libera en una reacción redox espontánea se puede usar, para realizar un trabajo eléctrico. (Vera, 2007, pp. 3-5)

1.2.4.3. Electrodos

Son superficies conductoras utilizados para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, sobre las que tienen lugar las semi-reacciones de oxidación y de reducción. Pueden o no participar en las reacciones. A través de los electrodos fluye la electricidad. (Vera, 2007, pp. 3-7)

- Ánodo

El ánodo es el electrodo con carga positiva, en él se da lugar la oxidación. Hacia el ánodo se dirigirán los iones negativos (aniones) que experimentarán una reacción de oxidación

- Cátodo

El cátodo es el electrodo con carga negativa, en él se da lugar la reducción. Hacia el cátodo se dirigirán los iones positivos (cationes) que experimentarán una reacción de reducción

1.2.4.4. Tipos de electrodos

- Electrodos Activos

También llamado "de Sacrificio", participan en la reacción química, liberando iones. Se consumen a medida que se produce la reacción.

- Electrodos Inertes

No participan en la reacción química. Sólo proporcionan el soporte donde ocurre la transferencia de electrones.

1.2.4.5. Conducción eléctrica

La corriente eléctrica representa transferencia de carga. La carga se puede conducir a través de metales y de soluciones iónicas. En celdas electroquímicas se producen 2 tipos de conducción.

El primer tipo de conducción se denomina conducción metálica, y en ella, el flujo de electrones no produce cambios en el metal y ocurre, cuando al metal, se le aplica una diferencia de potencial.

La conducción iónica o electrolítica se produce mediante el movimiento de iones, a través de una solución electrolítica. Los iones positivos, migran hacia el electrodo negativo; mientras que los iones negativos, se mueven hacia el electrodo positivo. (Vera, 2007, pp. 5-7)

1.2.4.6. Electrolisis

Es un proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad. Ciertas sustancias, son conductores de electricidad al mismo tiempo que se descomponen al paso de la corriente eléctrica, a estas sustancias se les llama electrolitos. A tal fenómeno se le denomina electrólisis y constituye fundamentalmente un proceso redox no espontaneo, es decir, un conjunto de transformaciones a las cuales es necesario aplicar una diferencia de potencial para que ocurra. (Castellanos, 2008)

La electrólisis se produce en celdas electrolíticas, las cual están formadas por una cuba que contiene el electrólito y en el que están sumergidos los electrodos, generalmente metálicos, y que están conectados a un generador eléctrico. Esta celda es un circuito eléctrico cerrado, en el que se tienen, por una parte, los conductores metálicos, por otra parte, los conductores formados por las sales fundidas o por las disoluciones electrolíticas. La corriente consiste en un flujo de electrones en la parte metálica del circuito y un flujo de iones en la parte líquida. (EcuRed, 2008)

1.2.4.7. Leyes de Faraday

- Primera Ley de Faraday

Esta ley establece que la masa de cualquier sustancia depositada o disuelta en un electrodo es directamente proporcional a la carga eléctrica que pasa por el electrolito. (Romero, 2015, pp. 36-39)

- Segunda Ley de Faraday

Esta ley establece que las masas de diferentes sustancias producidas por la misma cantidad de electricidad serán proporcionales a sus equivalentes químicos. (Romero, 2015, pp. 36-39)

1.2.4.8. Tratamientos electroquímicos de aguas residuales.

- Electrocoagulación

El proceso de electrocoagulación implica la generación de la coagulante in *situ* disolviendo electrolíticamente ánodos de aluminio o hierro para formar los respectivos cationes Al^{+3}, Fe^{+2}.

$Al - 3e^{-} \rightarrow Al^{3+}$

$Fe - 2e^{-} \rightarrow Fe^{2+}$

Los electrodos empleados se llaman de sacrificio ya que se consumen en el proceso. En el cátodo se produce hidrógeno a partir de los protones, éste se libera como pequeñas burbujas que suben a la superficie. Este hidrogeno generado puede ayudar a que las partículas floculadas floten en la superficie recogiéndose de ésta con un rascador. (Universidad de Alcalá, 2010)

Las principales ventajas de la electrocoagulación respecto a la coagulación clásica es la mayor eficiencia de los cationes nacientes de aluminio y hiero generados frente a los provenientes de productos químicos tradicionales como sulfato de aluminio o hierro, equipos más compactos, menor costo, posible automatización y menor generación de sales y residuos. (Suárez López, et al., 2015)

- Electrooxidación**.**

Este proceso se basas en la oxidación total (mineralización) o parcial (conversión de la materia orgánica a compuestos más sencillo más fácilmente degradables y menos contaminantes) de la materia orgánica utilizando la corriente eléctrica. Estos procesos están íntimamente relacionados con procesos anódicos. La oxidación se divide en dos; Directa e Indirecta. (Universidad de Alcalá, 2010).

- Electrodesinfección**.**

En este proceso en el ánodo se genera cloro gas por la oxidación de los iones cloruros, que disuelto en el agua genera hipoclorito/hipocloroso, el verdadero desinfectante. La mayor parte de las aguas contienen suficiente cantidad de iones cloruro para lograr la desinfección. (Universidad de Alcalá, 2010)

1.2.5. Electroflotación

La electroflotación es un proceso electroquímico por el cual se separan los contaminantes de un agua residual, esto se da cuando las pequeñas burbujas de hidrógeno y oxígeno generadas en un cátodo y un ánodo respectivamente, en el proceso de electrolisis o descomposición electrolítica del agua, se

adhieren a la superficie de los flóculos, disminuyendo su densidad, provocando su ascenso a la superficie (Ojeda Armaignac & Hing Cortón, 2010, pp. 21-30), dichas burbujas arrastrarán en su trayectoria ascendente hacia la superficie, las pequeñas partículas que se encuentren en el efluente a tratar.

Al aplicar diferencia de potencial al agua se consigue disminuir el potencial z lo que hace que se desestabilice soluciones y emulsiones. (Universidad Complutense de Madrid, 2005). La electroflotación es inherente a la electrocoagulación. La eficiencia del proceso de flotación está fundamentalmente determinada por el tamaño de las burbujas generadas, ya que el 90 % de las burbujas generadas en EF tienen un tamaño entre 15 y 45 μm mientras que en el proceso DAF el tamaño oscila entre 50 y 70 μm., por lo que eso le da ventaja sobre procesos de flotación convencionales (Universidad de Alcalá, 2010). Además, se pueden producir reacciones de reducción de metales poco activos como el Cu, Cr, Pb, Ag, Ni, Zn, los que se reducen más fácilmente, razón por la que en la electrolisis de sus sales se depositan en el cátodo en su forma metálica.

El sistema donde se genera el proceso de electroflotación es una celda electrolítica o reactor EF, la misma que consta de dos placas separadas de 1-5 cm entre si y conectadas a una fuente de poder. Las placas se denominan electrodos, uno positivo y uno negativo. (Castillo,2010).

1.2.5.1. Mecanismo de transferencia de contaminantes.

El proceso de electroflotación se basa en los principios de la electrolisis y comúnmente puede también verse involucrados procesos de coagulación. En el electrodo que cumple como cátodo se dan las reacciones de reducción del agua para formar hidrogeno H^+ e hidroxilos OH^- (Romero, 2015, pp. 37-41).La reacción de formación de hidrogeno se muestra en la Ecuación 1.1

$$2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} \uparrow + 2OH^-$$

Cerca del ánodo se produce la generación de Oxigeno por la oxidación del agua, la reacción de generación de oxígeno se muestra en la Ecuación 1.2

$$2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow 4H_{2(g)} \uparrow + 2O_{2(g)} + 4e^-$$

Además de oxígeno el coagulante es generado en la celda electroquímica por la oxidación del metal del ánodo.(Morante, 2002). EL efluente sufre una desestabilización por acción de la electricidad. Una reducción electroquímica de los cationes metálicos puede ocurrir en la superficie del cátodo y los iones hidróxido formados en este aumentan el pH de las aguas residuales, lo que induce la precipitación de iones metálicos, además burbujas de gases generados por la electrolisis transportan

las partículas suspendidas hacia la superficie para posteriormente precipitar. (Oliveira , et al., 2015, pp. 109-113)

Las partículas suspendidas en forma floculante generadas tienen mayor estabilidad y permite separarlas después por procesos como decantación o filtración. (Romero, 2015, pp. 37-41)

Estas reacciones hacen que se genere un cambio en el pH, que provoca que se generen nuevas especies químicas dentro de la celda electrolítica estas nuevas especies producidas no solo dependen de la naturaleza del electrodo, sino también del tipo de efluente a tratar. (Romero, 2015, pp. 37-41)

Estas son las etapas que se producen en la electroflotación. (Restrepo, et al., 2006, pp. 58-77)

- Formación de Hidrogeno y oxigeno (debido al electrolisis) y el coagulante (por disolución de iones metálicos provenientes del ánodo).
- Desestabilización de partículas, soluciones y suspensiones coloidales.
- Agregación de la suspensión desestabilizada y formación de flóculos.

Las reacciones y procesos que suceden dentro de un reactor electrolítico se muestran en la siguiente figura.

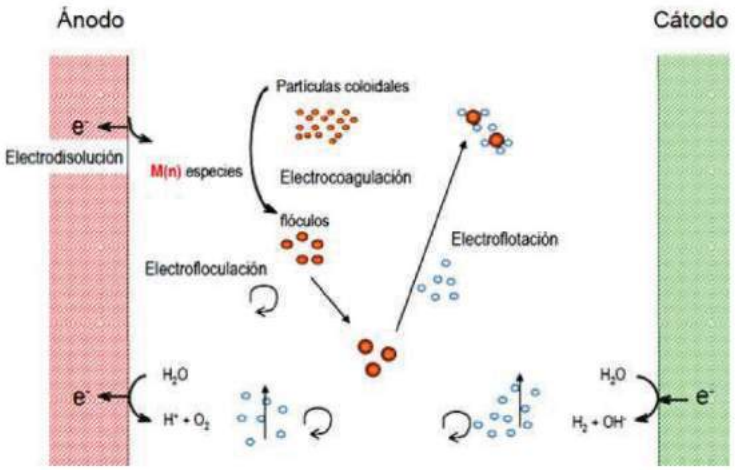


Figura 1-6. Procesos presentes en un reactor electrolítico

Realizado por: (Martínez, 2007)

El metal del que está constituido el ánodo sufre un proceso de electrodisolución que consiste en que el metal de valencia positiva del ánodo se disuelve en el efluente, como se muestra en la siguiente figura.

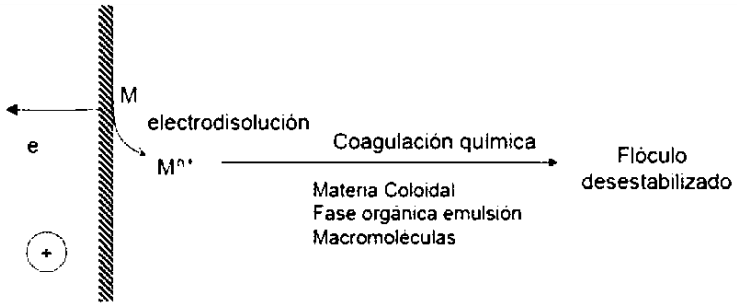


Figura 1-7 Electrodisolución del metal del Ánodo

Realizado por: (Martínez, 2007)

Oxidación

El metal del ánodo con valencia cero se oxida hasta un valor de n^+, cediendo la misma cantidad de electrones n. El metal se disuelve en forma de ion en el efluente (Romero, 2015, pp. 37-41).La reacción está dada por la ecuación 1.3.

$$M^0_{(s)} \rightarrow M^{n+}_{(ac)} + n^{e-}$$

Reducción

El material del cátodo reacciona con el agua para formar el hidróxido del metal o hidrogeno en forma de burbujas. Las burbujas de hidrogeno ascienden y son las responsables de la formación de espuma (Romero, 2015, pp. 37-41). La reacción se muestra en la ecuación 1.4.

$$M^0_{(s)} + H_2O \rightarrow M(OH)_n + H_2 \uparrow$$

Donde:

$M^0_{(s)}$ es el electrodo metálico.

1.2.5.2. Factores que influyen en el proceso

Los factores que pueden influir en los procesos electroquímicos para remover contaminantes son; densidad de corriente, pH, tipos de electrodos, distribución de electrodos, tiempo de operación, Área superficial, estos son detallados a continuación:

- Densidad de corriente

Es la relación entre la corriente eléctrica aplicada a la celda electrolítica por una fuente externa al área de las placas en contacto con el agua residual. La relación matemática viene dada por la ecuación 1.5.

$$\mathbf{i} = \frac{\boldsymbol{I}}{\boldsymbol{A}}$$

Donde:

i es densidad de corriente eléctrica

I es Intensidad de corriente eléctrica

A es el área de las placas de la celda

A mayor densidad de corriente empleada, mayor se esperaría que sea la producción de burbujas y espuma que arrastra los contaminantes. (Romero, 2015, pp. 37-41)

Al aumentar la densidad de corriente se aumenta la intensidad de corriente eléctrica y se elevan los costos operacionales, además, se produce el calentamiento del agua residual que se busca tratar, lo que significa una pérdida de energía. (Arango, 2005, pp. 49-56)

- pH

El pH afecta el proceso ya que influye directamente en la solubilidad del metal y así formar el hidróxido que permita removerlo. Si el hidróxido metálico no se forma, la coagulación no se da. Para aguas residuales acidas el pH sube debido a la generación de Hidrogeno. (Arango, 2005, pp. 49-56).

Para la remoción de cromo el rango óptimo está en la neutralidad.

- Tipos de Electrodos

El material del electrodo es importante en el proceso, ya que de este depende las reacciones que se den en el reactor. Los electrodos deben tener buenas propiedades electroquímicas. (Romero, 2015, pp. 42-46)

Los electrodos con elevados potenciales estándar de reducción son los más utilizados como Aluminio, cobre, acero Inoxidable, grafito. Además, actualmente los electrodos más modernos se producen de titanio con cobertura de metales nobles y diamante dotado con boro, los cuales son muy eficientes, pero de altos costos. (Arango, 2005, pp. 49-56).

