



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“RECUPERACIÓN DE CROMO (III) MEDIANTE LOS MÉTODOS
DE ELECTROCOAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN EN LA
EMPRESA TENERÍA DÍAZ”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: COBO CANGO PATRICIA ALEXANDRA

DIRECTOR: Ing. César Arturo Puentes Guíjarro

Riobamba – Ecuador

2020

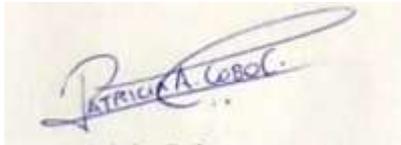
©2020, Patricia Alexandra Cobo Cango

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

Yo, Patricia Alexandra Cobo Cango, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de Diciembre del 2020

A handwritten signature in blue ink, reading "PATRICIA A. COBO C.", with a large, stylized flourish above the name.

Patricia Alexandra Cobo Cango
172355605-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto de Investigación “**RECUPERACIÓN DE CROMO (III) MEDIANTE LOS MÉTODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN EN LA EMPRESA TENERÍA DÍAZ**”, realizado por la señorita: **PATRICIA ALEXANDRA COBO CANGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Mónica Lilián Andrade Ávalos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2020-12-23
Ing. César Arturo Puente Guijarro, PhD DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____	2020-12-23
Ing. Adrian Alejandro Rodríguez Pinos MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 _____	2020-12-23

DEDICATORIA

A Dios por permitirme culminar una etapa más en mi vida, por darme la fortaleza y la sabiduría para salir adelante, a mis padres Hermandina y Ángel por ser mi pilar fundamental en todo momento por ser mi ejemplo a seguir ya que ustedes son un modelo de lucha constante en la vida que no se dan por vencidos ante nada, por enseñarme a ser humilde y a valorar las cosas que de verdad te sirven para ser mejor persona, a mis hermanos David y Camila que entre alegrías y tristezas me han sabido apoyar en todo momento dándome palabras de aliento para no decaer y a mi angelito tía Martha que desde cielo me cuidas y guías mi camino, para ellos está dedicado este Trabajo de Titulación pues gracias a ellos y a su apoyo incondicional hoy puedo recorrer mi camino firme y constantemente.

Patricia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por fomentarme todos los conocimientos necesarios para formarme como una gran profesional y poder alcanzar una más de mis metas, un enorme agradecimiento al Ingeniero César Puente y al Ingeniero Adrian Rodríguez por ser mis guías aportando cada uno de sus conocimientos durante todo este proceso en mi Trabajo de Titulación y a su vez brindándome un apoyo constante. A la Empresa Tenería Díaz CIA. Ltda de la ciudad de Ambato por abrirme sus puertas para el desarrollo de esta investigación.

Gracias a mis amigas, amigos y demás familiares por brindarme su apoyo cuando más lo necesité.

Patricia.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1 Antecedentes de la investigación.....	5
1.2 Marco conceptual.....	6
<i>1.2.1 Preparación de la piel.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2 Curtido de pieles</i>	<i>7</i>
<i>1.2.3 Proceso de producción del cuero</i>	<i>7</i>
<i>1.2.3.1 Proceso de curtido</i>	<i>8</i>
<i>1.2.3.2 Etapa de Ribera.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.3.3 Remojo.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.3.4 Pelambre</i>	<i>9</i>
<i>1.2.3.5 Desencalado.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3.6 Descarnado</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3.7 Desengrase.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3.8 Purga Enzimática.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3.9 Etapa de Piquelado</i>	<i>11</i>
<i>1.2.3.10 Etapa de Curtido.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.3.11 Ecurrido y Rebajado.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.3.12 Engrase</i>	<i>13</i>
<i>1.2.3.13 Acabado.....</i>	<i>13</i>