La selección de electrodos permite configurar el sistema para un proceso específico se usan ánodos solubles, como los fabricados con hierro, estos generan agentes de coagulantes in situ que promueven la coagulación. Los Cátodos deben contar con un elevado potencial estándar de reducción. (Oliveira , et al., 2015, pp. 109-113)

- Electrodos de Hierro.

Los electrodos de hierro son electrodos solubles o activos utilizados en procesos electroquímicos. Son usados usualmente como Ánodos en donde estos se oxidan liberando iones Fe^{2+} al medio. Los mismos que ayudan a procesos de coagulación. Las reacciones que se produce en este material al ser usados como ánodo se presenta a continuación.

$$Fe^{0} \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$$

$$2H_2O_{(l)} + 2e^{-} \rightarrow 4H_{2(g)} \uparrow + 2O_{2(g)} + 4e^{-}$$

- Electrodos con alto potencial estándar de Reducción.

Electrodos de materiales como cobre, grafito, aluminio, acero inoxidable, platino, diamanto dotad con boro, poseen elevados potenciales estándar de reducción, estos son usados como Cátodos, al ser sustancias estables no pueden reducirse más, por lo que en el proceso de descomposición electrolítica del agua solo se generan OH^- y H^+. Como se muestra a continuación.

$$2H_2O_{(l)} + 2e^{-} \rightarrow H_{2(g)} \uparrow + 2OH^{-}$$

- Distribución de los electrodos

En una celda electrolítica con un cátodo y un ánodo separados por mucha distancia no se producen reacciones de electrodisolución de metales. Tanto (Malakootian & Yousefi, 2009, pp. 131-136) como (Merzouk , et al., 2009, pp. 215-222) nos indican que las distancias que separen a los electrodos pueden varían desde 5 mm a 3 cm dependiendo del efluente a tratar y de sus características.

- Tiempo de operación

Según (Cheng , 2004, pp. 11-41) el tiempo de operación tiene una relación directa con la eficiencia del proceso ya que al aumentar el tiempo de operación aumenta la formación de burbujas y flóculos dentro de la celda electrolítica, lo que ayuda a la remoción del contamínate.

- Área Superficial

El agua superficial de los electrodos en contacto con el agua residual a tratar conserva una relación directa con la eficiencia del proceso, ya que si aumentamos el área de contacto de los electrodos el proceso mejorara su eficiencia. Esto se puede lograr usando medios porosos o fibrosos. (Romero, 2015, pp. 42-46)

1.2.5.3. Ventajas de la electroflotación

- Los costos operativos son menores respectos con otros procesos convencionales.
- Requiere de equipos simples y de fácil operación.
- Elimina el alto requerimiento de productos químicos y su almacenamiento.
- Se produce menor cantidad de lodos ya que estos son más compactos
- Generación de flóculos más grandes en comparación con tratamientos químicos.
- Se favorece la coagulación gracias al paso de corriente eléctrica y la generación de movimiento de partículas contaminantes.
- Debido a la generación de gases por la electrolisis, los contaminantes son arrastrados por burbujas a la superficie del agua, lo que permite una disposición más sencilla.

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo y diseño de la investigación

2.1.1. Tipo de investigación:

La presente investigación es de carácter experimental, ya que basa en investigar y manipular deferentes variables como el tipo de electrodo usado y los tiempos de tratamientos en condiciones determinadas, en busca de obtener datos evaluara la eficiencia del proceso de electroflotación como alternativa para la remoción de Cromo de un efluente de curtiembre.

Esta es una investigación de tipo correlacional debido a que a través de las variables que se han planteado se buscara verificar si existe una relación entre estas y los resultados posteriores a un análisis estadístico. Además, se la considera también como una investigación de tipo transversal, debido a que los resultados son recolectados de manera consecutiva en determinados periodos de tiempo los cuales fueron seleccionados.

2.1.2. Diseño de investigación:

En el presente estudio se realizó un diseño bifactorial, donde se aplicó el proceso de electroflotación con 3 combinaciones binarias de electrodos es decir un cátodo y un ánodo, la primera con una placa de Acero inoxidable y una malla de Hierro, la segunda con una placa de grafito y una malla de hierro y la tercera con una placa de cobre con una malla de Hierro, los mismos que miden 10 cm de largo x 10 cm de profundidad y actuarán sobre el agua residual de una curtiembre por tiempos de 15, 30 y 45 minutos cada combinación. El tratamiento se realizará por triplicado para su verificación estadística, como se muestra en la tabla 2.1. Posteriormente se realizará un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

Tabla 2-1 Tratamientos a realizados en la investigación

	15 minutos (T1)			30 minutos (T2)			45 minutos (T3)			45 minutos + 1 día de reposo (T4)		
Hierro – Acero Inoxidable (E1)	E1T1	E1T1	E1T1	E1T2	E1T2	E1T2	E1T3	E1T3	E1T3	E1T4	E1T4	E1T4
Hierro - Grafito (E2)	E2T1	E2T1	E2T1	E2T2	E2T2	E2T2	E2T3	E2T3	E2T3	E2T4	E2T4	E2T4
Hierro –Cobre (E3)	E3T1	E3T1	E3T1	E3T2	E3T2	E3T2	E2T3	E2T3	E2T3	E3T4	E3T4	E3T4
Blanco												

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Tabla 2-2 Intensidad de corriente eléctrica aplicada en los tratamientos

Intensidad de Corriente Eléctrica (mA)			
	T1	T2	T3
E1	610		
E2	380		
E3	870		

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Tabla 2-3 Voltaje aplicado durante el tratamiento

Voltage (V)			
	T1	***T2***	***T3***
E1	12		
E2	12		
E3	12		

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Los electrodos usados en el estudio son placas solidas de Acero inoxidable, grafito, y cobre de 10 cm de largo x 10 cm de profundidad y 3 mm de grosor, cada un combinado con una malla de hierro de 10 cm de largo x 10 cm de profundidad y poros de forma cuadrada de 3 mm x 3mm. Se optó por usar placas Solidas de materiales con elevado potencial estándar de reducción como cátodo y malla de hierro como ánodo para no interrumpir el flujo de burbujas.

2.2. Hipótesis y Especificación de Variables

2.2.1. Hipótesis

La aplicación de la técnica de Electroflotación permite disminuir la concentración de Cr de los efluentes provenientes del proceso de curtido

2.2.2. Variables

2.2.2.1. Variables independientes

Combinación de Electrodos (E) y Tiempo de Tratamiento (T)

2.2.2.2. Variables dependientes

Concentración de Cromo, absorbancia, DQO, pH.

2.3. Obtención de la muestra:

2.3.1. Población de estudio:

Agua residual provenientes de una empresa de curtiembre

2.3.2. Unidad de análisis

Las unidades de análisis corresponden a Sistema de Electroflotación con 3 diferentes combinaciones de electrodos señaladas a continuación:

Tabla 2-4 Combinaciones de electrodos y su respectiva nomenclatura utilizada durante el ensayo

Electrodos	Nomenclatura
Placa de Acero y malla de Hierro	E1
Placa de Grafito y malla de Hierro	E2
Placa de Cobre y malla de Hierro	E3

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

2.3.3. Tamaño de la muestra:

Se requiere 1.5 litros de efluente de curtido para cada tratamiento (40) por lo que durante la experimentación se requerirá 60 litros más 20 litros considerados como margen de seguridad dando un total de 70 litros de agua residual del proceso de curtido, misma que servirá para su tratabilidad en los diferentes ensayos experimentales.

2.3.4. Selección de la muestra:

La muestra requerida fue obtenida de la Tenería "Inca", ubicada en la parroquia Tres Juanes del cantón Ambato, provincia de Tungurahua tomándola directamente del bombo de curtido inmediatamente después de finalizarse el proceso.

2.4. Técnicas de recolección de datos

2.4.1. Toma de muestras del Agua residual de curtido.

Para la toma de muestras de los efluentes de la empresa "Tenería Inca", se aplicó la norma (NTE INEN 2169, 2013), utilizándose recipientes plásticos limpios y que impidan el paso de la luz, transportándose y almacenándose a temperatura ambiente debido a su volumen, previo a su tratamiento.

2.4.2. Caracterización del efluente

Una vez realizado el muestreo se procedió a la caracterización físico-química de las muestras tomadas del efluente de la industria curtiembre. Los procedimientos a continuación descritos se realizaron en el laboratorio de calidad de Aguas de la facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, efectuando el análisis de los parámetros, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2-5 ***Parámetros analizados en la caracterización inicial***

Parámetro
Color
pH
Conductividad eléctrica
Aceites y grasas
Sulfatos
Cromo (Cr^{6+})
Cromo Total como Cr_2O_3
DQO
Oxígeno Disuelto
Solidos Suspendidos

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Método para la Determinación del color (Método colorimétrico)

- Se tomó una alícuota del agua residual a analizar y se coloca en una celda para fotómetro
- Limpiamos y secamos los exteriores de la celda
- Colocamos la celda con agua residual en el Fotómetro
- Esperamos a que se realice la medición y anotamos los resultados

Método para la Determinación del pH y conductividad eléctrica

- Se tomó una alícuota del efluente en un vaso de precipitación de 50 ml
- Se introdujo los electrodos del pH-metro en el vaso con el agua
- Esperamos hasta que la medición se estabilice y anotamos los resultados

Método para la Determinación de la cantidad de aceites y grasas (Método gravimétrico de extracción con hexano)

- Se taró un matraz Erlenmeyer en una estufa hasta que se elimine toda la humedad hasta que su peso sea constante.
- Se colocó 200 ml de agua residual en el embudo de separación.
- Aplicamos 20 ml de Hexano en el embudo de separación, tapamos y mezclamos durante 5 minutos.
- Esperamos 15 minutos hasta que se separen las 2 fases, posteriormente abrimos la válvula y eliminamos el agua.
- Liberamos la grasa atrapada en el hexano en un balón esmerilado y se lo lleva al rotavapor para recuperar el Hexano.
- Al final llevamos al desecador el balón y pesamos nuevamente. El valor de grasas se calcula por diferencia de pesos.

Método para la Determinación de Cromo Hexavalente

- Se colocó 100 ml de agua residual en un matraz Erlenmeyer de 250
- Se ajustó el pH a 1 mediante la adición de una solución de ácido sulfúrico 0.2 N
- Se adiciono 2 ml de difenilcarbazida y se deja actuar durante 10 minutos.
- Medimos las soluciones en el fotómetro junto con la solución patrón de cromo y calculamos la concentración.

Método para la Determinación de Cromo total como Cr_2O_3 (IUC 8)

- Se tomó una muestra de 20 ml de efluente a analizar y se coloca en un Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Se añadió la mezcla oxidante (7 ml de ácido sulfúrico + 10 ml de ácido perclórico + 5 ml de ácido nítrico) y llevamos a ebullición hasta que se produzca un cambio de color.
- Se diluyo con agua destilada hasta los 100 ml y se dejó en ebullición durante 5 minutos más.
- Dejamos enfriar y colocamos 10 ml de Yoduro de potasio
- Se inició la titulación con Tiosulfato de sodio, colocamos 1 ml de almidón y terminamos de titular ya notamos el volumen consumido.
- Se calcula la concentración de Cr_2O_3 con las ecuaciones 1.6 y 1.7.

Método para la Determinación de la Demanda Química de Oxigeno

- Se procedió a realizar una dilución de 1 ml de muestra en 9 ml de agua destilada para logar una medición correctamente
- Se tomó 2 ml de muestra diluida hacia el vial ($K_2Cr_2O_7$) y se colocó en el reactor de DQO durante 2 horas a 120 °C.
- Después de transcurrida la digestión se retira los viales y se los deja enfriar
- En el fotómetro se procedió a medir el blanco y los viales retirados del digestor
- Se anotó el valor resultante y se multiplico por el factor de dilución.

2.4.3. Dimensionamiento y Construcción del equipo de electroflotación

Se construyó 3 celdas de electroflotación elaborada en acrílico de 2 mm de grosor con las siguientes dimensiones: una base de forma cuadrada de 11 cm x 11 cm, una altura de 15 cm, donde la altura útil (altura ocupada por el agua a tratar) será de 11 cm, en las paredes laterales de la celda se perforo 2 agujeros de 5 mm de diámetro por donde se pasaron los cables que conectaran las placas con la fuente de energía (12V, 1A) , además se perforo otro orificio de 7 mm de diámetro a 7 cm de altura desde la base donde se colocó una llave plástica para facilitar la extracción del efluente tratado. En la parte superior tiene una tapa de polietileno dónde se ubicó un motor reductor conectado a un eje con aspas para favorecer el mezclado.

Figura 2-1 Construcción del equipo de electroflotación.

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Los electrodos usados en el estudio son placas solidas de Acero inoxidable, grafito, y cobre de 10 cm de largo x 10 cm de profundidad y 3 mm de grosor, cada una combinada con una malla de hierro de 10 cm de largo x 10 cm de profundidad y poros de forma cuadrada de 3 mm x 3mm.

Figura 2-2 Combinación de electrodos usados durante el estudio

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

2.4.4. Preparación de los electrodos

Se procedió a lavar los electrodos con agua y luego a lijarlos, para la placa de Cobre, la de acero inoxidable y las mallas de Hierro se ocupó lijas para metal C-99, para la placa de grafito se usó lija de agua 1200.

Se preparó una solución de Ácido Clorhídrico 1M según la ecuación 2.1:

$$M = \frac{m}{PM\ x\ v}$$

Donde:

M es la molaridad de la solución

m es la masa de HCl (se calcula en base a su densidad)

PM es la masa Molecular del HCL

v es el volumen de la Solución

Después de lijados los electrodos, se los enjuago con agua destilada y posteriormente se las sumergió en la solución 1M de Ácido Clorhídrico (HCl) previamente preparada, se las cepillo durante 20 minutos. Después de este tiempo, se enjuago nuevamente en agua destilada. Como se muestra en la figura 2.2.

Figura 2-3 Preparación de los electrodos

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Secamos los electrodos en una estufa a 110 °C durante 30 minutos.

2.4.5. Distancia entre electrodos

Se realizaron ensayos preliminares variando la distancia de separación de los electrodos, probando con 1,2,3 cm para cada celda, consiguiendo mejores resultados con la configuración y distancia está descrita en el montaje del equipo de electroflotación. En el caso de la combinación E1 se obtuvo que la distancia optima es de 3 cm, al igual que para E3 y para E2 la distancia fue de 1cm. Los criterios para la elección de la distancia y polaridad de los electrodos esta descrita en resultados.

2.4.6. Montaje del equipo de electroflotación

Montaje del equipo de electroflotación con placa de Acero Inoxidable y malla de Hierro. (E1)

Se conectó los electrodos a cables de N°12, la placa de Acero fue ubicada a 1 cm de altura de la base de la celda para permitir el paso de los cables. Se colocó la malla de hierro 3 cm sobre la placa de acero inoxidable separados por tubos de polietileno de 1 cm de diámetro, pasamos los cables conectados a los electrodos por los orificios de 5mm de la cara lateral de la celda y conectamos con la fuente de poder, la malla de hierro se concretó al polo positivo mientras que la placa de acero inoxidable al polo negativo de la fuente de poder (transformador de 12 v, 1A). Se procedió a rellenar los bordes de los agujeros de los cables con silicón caliente para impermeabilizar. Se coloca la tapa con las aspas conectadas a un motor reductor que gira a 60 RPM.

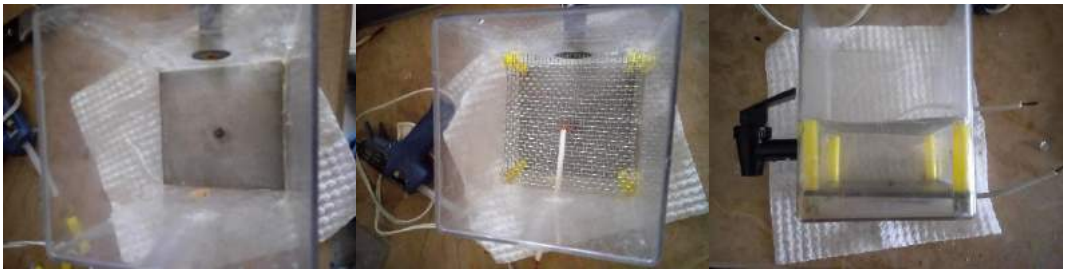


Figura 2-4 Montaje de la celda de electroflotación *con placa de Acero Inoxidable y malla de Hierro.*

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Montaje del equipo de electroflotación con placa de grafito y malla de Hierro. (E2)

Igualmente, se conectó los electrodos a cables de N°12, la placa de grafito fue ubicada a 1 cm de altura de la base de la celda para permitir el paso de los cables. Colocamos la malla de hierro 1 cm sobre la placa de grafito separados por tubos de polietileno de 1 cm de diámetro, pasamos los cables conectados a los electrodos por los orificios de 5mm de la cara lateral de la celda y conectamos con la fuente de poder, la malla de hierro se concretó al polo positivo mientras que la placa de grafito al polo negativo de la fuente de poder (transformador de 12 v, 1A). A la par se procedió a rellenar los bordes de los agujeros de los cables con silicón caliente. Se coloca la tapa con las aspas conectadas a un motor reductor que gira a 60 RPM.

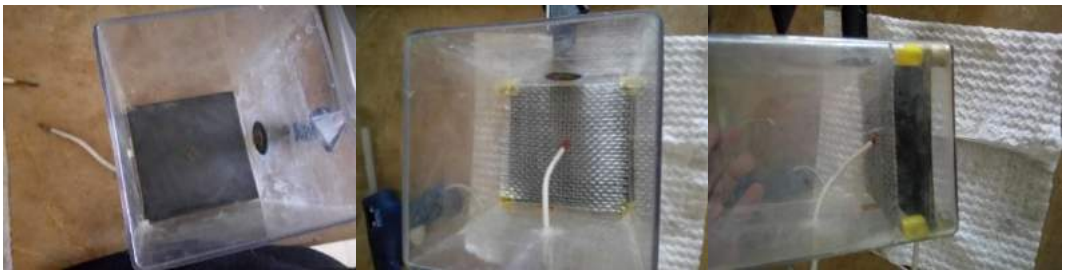


Figura 2-5 Montaje de la celda de electroflotación *con placa de grafito y malla de Hierro.*

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Montaje del equipo de electroflotación con placa de cobre y malla de Hierro. (E3)

El proceso de montaje anterior se repite para la celda con la placa de cobre y la malla de hierro.

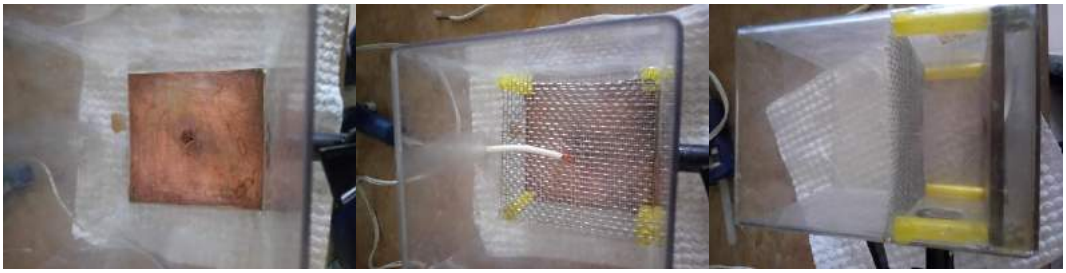


Figura 2-6 Montaje de la celda de electroflotación *con placa de cobre y malla de Hierro.*

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

2.4.7. Funcionamiento y Control de variables

Se colocó 1.25 l de agua de curtido en las celdas con diferentes combinaciones de electrodos, placa de acero combinado con malla de hierro (E1), Placa de Grafito combinado con malla de hierro (E2) y placa de Cobre combinado con malla de hierro (E3), se encendió la fuente de poder que fue un trasformador con un voltaje de 12 v y una intensidad eléctrica de 1 Amperio. Se verifico el voltaje y la intensidad eléctrica en los tiempos de tratamiento 15 minutos (T1), 30 minutos (T2), 45 Minutos (T3) mediante un multímetro. Posteriormente se procedió a colocar la tapa del recipiente con el dispositivo de mezclado que gira a 60 RPM. Finalmente se procedió a calcular la densidad Eléctrica con la ecuación 1.5.

2.4.8. Toma de muestra del efluente tratado

Para T1, T2, T3 se procedió a tomar 100 ml de efluente tratado de cada celda por cada tiempo de tratamiento (15,30,45 minutos) en frascos de vidrio ámbar de 120 ml y se llevó a analizar el pH, temperatura, Cromo total, absorbancia y DQO. Las muestras fueron tomadas directamente de la celda EF, para T4 que cosiste en transcurrido 45 minutos de tratamiento en la celda se vertió el contenido de la celda en vasos plásticos de 1 L para dejarlos reposar durante 1 día, y posteriormente se tomó una muestra de 100 ml del sobrenadante para llevarlo a analizar

2.4.9. Análisis del efluente tratado

Se procedió a realizar el análisis de las muestras de los efluentes tratados inmediatamente después de tomadas. Los parámetros analizados se muestran en la tabla N° 2.6 con los métodos descritos anteriormente.

Tabla 2-6 ***Parámetros analizados en la caracterización final***

Parámetro
pH
Cromo Total como Cr_2O_3
Absorbancia
DQO

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

2.4.10. Procesamiento estadístico de los datos

El procesamiento estadístico de los datos obtenidos en la experimentación se lo realizo en el programa Infostat, donde se efectuó un análisis de varianza ANOVA, y para comparaciones entre tratamientos se realizó pruebas de Tukey con un nivel de significancia de 0.05 para los datos cuantitativos resultado de los tratamientos.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1. Resultados de la caracterización de aguas residuales de curtido

Después de tomada la muestra del bombo de curtido, se realizó la caracterización de los parámetros físico químicos descritos en el capítulo anterior. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 3-1 Resultados de la caracterización de la muestra de agua de curtido

Parámetro	***Unidades***	***Resultados***	***Valor referencial (TULSMA)***
Color	Und. Pt/Co	3760	-
Conductividad Eléctrica	µSiems/cm	4320	-
pH		3.87	-
Sulfatos	mg/l	1720	1000
Cromo IV	mg/l	0.15	0.5
Cromo Total como oxido de cromo	mg/ l	160000	
Demanda Química de Oxigeno	mg/l	19800	500
Oxígeno Disuelto	mg/l	< 0.1	-
Aceites y grasas	mg/l	20.5	100
Solidos Suspendidos	mg/l	20	220

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Como se puede observar en la tabla 3.1 el valor de color fue de 3760 Unidades Pt/Co lo que nos indica que el agua analizada posee un fuerte color, lo mismo que se verifica con una observación directa en donde se muestra que el efluente posee una fuerte coloración azul debido a las especies químicas principalmente Sulfato Básico de cromo utilizado como sustancia curtiente en el proceso de tratado de pieles. Razón por la cual los efluentes de curtido denominan “Wet Blue”.

El valor de Conductividad eléctrica obtenido fue de 4320 µSiems/cm esto debido a las sales presentes en la muestra lo cual nos demuestra que posee una buena capacidad para transmitir electricidad a través de ella, lo cual según (Al-Shannag, et al., 2014) está por encima del valor mínimo de conductividad eléctrica que debe tener una solución para que se den reacciones electroquímicas.

El pH de la muestra se encuentra en 3.8 lo cual le da un carácter acido, este carácter acido lo adquirió en la etapa de Piquelado en el proceso de curtido en el que en la industria se le agregó ácido fórmico para conseguir que el cromo se fije en la piel de manera más uniforme. Para efectuar la remoción de cromo el pH constituye un factor importante ya que influye directamente en la solubilidad del Cromo.

La concentración de sulfatos en la muestra esta elevada debido a la presencia de Sulfato de cromo en disolución, esta concentración está por encima de la establecida en la tabla 11 del libro 6 anexo 3 del Texto Unificado de legislación Secundaria Ambiental que estipula un máximo de 1000 mg/l para descargas en alcantarillado.

La concentración de Cromo Hexavalente es de 0.15 mg/l por lo que está debajo del límite de descargas estipulado en el (TULSMA, 2014). Pero la concentración de Cromo total es mucho más elevada dándonos 16000 mg/l lo cual se debe a que la sustancia curtiente posee en su gran mayoría Cromo trivalente el mismo que se puede oxidar al entrar en contacto con otras sustancias por lo que es necesario removerlo antes de la descarga.

La concentración de Demanda Química de oxigeno de 19800 lo que nos indica que hay una gran cantidad de sustancias oxidables en el agua, estas sustancias oxidables son principalmente el curtiente que normalmente se ocupa en el proceso de curtido.

El valor de oxígeno disuelto menor a 0.1 mg/l indica que el oxígeno presente en el agua fue utilizado por las especies químicas presentes en ella.

La cantidad de solidos suspendidos se encuentra dentro del límite de lo establecido para descargas de efluentes en alcantarilla según (TULSMA, 2014), esta baja concentración se da ya que las pieles que entran en el bombo de curtido ya han pasado por otros procesos y son más resistentes.

3.2. Resultado de ensayos preliminares para determinar la distancia entre los electrodos

Se realizaron ensayos en cada celda para determinar la disposición y distancia entre los electrodos conectándolos a la fuente de poder con las condiciones de operación 12 voltios, 1 amperio de

intensidad eléctrica y colocando una muestra 1.25 de agua de curtido, variando a 1,2.3 cm ya que tanto (Malakootian & Yousefi, 2009) como (Merzouk , et al., 2009) indican que la distancia entre electrodos pueden ir de 1-3 cm produciéndose los siguientes resultados mostrados en la tabla 3.2.

Tabla 3-2 Resultados de los ensayos para determinar la disposición y distancia entre los electrodos

Celda de electroflotación I			
Ánodo	***Cátodo***	***Distancia***	***Resultado***
Malla de Hierro	Placa de Acero Inoxidable	1 cm	Sobrecarga en la fuente de poder
		2 cm	Sobrecarga en la fuente de poder
		3 cm	Buena producción de burbujas
Celda de electroflotación I			
Ánodo	***Cátodo***	***Distancia***	***Resultado***
Placa de Acero Inoxidable	Malla de Hierro	1 cm	Sobrecarga en la fuente de poder
		2 cm	Sobrecarga en la fuente de poder
		3 cm	Débil producción de burbujas
Celda de electroflotación II			
Ánodo	***Cátodo***	***Distancia***	***Resultado***
Malla de Acero	Placa de Grafito	1 cm	Buena producción de burbujas de gases
		2 cm	Baja producción de burbujas de gases
		3 cm	No se evidenció producción de burbujas
Celda de electroflotación II			
Ánodo	***Cátodo***	***Distancia***	***Resultado***
Placa de Grafito	Malla de Acero	1 cm	Débil producción de Burbujas
		2 cm	No se evidencia producción de burbujas
		3 cm	No se evidencia producción de burbujas

Celda de electroflotación III			
Ánodo	***Cátodo***	***Distancia***	***Resultado***
Malla de Hierro	Placa de Cobre	1 cm	Sobrecarga en la fuente de poder
		2 cm	Sobrecarga en la fuente de poder
		3 cm	Producción media de burbujas
Celda de electroflotación III			
Ánodo	***Cátodo***	***Distancia***	***Resultado***
Placa de Cobre	Malla de Hierro	1 cm	Sobrecarga en la fuente de poder
		2 cm	Sobrecarga en la fuente de poder
		3 cm	Baja producción de burbujas

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Como se muestra en la tabla 3.2 para la celda I de electroflotación donde la disposición fue, la placa de Acero Inoxidable como cátodo y la Malla de Hierro como ánodo la distancia con mejores resultados fue de 3 Cm de separación, dado que con 1 y 2 cm se produjeron sobrecargas, con fuertes calentamiento del transformador. Para la celda II donde con la malla de Hierro como ánodo y la placa de grafito como cátodo la distancia con mejores resultados fue de 1 Cm de separación, en visto a que con 2 cm de separación se evidencia en comparación una baja producción de burbujas y con 3 cm de separación no se evidencio la producción de burbujas. Para la celda III la disposición de la placa de cobre como cátodo y la Malla de Hierro como ánodo la distancia con mejores resultados fue de 3 Cm de separación, dado que con 1 y 2 cm se produjeron sobrecargas. En este caso entre los electrodos elegidos, los de mejor conductividad funcionan mejor como cátodos que como ánodos

Al igual que (Romero, 2015) el criterio de Selección de los electrodos tomo en cuenta la producción de Gases mediante la electrolisis, así como también la superficie del Cátodo donde se depositará el Cromo extraído del efluente.

3.3. Construcción de Celdas de Electroflotación.

Se construyó la celda de electroflotación en acrílico de 3 mm con dimensiones de 11 cm X 11 cm de base y alturas de 15 cm, donde en cada celda se colocaron los electrodos en la disposición y distancias entes mencionadas. Conectados a la fuente de poder tal como se muestra en la figura 3.1

Figura 3-1 Equipo de electroflotacion

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

3.4. Control de Voltaje, Amperaje

3.5.

En cada Tiempo de tratamiento 15 minutos (T1) ,30 minutos (T2) ,45 minutos (T3) se controló el Voltaje e Intensidad Eléctrica de cada tratamiento mediante el uso de un Multímetro en las superficies de los electrodos, obteniéndose los siguientes resultados evidenciados en la tabla 3.3 y 3.4.

Tabla 3-3 Control de intensidad Eléctrica

Intensidad de Corriente Eléctrica (mA)			
	T1	T2	T3
E1	610	609	617
	613	610	612
	614	610	610
E2	377	380	378
	381	381	380
	383	380	383
E3	874	870	879
	869	870	870
	870	872	870

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Tabla 3-4 Control de Voltaje

Voltage (V)			
	T1	***T2***	***T3***
E1	12	12	12
	12	12	12
	12	12	12
E2	12	12	12
	12	12.1	12
	12	12	12
E3	12	12	12
	12	12	11.9
	12	12	12

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

EL voltaje promedio encontrado en la celda E1 es de 610 mA, en E2 es de 380 mA y en E3 de 870 mA, según (Vera, 2007), (Al-Shannag, et al., 2014) y (Romero, 2015) quienes utilizaron una Intensidad de Corriente similares además la variación de esta en las diferentes celdas se deberse a la conductividad de los electrodos y los electrolitos del agua residual. Mientras que el voltaje fue de 12 V y permaneció constante.

3.5 Resultado de la caracterización de efluentes tratados.

Después de haber sometido las muestras del efluente de curtido al tratamiento por electroflotación se realizó el análisis para verificar su eficiencia en remoción de Cromo, Demanda Química de Oxígeno y pH. Los resultados de muestran a continuación.

3.5.1. Resultados de la Concentración de cromo

Después de someter las muestras de agua procedentes del proceso de curtido al tratamiento por electroflotación, se determinó la concentración de cromo de cada tratamiento mediante el método IUC 8 dándonos los resultados mostrados en la tabla. 3.5

Tabla 3-5 Resultados de concentración de Cromo total de efluentes tratados.

Concentración de Cromo total (mg/l)					
	Inicial (T0)	15 minutos (T1)	30 minutos (T2)	45 minutos (T3)	45 minutos +1 día de reposo (T4)
Acero/Hierro (E1)	15.998	14,5648	13,8049	13,5516	7,3457
	15.998	14,5648	13,9315	13,4249	7,3457
	15.998	14,6914	14,0582	13,4249	7,2191
Hierro/Grafito (E2)	15.998	13,5516	13,0450	12,4117	5,6993
	15.998	13,8049	13,0450	12,2851	5,5726
	15.998	13,6782	13,1716	12,2851	5,6993
Cobre/Hierro (E3)	15.998	15,3247	15,3247	15,1980	14,6914
	15.998	15,0714	15,0714	15,0714	13,9315
	15.998	14,9447	14,9447	14,9447	14,3115

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

En la tabla 3.5 se muestra como varían las concentraciones de Cromo total en cada tratamiento efectuado sobre el agua de curtido. La reducción de la concentración de cromo se aprecia en el gráfico 3.1.

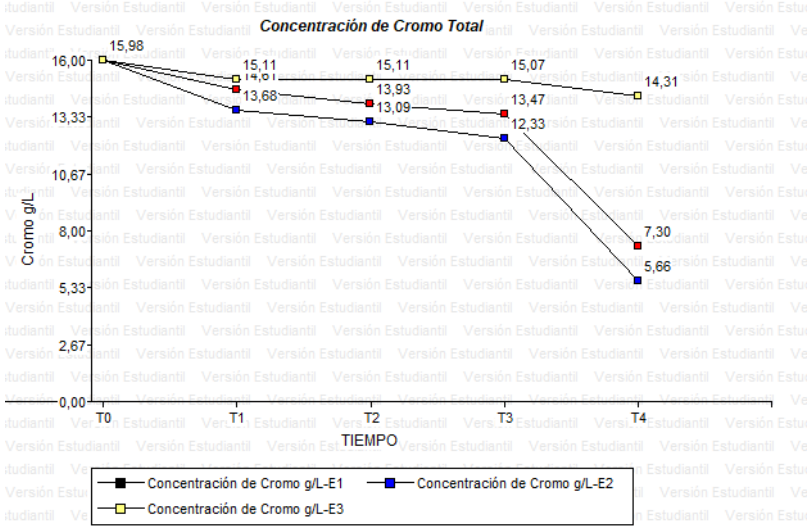


Gráfico 3-1 Disminución de la concentración de Cromo en los tratamientos

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

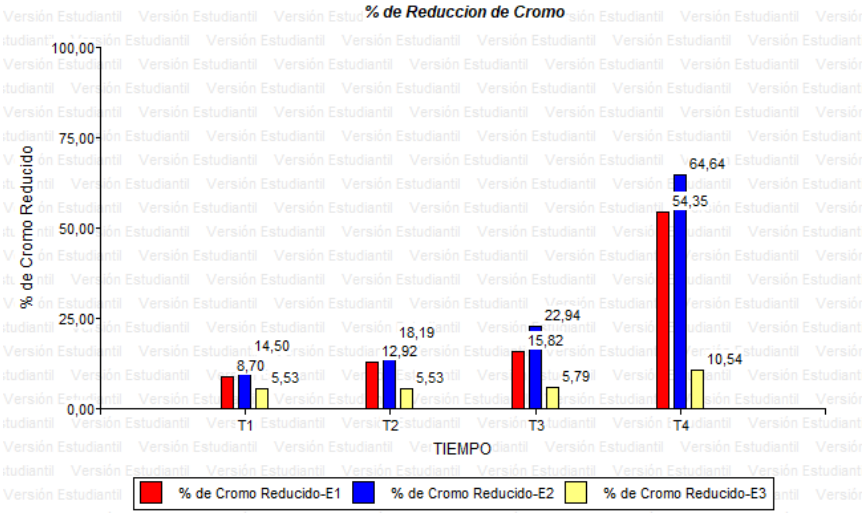


Gráfico 3-2 Porcentaje de remoción de Cromo en los tratamientos

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Como se muestra tanto en la tabla 3.5 como en el grafico 3.1 y 3.2 los resultados del tratamiento en Tiempo T1 se obtuvieron mejores resultados en E2T1 son de 13.68 g/l de Cromo lo que representa al 14.5 % de remoción, el tratamiento E1T1 nos dio una concentración de 14.61 y un porcentaje de remoción de 8.7 %, mientras que E3T1 fue el que mayor concentración de cromo posee 15.11 g/l y menor porcentaje de reducción en T1 se dio.

Con respecto al tiempo de tratamiento T2, la tendencia se mantuvo siendo E2T2 el que menor concentración de cromo 13.09 g/l y un porcentaje de remoción de 18.19 %, la que menor reducción de cromo se dio en T1 fue E3 con 5.53%, mientras que el tratamiento E1T2 tuvo como concentración de 13.93 g/l y un porcentaje de remoción de 12.92

En el tiempo de tratamiento T3, E1 nos dio una concentración de cromo de 13.47 g/l y un porcentaje de remoción 15.82 %, E2T3 una concentración de 12.33 g/l y una remoción del 22.94, para E3T3 la concentración de cromo fue de 15.07 g/l y un porcentaje de remoción de 5.79, siendo este último el de menor eficiencia.

Finalmente, tras dejar en reposo después de someter al efluente a electroflotación durante minutos T4) se obtuvo que el tratamiento E1T4 dio una concentración de cromo de 7.3 g/l y 54.35 % de

remoción, E2T4 una concentración final de 5.66 g/l y 64.64 % de remoción de cromo total, siendo estos los mejores resultados alcanzados.

La reducción de la concentración de cromo en los tratamientos de electroflotación, muestra que el mayor tiempo de tratamiento (E3) tuvo mejores resultados que los tiempos de tratamiento E1 y E2, mientras que al dejar reposar por 24 horas después de someter a 45 minutos a electricidad (T4) se logra reducir aún más la concentración de cromo debido a que el periodo de reposo permite que el cromo reducido precipite (Oliveira , et al., 2015) , se puede decir que hay una relación directa entre el tiempo de tratamiento y la reducción del contaminante coincidiendo con (Cheng , 2004) y (Romero, 2015). El electrodo que mejores resultados nos proveyó fue el E2, esto se debe a que Cátodo de grafito al ser un electrodo inerte produce radicales OH en la descomposición electrolítica del agua como lo indica (Al-Shannag, et al., 2014), dichos radicales ayudan a neutralizar la solución de cromo, además la malla de Hierro como ánodo se oxida y libera Iones Fe+ lo cual facilita la precipitación coincidiendo nuevamente con (Oliveira , et al., 2015). Esto sumado al tiempo que se dejó reposar la muestra de efluente tratado permitió que el Tratamiento E2T4 sea el que mejores resultados ha dado.

3.5.1.1. Análisis Estadístico de la concentración final de Cromo

Análisis de la varianza

Concentración de Cromo g/L

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Concentración de Cromo g/L..	36	0,81	0,77	11,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	255,76	5	51,15	25,08	<0,0001
TIEMPO	168,83	3	56,28	27,59	<0,0001
ELECTRODOS	86,93	2	43,47	21,31	<0,0001
Error	61,19	30	2,04		
Total	316,95	35			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,83060

Error: 2,0396 gl: 30

TIEMPO	Medias	n	E.E.		
T1	14,47	9	0,48	A	
T2	14,04	9	0,48	A	
T3	13,62	9	0,48	A	
T4	9,09	9	0,48		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,43735

Error: 2,0396 gl: 30

ELECTRODOS	Medias	n	E.E.		
E3	14,90	12	0,41	A	
E1	12,33	12	0,41		B
E2	11,19	12	0,41		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

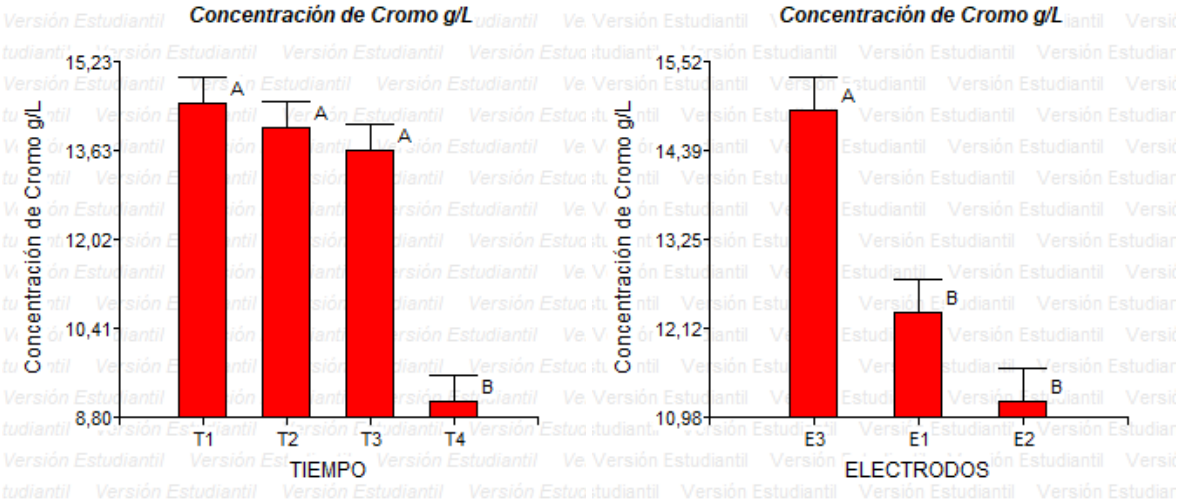


Gráfico 3-3 Análisis Estadístico de la concentración final de Cromo

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Tras el procesamiento estadístico de los resultados de la concentración de cromo en los tratamientos realizados, el análisis de Varianza ANOVA nos indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos realizados, dándonos un coeficiente de variación de 11.15. Además, tras someter a estos datos a una prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05 nos indica que los resultados de los tratamientos T4 son significativamente diferentes de los resultados de los tratamientos T1, T2, T3, siendo T4 el tiempo de tratamiento propuesto con mejores resultados, Además, que los tratamientos E1 y E2 son diferentes significativamente al E3.

3.5.1.2. Análisis Estadístico del porcentaje de cromo reducido.

% de Cromo Reducido

Variable	N	R²	R² Aj	CV
% de Cromo Reducido	36	0,81	0,77	44,74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9993,11	5	1998,62	25,08	<0,0001
TIEMPO	6596,52	3	2198,84	27,59	<0,0001
ELECTRODOS	3396,59	2	1698,29	21,31	<0,0001
Error	2390,76	30	79,69		
Total	12383,86	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=11,44268

Error: 79,6919 gl: 30

TIEMPO	Medias	n	E.E.		
T4	43,18	9	2,98	A	
T3	14,85	9	2,98		B
T2	12,21	9	2,98		B
T1	9,57	9	2,98		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=8,98455

Error: 79,6919 gl: 30

ELECTRODOS	Medias	n	E.E.		
E2	30,07	12	2,58	A	
E1	22,94	12	2,58	A	
E3	6,85	12	2,58		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

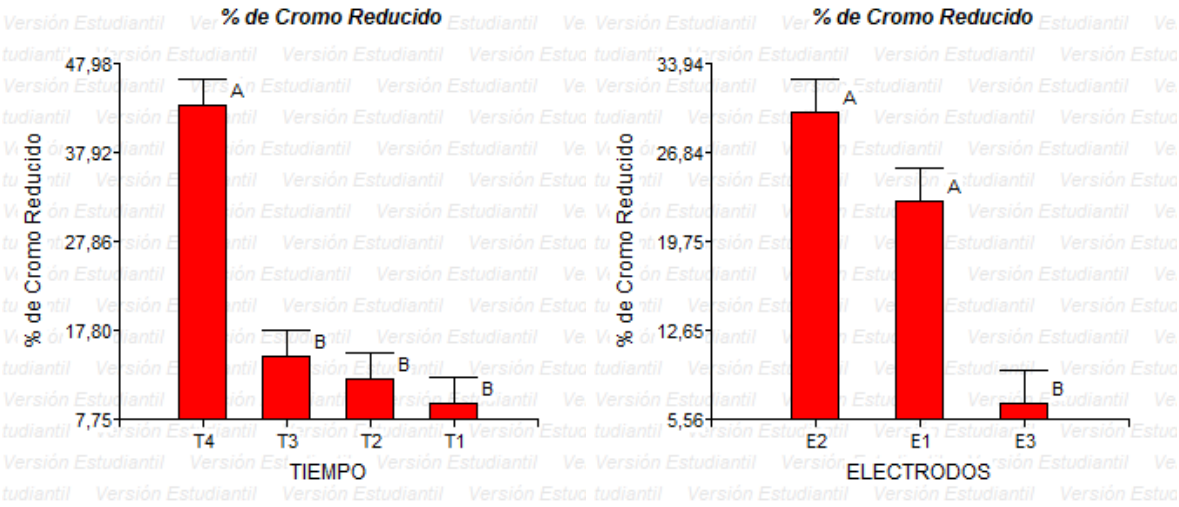


Gráfico 3-4 Análisis Estadístico del porcentaje de cromo Reducido.

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Los resultados del análisis de Varianza ANOVA para el porcentaje de reducción de cromo nos indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos realizados por electrodos y por tiempo, dándonos un coeficiente de variación de 44.74. Después de realizada la prueba tukey sabemos que los tratamientos con electrodos E1 y E2 obtuvieron resultados similares entre sí, no así E3 que obtuvo un menor porcentaje de remoción. Para los tiempos de tratamientos realizados los resultados de T4 los mismos que fueron los que mayor porcentaje de remoción de cromo nos dio, son diferentes al tiempo T1, T2, T3.

3.5.2. Reducción de la absorbancia

Con fines de verificar los resultados de la determinación de la concentración de cromo mediante el método IUC 8 descrito anteriormente. Se hizo un barrido de absorbancia en un espectrofotómetro Uv/Visible Génesis 10S, en el rango de 190 a 1100 nm, dándonos el mayor pico de absorbancia a 281 nm. Posteriormente se procedió a medir las absorbancias de las muestras de cada tratamiento en esa longitud de onda específica, los resultados de esas mediciones se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3-6 Absorbancia de las muestras de los tratamientos realizados a 281 nm

Absorbancia a 281 nm					
	Inicial (T0)	15 minutos (T1)	30 minutos (T2)	45 minutos (T3)	45 minutos +1 día de reposo (T4)
Acero/Hierro (E1)	4899	4492	4225	4093	2224
	4899	4483	4213	4102	2210
	4899	4490	4236	4107	2205
Hierro/Grafito (E2)	4899	4219	3981	3795	1734
	4899	4189	4004	3757	1701
	4899	4217	3989	3754	1740
Cobre/Hierro (E3)	4899	4679	4496	4469	4426
	4899	4591	4582	4503	4366
	4899	4620	4531	4503	4372

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Como se puede observar en la tabla 3.6 existe una relación entre la reducción de la absorbancia medida a 281 nm y la reducción de la concentración de cromo como oxido de cromo tabla 3.5. Esta reducción de la absorbancia se evidencia en el grafico 3.3.

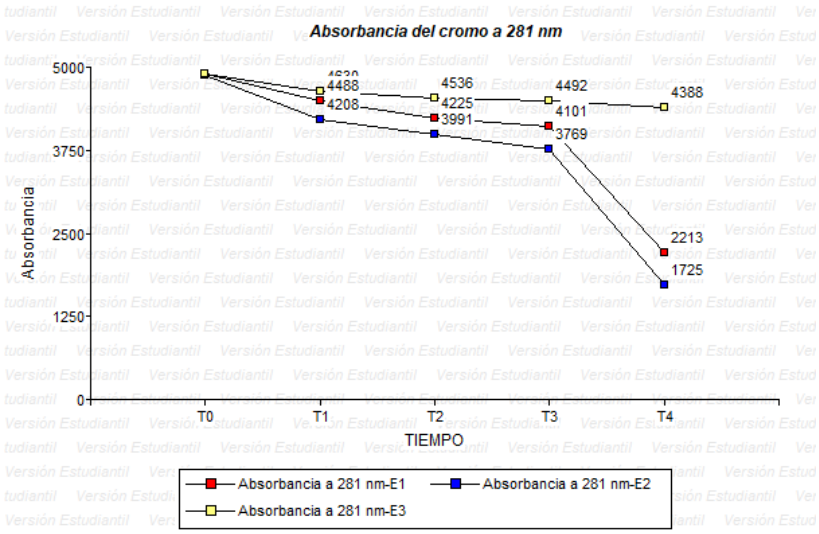


Gráfico 3-5 Absorbancia a 281 nm

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

3.5.3. Resultados de la Demanda Química de Oxigeno

Después de someter las aguas procedentes de curtido a los tratamientos propuestos se tomaron muestras y se determinó la demanda Química de Oxígeno. Los resultados están expuestos en la tabla 3.7.

Tabla 3-7 Demanda Química de Oxígeno en los efluentes tratados.

DQO (mg/l)					
	Inicial (T0)	15 minutos (T1)	30 minutos (T2)	45 minutos (T3)	45 minutos +1 día de reposo (T4)
Acero/Hierro (E1)	19800	18550	17771	15953	11779
	19800	18425	17706	15846	11608
	19800	18570	17846	15970	11699
Hierro/Grafito (E2)	19800	17340	16664	14912	8098
	19800	17565	16880	15106	8273

	19800	17480	16798	15033	8198
Cobre/Hierro (E3)	19800	19650	18884	17960	16054
	19800	19635	18869	18084	16003
	19800	19325	18571	17972	15673

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

En la tabla 3.7 se puede observar los valores finales de DQO de las muestras de los efluentes tratados. Las reducciones de la concentración se muestran en los gráficos 3.6 y 3.7.

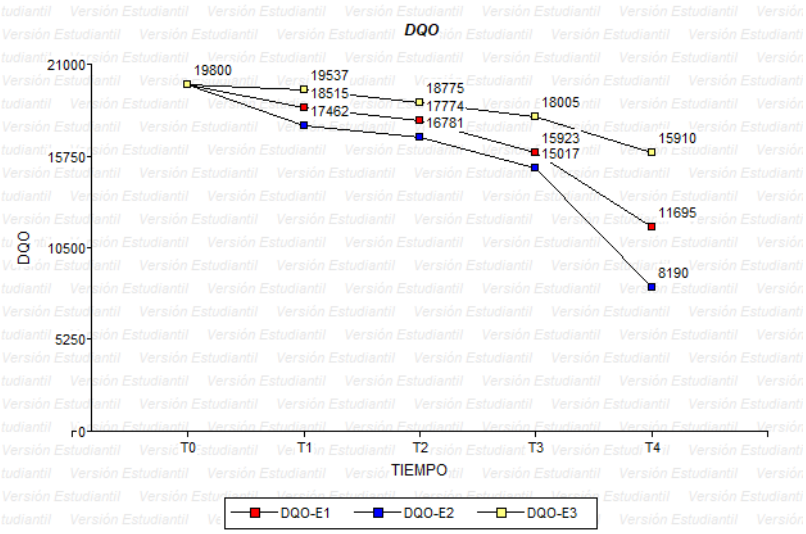


Gráfico 3-6 Reducción de la DQO en los efluentes tratados.

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

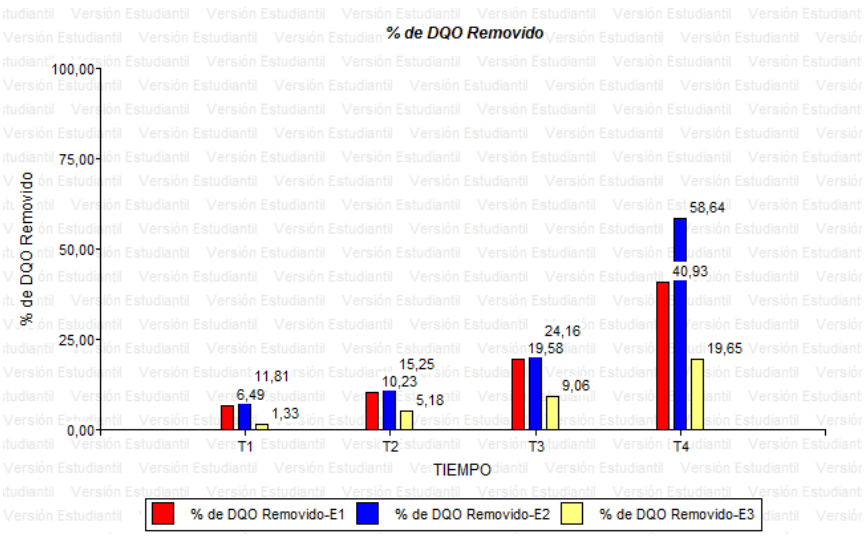


Gráfico 3-7 Porcentaje de reducción de la DQO en los efluentes tratados.

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Como se puede observar en los gráficos anteriores, en el tiempo de tratamiento T1, la combinación de electrodos E1 con un valor de DQO de 17462 mg/l y un porcentaje de remoción de 6.49 %, con E2 se obtuvo 17462 mg/l de demanda química de oxígeno y un porcentaje de reducción de 11.81%, para E3T1 se obtuvieron menor eficiencia con un valor de DQO de 19537 mg/l y 1.33% de remoción.

Para el tratamiento E1T2 se obtuvo un DQO de 17774 mg/l y 10.23% de remoción, en E2T2 el valor de DQO fue de 16781 mg/l con un porcentaje de remoción de 15.25 %, para E3T2 la concentración final de DQO en este T2 fue de 18775 mg/l y una remoción de 5.18%.

Para el tiempo de tratamiento T3 es decir 45 minutos sometido a electroflotación, el tratamiento E2T3 nos un DQO de 15017 mg/l y 24.16 % de reducción siendo la de mayor remoción en T3, para E1T3 el valor de Demanda química de oxígeno es 15920 mg/l y un porcentaje de remoción de 19.58%, para E3T3 la cantidad de DQO fue de 18005 mg/l y 9.06% de reducción, siendo este último el de menor reducción en T3.

El tiempo de tratamiento T4 (45 minutos de electroflotación y 24 horas de reposo) fue el que mejor resultado de reducción de demanda química de oxígeno nos dio siendo E1T4 con un valor de DQO de 11695 mg/l y un porcentaje de reducción de 40.93%, el mejor resultado en remoción de demanda química de oxígeno fue el de E2T4 con 8190 mg/l y 58.64 % de reducción, el resultado de E3T4 de 15910 mg/l de DQO y una reducción de 19.85 %.

Los resultados nos demuestran que, al aumentar el tiempo de tratamiento, el valor de la Demanda Química de oxígeno disminuye esto se puede explicar ya que según (Rodríguez, 2016) al disminuir la concentración de especies químicas presentes en el efluente, el valor de DQO disminuirá también, lo coincide con la reducción de la concentración de cromo en el transcurso de tiempo de tratamiento evidenciado en la presente investigación, así como lo evidenciado por (Restrepo, et al., 2006).

3.5.3.1 Análisis Estadístico de los resultados de DQO

DQO

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
DQO	36	0,90	0,89	6,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	316409360,61	5	63281872,12	55,52	<0,0001
TIEMPO	234084468,56	3	78028156,19	68,45	<0,0001
ELECTRODOS	82324892,06	2	41162446,03	36,11	<0,0001
Error	34196485,28	30	1139882,84		
Total	350605845,89	35			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1368,51805

Error: 1139882,8426 gl: 30

TIEMPO	Medias	n	E.E.			
T1	18504,44	9	355,88	A		
T2	17776,56	9	355,88	A		
T3	16315,11	9	355,88		B	
T4	11931,67	9	355,88			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1074,53161

Error: 1139882,8426 gl: 30

ELECTRODOS	Medias	n	E.E.			
E3	18056,67	12	308,20	A		
E1	15976,92	12	308,20		B	
E2	14362,25	12	308,20			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

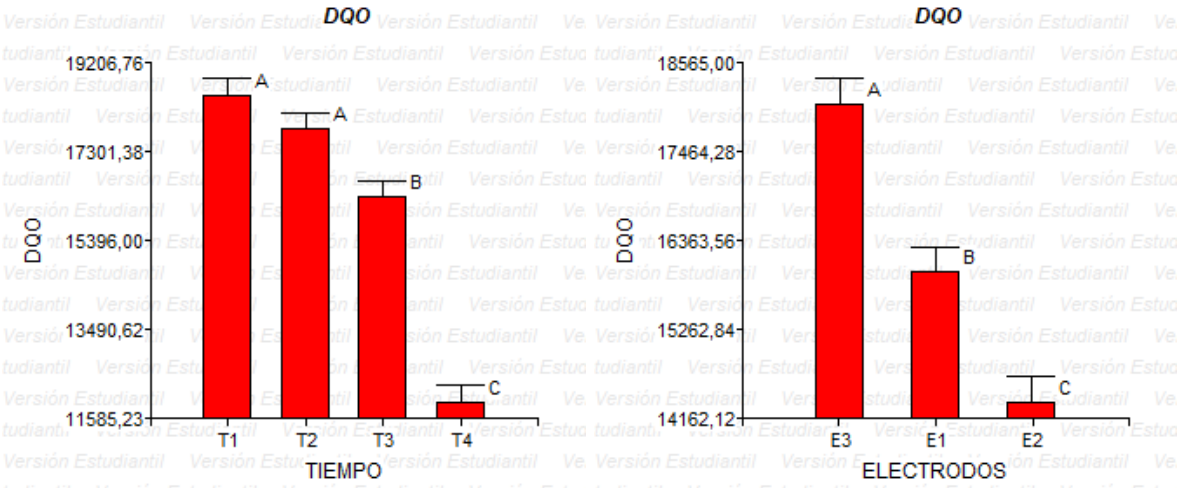


Gráfico 3-8 Análisis Estadístico de los resultados de DQO

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

El analisis de varianza de los resultados de la Demanda Quimica de Oxigeno nos indica que existe una diferencia significativa entre los tratamientos, teniendo un coeficiente de variacion de 6.62. Posteriormente con la prueba de tukey observamos que no hay diferencia en los resultados de los tratamientos a T1 y T2. Mienstras que estos son difernetes a los de T3 y a su vez a T4. Para la combinacion de electrodos E, nos indica que E1,E2,E3 son significativamente diferentes uno de otro.

3.5.3.2 Analisis estadistico del porcentage de DQO reducido

% de DQO Removido

Variable	N	R²	R² Aj	CV
% de DQO Removido	36	0,90	0,89	29,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8070,84	5	1614,17	55,52	<0,0001
TIEMPO	5970,93	3	1990,31	68,45	<0,0001
ELECTRODOS	2099,91	2	1049,96	36,11	<0,0001
Error	872,27	30	29,08		
Total	8943,11	35			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=6,91171

Error: 29,0757 gl: 30

TIEMPO	Medias	n	E.E.			
T4	39,74	9	1,80	A		
T3	17,60	9	1,80		B	
T2	10,22	9	1,80			C
T1	6,54	9	1,80			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=5,42693

Error: 29,0757 gl: 30

ELECTRODOS	Medias	n	E.E.			
E2	27,46	12	1,56	A		
E1	19,31	12	1,56		B	
E3	8,80	12	1,56			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

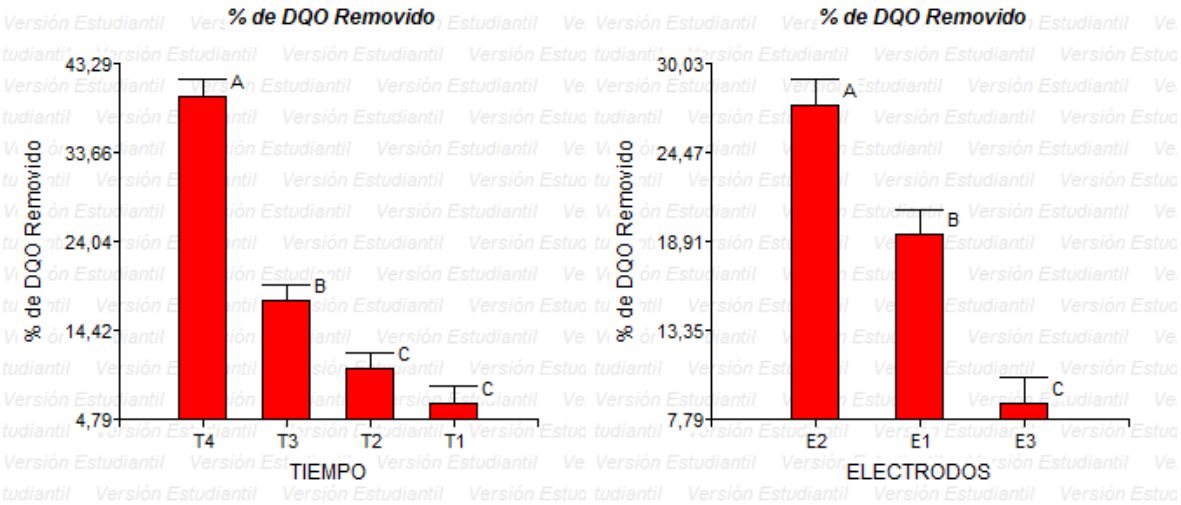


Gráfico 3-9 Analisis estadistico del porcentage de DQO reducido

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

En el ANOVA de los resultados del porcentaje de reduccion de DQO vemos que el valor de P es menor a 0.05 por lo que existe una difencia significativa entre los tratamientos, obtuvimos un coefiiciente de variacion de 29.11. En los resultados de la prueba de tukey se evidencia que los tratamientos T2 y T1 no hay diferencias significativas entre ellos. Pero si las hay con relacion a T3 y T4, siendo estos dos ultimos tambien diferentes entre si. En el caso de la conbinciones de electrodos, los tratamiento E2 que fueron con los que mayor reduccion tuvimos son diferentes de E1 y estos de E3.

3.5.4. Resultados de la Variación de pH.

Los resultados de las mediciones de pH durante los tratamientos se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3-8 Resultados de mediciones de pH

Variación del pH					
	Inicial (T0)	15 minutos (T1)	30 minutos (T2)	45 minutos (T3)	45 minutos +1 día de reposo (T4)

Acero/Hierro (E1)	3.87	4,12	4,43	5	5,05
	3.87	4,15	4,42	5	5,1
	3.87	4,18	4,39	5,01	5,09
Hierro/Grafito (E2)	3.87	4,17	4,44	5,2	5,2
	3.87	4,17	4,45	5,23	5,25
	3.87	4,2	4,4	5,17	5,19
Cobre/Hierro (E3)	3.87	3,97	4,05	4,25	4,27
	3.87	4	4,07	4,15	4,15
	3.87	3,95	4	4,13	4,1

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Como se observa en la tabla 3.8 se muestra una variación del pH de cada tratamiento. Dicha variación se evidencia en el siguiente gráfico.

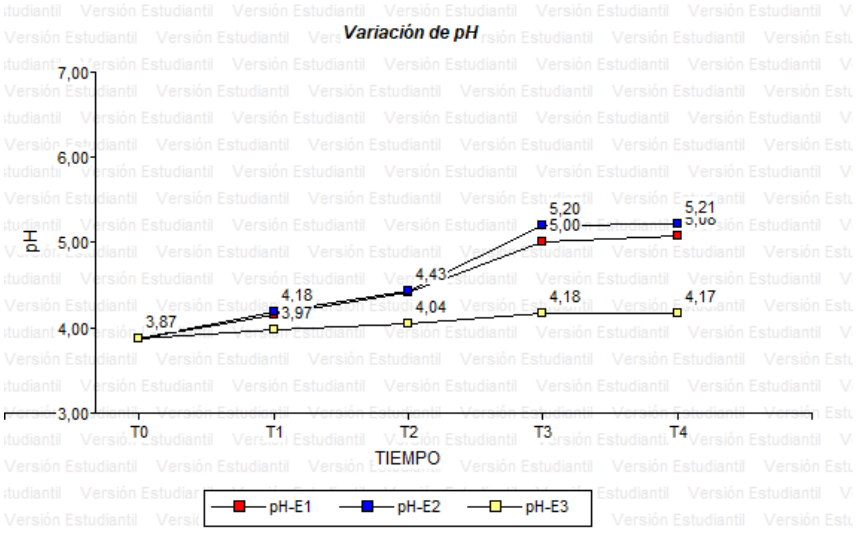


Gráfico 3-10 Variación de pH.

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

Como se muestra en la tabla 3.8 grafico 3.10 podemos observar de manera general que al transcurrir el tiempo de tratamiento el pH aumenta coincidiendo con lo dicho por (Cheng , 2004) , así teniendo al tratamiento E2 con el ánodo de grafito alcanzando en T3 un pH de 5.20 , mientras que en el tratamiento E2T4 se consiguió medir un pH de 5.21 muy similar a T4, ya que este se diferencia de T3 por 1 día de reposo , en el caso de E1T3 y E1T4 se consiguieron valores 5 y 5.08 respectivamente, en todos los acaso esto se debe a que como lo indica (Oliveira , et al., 2015) durante la electrolisis del agua se produce radicales OH en los cátodos , además en las superficies de los estos se produce una reducción electroquímica del metal estos fenómeno elevan el potencial Hidrogeno en el efluente.

3.5.4.1. Análisis estadístico de Resultados de pH

pH

Variable	N	R²	R² Aj	CV
pH	36	0,87	0,85	4,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,63	5	1,33	40,30	<0,0001
TIEMPO	3,52	3	1,17	35,68	<0,0001
ELECTRODOS	3,11	2	1,55	47,24	<0,0001
Error	0,99	30	0,03		
Total	7,62	35			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,23249

Error: 0,0329 gl: 30

TIEMPO	Medias	n	E.E.		
T4	4,82	9	0,06	A	
T3	4,79	9	0,06	A	
T2	4,29	9	0,06		B
T1	4,10	9	0,06		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,18254

Error: 0,0329 gl: 30

ELECTRODOS	Medias	n	E.E.		
E2	4,76	12	0,05	A	
E1	4,66	12	0,05	A	
E3	4,09	12	0,05		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

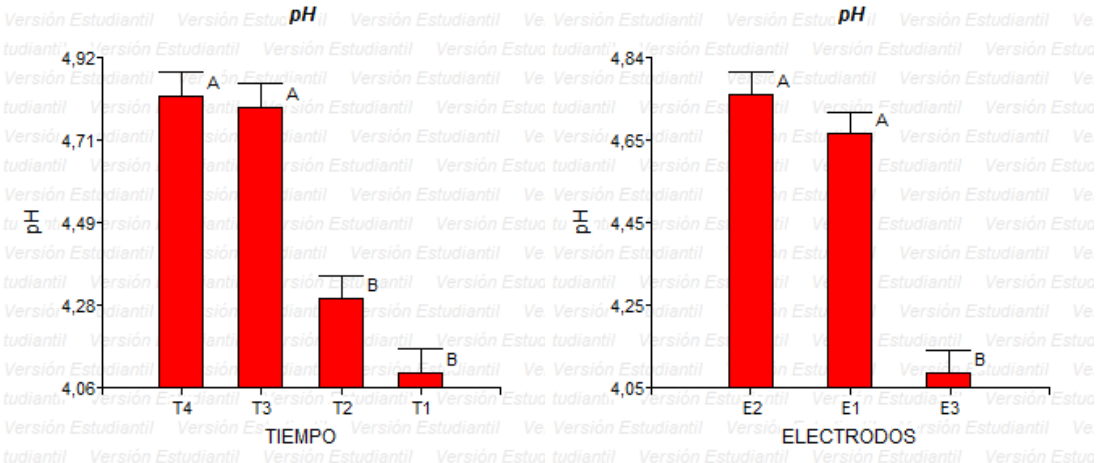


Gráfico 3-11 Análisis estadístico de Resultados de pH

Realizado por: Andrés Altamirano ,2019

En el analisis de varianza ANOVA para los resultados de las mediciones de pH obtuvimos un valor de p menor a 0.05 por lo que decimos que existe una diferencia signifiativa entre los tratamientos realizados. Tras la realizacion de la prueba tukey se evidencia que las tratamientos T2 y T1 no son diferentes significativamente uno de otro, mientas que son diferentes a T3 y T4.Para la combinacion de tratamientos podemos decir que los tratamientos E1y E2 no son significatvamente diferentes entre si, pero si lo son en comparacion con E3.

CONCLUSIONES

- Se caracterizó las propiedades físico – químicas de efluentes procedentes del curtido de cueros en donde obtuvimos que la concentración de Cromo total fue de 16 g/l , el valor de DQO fue de 19600 mg/l , un color de 3760 unidades de color, estos parámetros se encontraban fuera de límites establecidos por la normativa ambiental vigente , debido a la concentración en exceso de la sal curtiente, se obtuvo un pH de 3.87 ,una conductividad eléctrica de 4320, valor suficiente para efectuar el proceso de electroflotación, Oxígeno disuelto menor a 0.1 mg/l y solidos suspendidos de 20 mg/l.
- Se efectuó el tratamiento de las aguas residuales de curtido mediante un sistema de electroflotación, en una celda utilizando una configuración binaria de Electrodos donde se determinó un porcentaje de remoción de cromo de los efluentes tratados antes descritas, en donde por obtuvo un porcentaje máximo de remoción en 45 minutos (T3) de 22.94 % con la combinación de malla de hierro como ánodo y grafito como cátodo (E2), la combinación malla de hierro y acero inoxidable (E1) obtuvo 15.82 % de remoción de cromo. Mientras que al someter las aguas a 45 minutos de tratamiento y dejar reposara 1 día (T4) para que las partículas desestabilizadas precipiten, el mayor porcentaje de remoción obtenido fue al igual con la combinación de malla de fierro y placa de grafito con 64.64, siendo este el mejor resultado obtenido seguido por la combinación E1 con un valor de 54.31 % de remoción de cromo. Esto resultados además son los que lograron un mayor porcentaje de reducción de DQO produjeron con 58.34 y 40.93 %. Se puede decir que la remoción de cromo y DQO aumenta con el tiempo de tratamiento. La combinación con malla de hierro y placa de cobre (E3) fue la que consiguió menores resultado con un porcentaje de remoción de 10.54 %. Esto último se debe a que los electrodos de cobre no son tan estables como los de Acero inoxidable y Grafito. Los resultados demuestran que a mayor tiempo de tratamiento mayor es la eficiencia de remoción y que es necesario que el efluente tratado repose para que las partículas desestabilizadas precipiten.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda variar la intensidad de corriente eléctrica en futuras investigaciones.
- Se recomienda usar tiempos de tratamiento más prolongados.
- Se recomienda el uso de electrodos más estables como los de diamante dotado con boro para obtener mayores porcentajes de remoción
- Se recomienda combinar el tratamiento con otros como una regulación de pH para apoyar la separación de la sal de cromo en el efluente.

BIBLIOGRAFÍA

AL-SHANNAG, M.; Et. Al. " Heavy metal ions removal from metal plating wastewater using electrocoagulation: kinetic study and process performance". *Chemical Engineering Journal* [En linea], 2015,(Jordania) 260(2) , pp 749–756.[Consulta: 30 de Mayo de 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/265906554_Heavy_metal_ions_removal_from_metal_plating_wastewater_using_electrocoagulation_kinetic_study_and_process_performance

ARANGO, A. "La Electrocoagulación; Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales". *Revista Lasallista de Investigacion,* [En linea], 2005,(Colombia) 2(1) , pp 49-56. [Consulta: 30 de Mayo de 2019]. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/695/69520109.pdf

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TOXICAS Y EL REGISTRO DE ENFEMEDADES. *Resumen de Salud Pública - Cromo* [En línea] ,2016. [Consulta: 27 de Junio de 2019.] DIsponible en : https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.html.

BOLIVAR, G. *Cromo: Propiedades, Características y Usos* [En línea], 2003. [Consulta: 27 de Junio de 2019.]Disponible en: https://www.lifeder.com/cromo/.

CASTELLANOS, D. *Aplicación propiedades químicas de materiales metálicos* [En línea], 2008. [Consulta: 27 de Junio de 2019.] Disponible en: https://www.academia.edu/24667003/APLICACI%C3%93N_PROPIEDADES_QU%C3%8DMICAS_DE_MATERIALES_MET%C3%81LICOS_1._Qu%C3%A9_es_un_medio_electrol%C3%ADtico.

CHÁVEZ, A."Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo". *Revista Ingenierias Universidad de Medellin,* [En linea], 2010 ,(Colombia) 9(17) , pp 41-50. [Consulta: 30 de Mayo de 2019]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242010000200004

CHENG , G. "Electrochemical technologies in wastewater treatment". *Separation and Purification technology journal,* [En linea], 2004 , 38(1) , pp 11-41. [Consulta: 3 de Junio de 2019]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586603002636

ECURED. Electrolisis [En línea], 2008. [Consulta: 25 de Junio de 2019]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Electr%C3%B3lisis

GERMILLAC, M. *Industria Curtiembre*. [En línea] 2002. [Consulta : 26 de Junio de 2019.] https://www.virtualpro.co/biblioteca/curtiembre.

GÓMEZ, E, & MARTÍNEZ, V. Estudio de optimización de variables de funcionamiento de un sistema de electrocoagulación para tratar aguas de la industria textil [En línea](Tésis),Escuela Politécnica Nacional,Quito,Ecuador. 2013. pp. 24-37 [Consulta: 23 de Abril de 2019.] DIsponible en: HTTP://BIBDIGITAL.EPN.EDU.EC/BITSTREAM/15000/5551/1/CD-4636.PDF.

GRISOL DA CRUZ, S., & DUTRA, A. "The influence of some parameters on bubble average diameter in an electroflotation cell by laser diffraction method". *Journal of Environmental Chemical Engineering* [En línea],2016, 4(3), pp. 3681-3687. [Consulta: 12 de junio de 2019.] DIsponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343716301865

HUANGAL SCHEINEDER, S, & CABRERA , T. "Selección de electrodo y amperaje en la separación de un aceite lubricante emulsionado en agua por electroflotación". *Untelsciencia* [En línea], 2016,1(1), pp. 2-9. [Consulta: 28 de mayo de 2019.] Disponible en: http://repositorio.untels.edu.pe/bitstream/UNTELS/198/1/Tarcila_Cabrera_Articulo_2016.pdf.

LENNTECH. *Propiedades químicas del Cromo - Efectos del Cromo sobre la salud - Efectos ambientales del Cromo* [En línea]. 2005. [Consulta: 25 de Junio de 2019]. Disponible en: https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm.

MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR (MAE). Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador. *Ambiente.gob.ec*. [En línea],2013. [Consulta: 17 de Abril de 2019.] Disponoble en: http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/PART2.pdf.

MALAKOOTIAN, M., & YOUSEFI, N. The Efficiency of electrocoagulation process using aluminuim electrodes in removl of hardness from water. *Journal of Environ Health Sciences* [En línea], *2009, 6*(2), pp. 131-136. [Consulta: 11 de junio de 2019.] DIsponible en: https://www.researchgate.net/publication/279703966_The_efficiency_of_electrocoagulation_process_using_aluminum_electrodes_in_removal_of_hardness_from_water

MÁRQUEZ, L. *Yodometria* [En línea] 2012. [Consultal: 4 de Julio de 2019.] Disponible en: https://www.academia.edu/25443426/Yodometria.

MARTÍNEZ, F. "*Tratamiento de aguas residuales mediante electrocagulacion y coagulacion convencional"* [En línea](Tésis).(Maestria). Universidad de Castilla la Mancha, Ciudad Real, España. 2007.pp. 58-87. [Consulta: 23 de Abril de 2019.] Disponible en: https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251%20Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20industriales.pdf?sequence=1

MEDINA, M, & POZO P., PABLO. "Determinación de cromo hexavalente en descargas de aguas residuales de una curtiembre, ubicada en el sector de Izamba, Ambato en la provincia de Tungurahua, mediante espectrofotometría de absorción atómica". *infoANALÍTICA* [En línea], 2016, 1(1), [Consulta: 17 de junio de 2019.] Disponible en: http://infoanalitica-PUCE.EDU.EC/INDEX.PHP/INFOANALITICA/ARTICLE/VIEW/44/30

MERZOUK, B., GOURICH, B., & SEKKI, A. "Removal Turbidity and Separation of Heavy Metals Using Electrocoagulation–Electroflotation Technique". *Journal of Hazardous Materials* [En línea], 2009, 164(1), pp 215-222. [Consulta: 19 de junio de 2019.] Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389408011916

MORALES , N, & ACOSTA , G. Métodos electroquímicos para la remediacion de aguas residales. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal* [En línea], 2010, 4(2), [Consulta: 16 de Mayo de 2019]- Disponible en: http://www.redalyc.org/html/911/91114807003/.

MORANTE, G. "Electrocoagulación de Aguas residuales". *Revista Colombiana de Física* [En línea], 2002, *2*(34), pp. 484-489. [Consulta: 16 de Mayo de 2019]- Disponible en: http://www.revcolfis.org/busqueda/vol34_2/articulos/pdf/3402484.pdf

MORENO DE LA FUENTE, J. *Podologia General y Biomecánica* [En línea]. Segunda . Barcelona-España, Elsevier Masson, 2009. [Consulta: 14 de Junio de 2019]- Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Podolog%C3%ADa_general_y_biomec%C3%A1nica_+_CD_2.html?id=xSCX5AZ6nd8C&redir_esc=y

NTE INEN 2169. *Muestreo, manejo y conservación de muestras de Agua*. [En línea] 2013. [Consulta: 4 de Julio de 2019.] Disponible en: http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACI%C3%93N-DE-MUESTRAS.pdf.

OJEDA ARMAIGNAC, E., & HING CORTÓN, R. " Estudio del proceso de electrocoagulación de la vinaza empleando electrodos de hierro". *Tecnología Química* [En línea], 2010 (Cuba) 30(1). [Consulta: 3 de junio de 2019]. Disponible en: http://www.redalyc.org/pdf/4455/445543769003.pdf

OLIVEIRA , I, ADILSON DE CASTRO, J, & CASQUEIRA , R. "Study of electroflotation method for treatment of wastewater from washing soil contaminated by heavy metals". *Journal of Materials Research and Technology*[En línea],2015. 4(1), pp. 109-113. [Consulta: 3 de junio de 2019]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785414001112

ORTÍZ, N. Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres san benito, bogotá, mediante tratamiento con sulfato de sodio [En línea] (Tésis). (Maestría) Universidad de Manizales, Manizales, Colombia. 2013. pp. 28-44. [Consulta: 10 de abril de 2019]. Disponible en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1076/Ortiz_Penagos_Nidia_Elena_2013.pdf?sequence=1

RESTREPO, A, ARANGO, A, & GÁRCES, L. "*La Electrocoagulacion: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas". Revista de Produccion mas Limpia*[En línea], 2006, 1(2), pp. 58-77. [Consulta: 10 de abril de 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/277035194_La_Electrocoagulacion_retos_y_oportunidades_en_el_tratamiento_de_aguas

RODRÍGUEZ, E. Determinación de la eficiencia de remoción de colorantes presentes en el efluente de una industria de textiles de tela de algodón mediante electrocoagulación [En línea](Tésis). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2016. pp.11-34. [Consulta: 11 de abril de 2019]. Disponible en: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/13042/1/Ing.%20Edison%20Rodr%C3%ADguez.pdf

ROMERO, X. Diseño de una planta de recuperación del sulfato de cromo (III) proveniente de las aguas del proceso de curtido del cuero, mediante electrocoagulación y reacción químicacpp. 20-47. [Consulta: 25 de Junio de 2019]. Disponible en: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11844/1/CD-6551.pdf

SUÁREZ, J, JÁCOME, A, & URES, P. *Electrocoagulation-electroflotación* [En línea]. 2015. [Consulta: 27 de mayo de 2019]. Disponible en: https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558166/Electrocoagulation-Electroflocculation+%28only+Spanish+version%29.pdf/110c2229-a521-a457-89a4-5f3850f66787.

TAVAREZ , R. *Contaminación del agua con cromo* [Blog]. 9 de diciembre, 2015. [Consulta: 25 de Junio de 2019]. Disponible en: https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2015/12/09/132418.

TAYUPANDA, S. Diseño de un sistema de tratamiento de agua residual del proceso de pelambre para su reutilización, curtiembre pieles "puma" [En línea](Tésis).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, RIobamba, Ecuador. 2010. pp.14-34. [Consulta: 28 de mayo de 2019]. Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2650/1/96T00123.pdf

TULSMA. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua [En línea]. 2014. [Consulta: 19 de mayo de 2019]. Disponible en: http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID. *Sistema de electroflotacion* [En línea]. Septiembre, 2005. [Consulta: 27 de mayo de 2019]. Disponible en: http://webs.ucm.es/info/iqpapel/equipos/electroflotacion.htm

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ. Tratamiento electroquímico de aguas residuales.[Blog]. 17 de Septiembre, 2010. [Consulta: 27 de Junio de 2019].Disponible en: www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2010/09/17/131491.

UNNA. 2002. *El Proceso de Curtido* [En línea].2002.[Consulta: 28 de mayo de 2019]. Disponible en: http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/pdf/Proceso_de_curtido.pdf

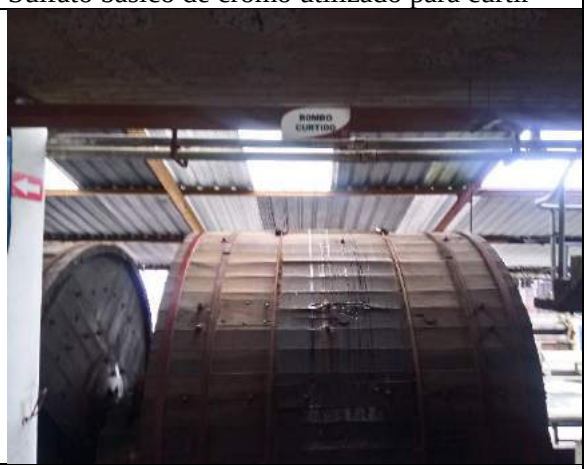
VERA, I. *Química General; Electroquimica* [En línea]. Corrientes, Argentina: Editorial Nova, 2007. [Consulta: 27 de junio de 2019]. Disponible en: http://exa.unne.edu.ar/quimica/quimgeneral/temas_parciales/unidad_10_Electroquimica2007.pdf.

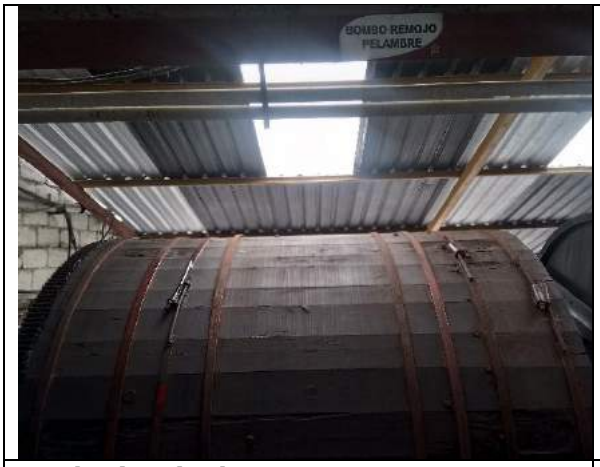
VIDAL , G; et al. *Combinación de procesos biologicos y de Oxidacion avanzada para el tratamiento de una corriente de proceso de la Industria de curtiembre*[En línea]. Chile: Universidad de Concepción, 2003. [Consulta: 5 de junio de 2019]. Disponible en: https://estrucplan.com.ar/articulos/combinacion-de-procesos-biologicos-y-oxidacion-avanzada-para-el-tratamiento-de-una-corriente-de-proceso-de-la-industria-de-curtiembre/

VINUEZA, D. Diseño de un sistema de reciclaje de los baños de curtición en la Empresa Servicueros s.a. [En línea](Tésis).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. pp. 32-58. [Consulta: 28 de Julio de 2019]. Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2524/1/96T00206.pdf

ANEXOS

ANEXO A Proceso de curtido y toma de muestras.

Etapa de Descarnado	Etapa de separación
Etapa de Piquelado	Sulfato basico de cromo utilizado para curtir
	
Cuero antes de agragar el curtiente	Bombo de curtido

	
Bombo de Pelambre	Cuero con el curtiente
Toma de muestra	Descarga de efluente
Etapa de acabado	Etapa de acabado

Calculo para tamaño de muestra

Las consideraciones seguidas para la selección de la muestra fueron:

1) Agua requerida para los tratamientos

$$V_{trat} = 11\ cm\ x\ 11\ cm\ x\ 13\ m = \ 1573\ cm^3 \text{ por tratamiento}$$

$$V_{trats} = \ 1.5\ l\ x\ 40 = \mathbf{60\ l}$$

2) Agua requerida para análisis de entrada 2.5 l
3) Volumen de agua considerada como margen de seguridad:

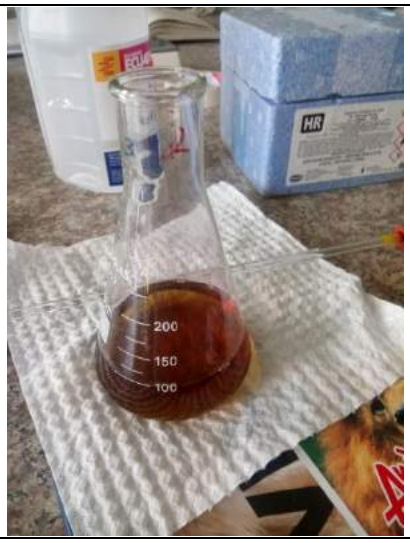
$$V_{seg} = \mathbf{60\ l\ \ x\ 0.33 = \ 20\ l}$$

4) Volumen total de agua residual requerido para la investigación

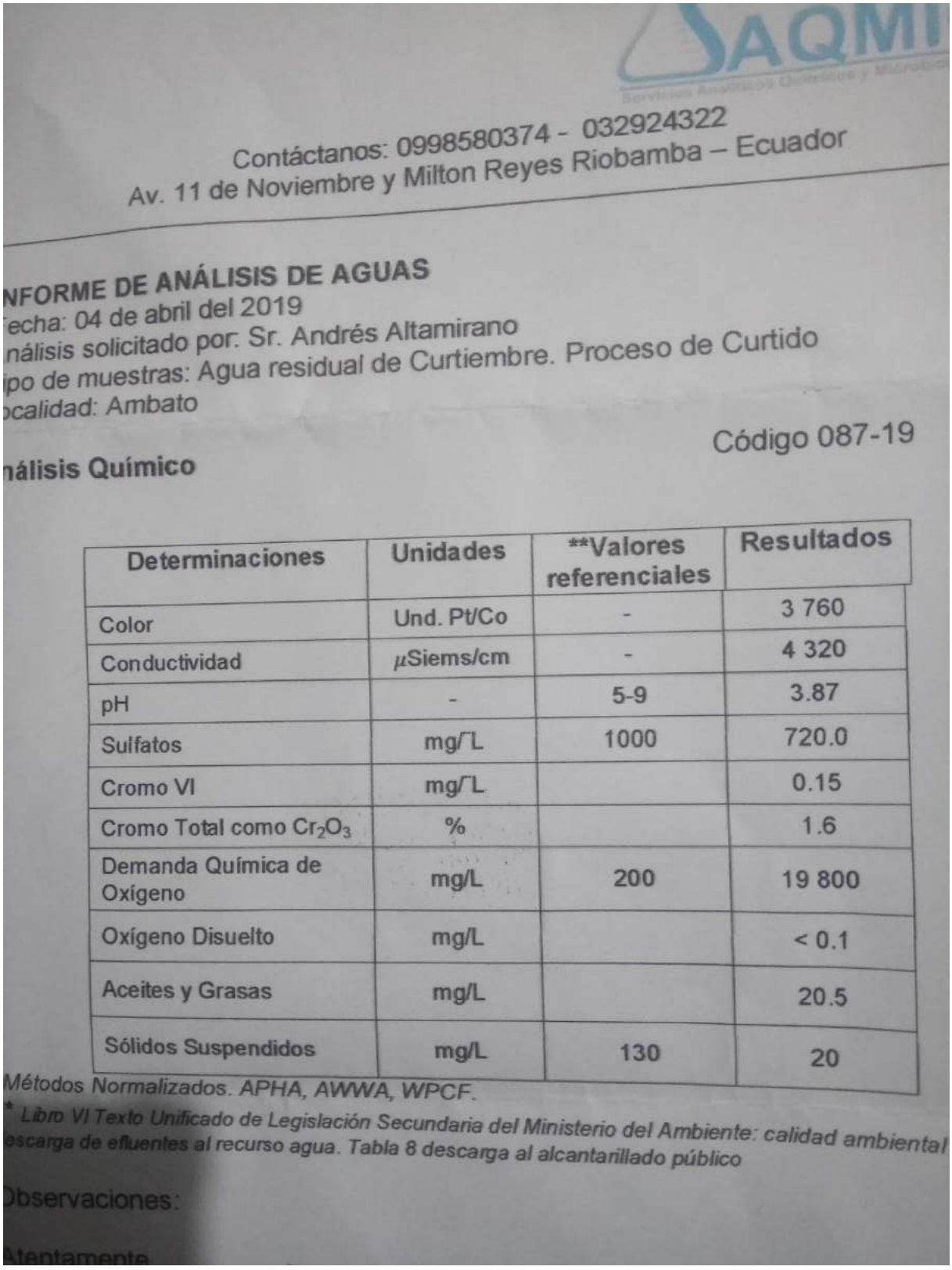
$$V_T = V_{seg} + \ V_{trats} + V_{ent}$$

$$V_T = \mathbf{20\ l\ + 2.5\ l\ + 60\ l\ = \ 82.5\ m^3}$$

ANEXO C Análisis de cromo Y DQO

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">Oxidación acida para determinar la concentración de Cromo total</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">Determinación de la concentración de Cromo total</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>Medición de la absorbancia</td><td>Determinación de la DQO</td></tr>
</table>

ANEXO D Caracterización del efluente



Contáctanos: 0998580374 - 032924322
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

NFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS
echa: 04 de abril del 2019
nálisis solicitado por: Sr. Andrés Altamirano
ipo de muestras: Agua residual de Curtiembre. Proceso de Curtido
ocalidad: Ambato

Código 087-19

nálisis Químico

Determinaciones	Unidades	**Valores referenciales	Resultados
Color	Und. Pt/Co	-	3 760
Conductividad	µSiems/cm	-	4 320
pH	-	5-9	3.87
Sulfatos	mg/L	1000	720.0
Cromo VI	mg/L		0.15
Cromo Total como Cr_2O_3	%		1.6
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	19 800
Oxígeno Disuelto	mg/L		< 0.1
Aceites y Grasas	mg/L		20.5
Sólidos Suspendidos	mg/L	130	20

Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF.
* *Libro VI Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: calidad ambiental escarga de efluentes al recurso agua. Tabla 8 descarga al alcantarillado público*

Observaciones:

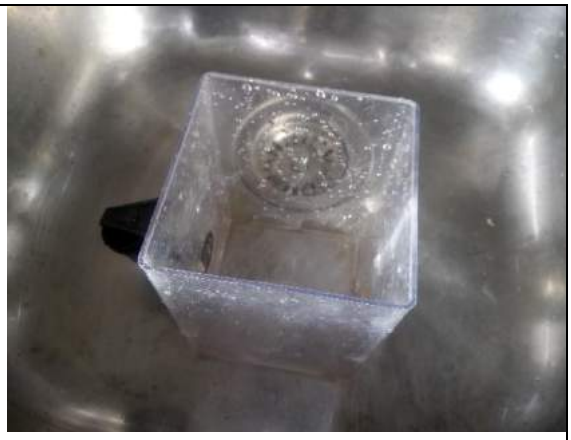
Atentamente

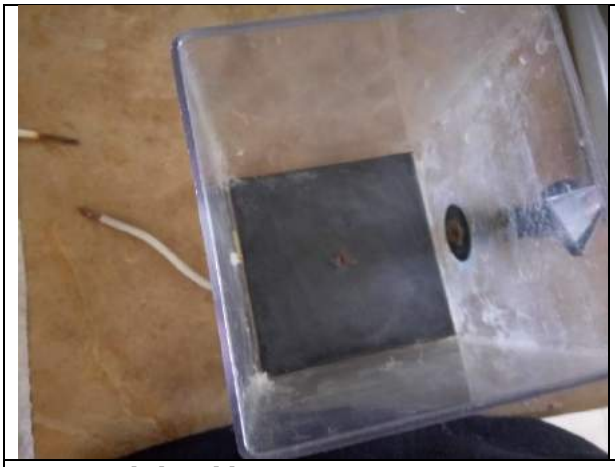
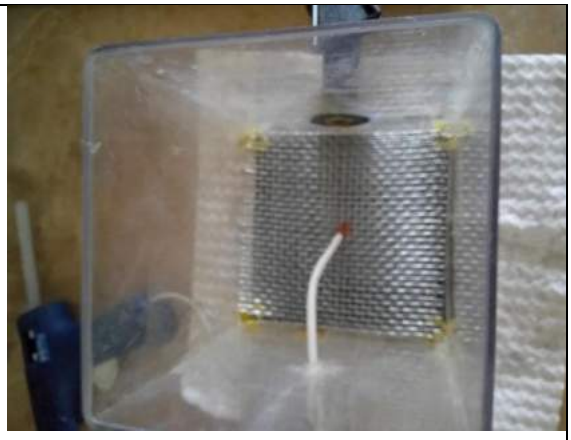
ANEXO E Volúmenes de titulación en Yodometría y % de óxido de Cromo

Volumen de Tiosulfato de Sodio usada para Titular					
	Inicial (T0)	15 minutos (T1)	30 minutos (T2)	45 minutos (T3)	45 minutos +1 día de reposo (T4)
Acero/Hierro (E1)	11,5	10,9	10,7	5,8	11,5
	11,5	11	10,6	5,8	11,5
	11,6	11,1	10,6	5,7	11,6
Hierro/Grafito (E2)	10,7	10,3	9,8	4,5	10,7
	10,9	10,3	9,7	4,4	10,9
	10,8	10,4	9,7	4,5	10,8
Cobre/Hierro (E3)	12,1	12,1	12	11,6	12,1
	11,9	11,9	11,9	11	11,9
	11,8	11,8	11,8	11,3	11,8

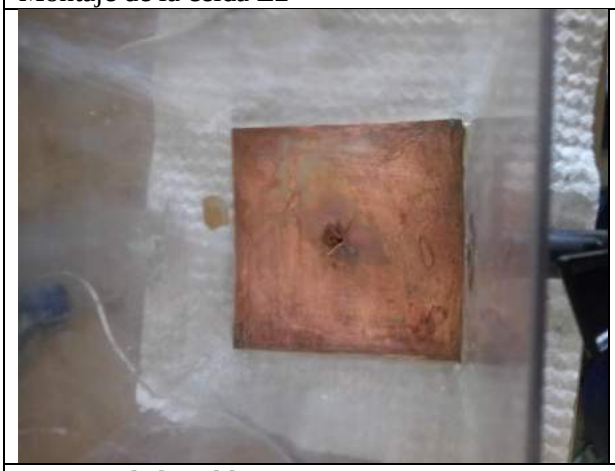
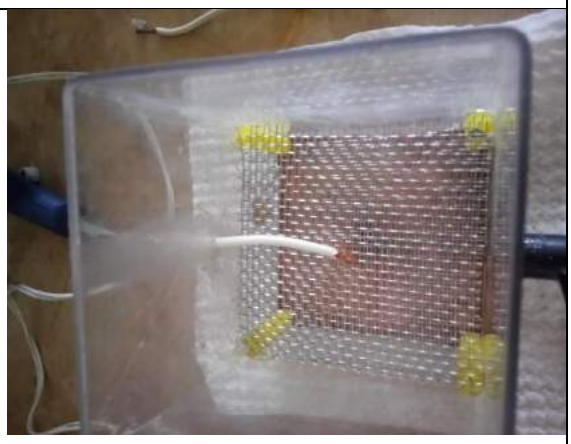
Porcentaje de óxido de Cromo					
	Inicial (T0)	15 minutos (T1)	30 minutos (T2)	45 minutos (T3)	45 minutos +1 día de reposo (T4)
Acero/Hierro (E1)	1,456475	1,380485	1,355155	0,73457	1,456475
	1,456475	1,39315	1,34249	0,73457	1,456475
	1,46914	1,405815	1,34249	0,721905	1,46914
Hierro/Grafito (E2)	1,355155	1,304495	1,24117	0,569925	1,355155
	1,380485	1,304495	1,228505	0,55726	1,380485
	1,36782	1,31716	1,228505	0,569925	1,36782
Cobre/Hierro (E3)	1,532465	1,532465	1,5198	1,46914	1,532465
	1,507135	1,507135	1,507135	1,39315	1,507135
	1,49447	1,49447	1,49447	1,431145	1,49447

ANEXO F Equipo de electroflotación y observaciones

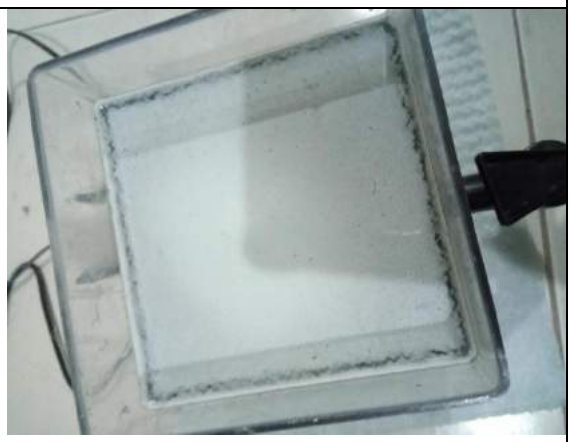
<table>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>Construcción de la celda</td><td>Lavado de la celda</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">Preparación de los electrodos</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>Montaje de la celda E1</td><td></td></tr>
</table>

Montaje de la celda E2

Montaje de la celda E3



Formación de burbujas en los primeros minutos de tratamiento

Equipo funcionando	Espuma generada
Equipo de electroflotación	Resultado E1T4
Resultado E2T4	Resultado E3T4