1.2.4	Cromo	14
1.2.4.1	Usos y propiedades del Cromo.....	14
1.2.4.2	Contaminación ambiental del cromo	14
1.2.5	Parámetros Físico – Químicos del agua residual	15
1.2.5.1	Caudal (Q).....	15
1.2.5.2	Potencial de Hidrogeno (pH).....	15
1.2.5.3	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).....	15
1.2.5.4	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	16
1.2.5.5	Sólidos en Suspensión.....	16
1.2.5.6	Sulfatos.....	16
1.2.5.7	Sulfuros.....	16
1.2.5.8	Grasas y Aceites.....	16
1.2.5.9	Cromo hexavalente.....	16
1.2.6	Métodos de recuperación de cromo	17
1.2.6.1	Electrocoagulación	17
1.2.6.1.1	Conducción eléctrica	20
1.2.6.1.2	Leyes de Faraday.....	20
1.2.6.1.3	Tipos de sistema de electrocoagulación	20
1.2.6.1.4	Factores que influyen en el proceso.....	21
1.2.6.1.5	Ventajas y desventajas de la electrocoagulación.....	22
1.2.6.2	Precipitación Química	23
1.2.6.2.1	Factores que influyen el método de precipitación química	24
 CAPÍTULO II		
2	MARCO METODOLÓGICO	26
2.1	Especificación de las variables	26
2.1.1	Variables de la hipótesis específica 1	26
2.1.2	Variables de la hipótesis específica 2.....	26
2.1.3	Variables de la hipótesis específica 3.....	26
2.2	Operacionalidad de variables	27
2.3	Matriz de consistencia	28

2.4	Tipo y diseño de la investigación	29
2.4.1	Tipo de la investigación	29
2.4.1.1	<i>Investigación Experimental</i>	29
2.4.1.2	<i>Investigación Exploratoria</i>	29
2.4.1.3	<i>Investigación Descriptiva</i>	29
2.4.2	Diseño de la investigación	29
2.4.3	Unidad de análisis	30
2.4.4	Población de estudio	30
2.4.5	Selección de muestra	30
2.5	Localización del Trabajo de Integración Curricular	30
2.6	Desarrollo Experimental	32
2.6.1	Caracterización Físico – Química del agua residual de la Etapa de Curtido	32
2.6.2	Dimensionamiento y metodología para el proceso de Electrocoagulación	32
1.2.3.1	<i>Dimensionamiento del reactor de electrocoagulación</i>	32
2.6.2.1.1	<i>Volumen del reactor de prueba</i>	32
2.6.2.1.2	<i>Cálculo del área de los electrodos</i>	33
2.6.2.1.3	<i>Volumen de los electrodos sumergidos en la celda pruebas</i>	33
2.6.2.1.4	<i>Volumen del fluido ocupado en fase de prueba</i>	34
2.6.2.1.5	<i>Metodología para el proceso de electrocoagulación</i>	35
2.6.3	Precipitación	36
CAPÍTULO III		
3	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1	Resultados y Discusión	38
3.1.1	Resultados del análisis físico – químico del agua proveniente del curtido	38
3.1.2	Resultados del Método de Electrocoagulación	40
3.1.2.1	<i>Construcción del reactor de electrocoagulación</i>	40
3.1.2.2	<i>Control del Voltaje y Densidad de Corriente</i>	41
3.1.2.3	<i>Variación de pesos en las placas</i>	41
3.1.2.4	<i>Análisis Físico del agua tratada de la Etapa de Curtido</i>	45

3.1.2.5	<i>Remoción de Cromo (III) mediante el método de Electrocoagulación.....</i>	45
3.1.2.6	<i>Análisis Estadístico de la Recuperación de Cromo (III)</i>	47
3.1.3	<i>Resultados del Método de Precipitación.....</i>	48
3.1.3.1	<i>Volúmenes del Precipitado de los diferentes tratamientos.....</i>	48
3.1.3.2	<i>pH del Precipitado en los diferentes tratamientos.....</i>	50
3.1.3.3	<i>Remoción de Cromo (III) mediante el método de Precipitación</i>	50
3.1.3.4	<i>Análisis Estadístico de la Recuperación de Cromo (III)</i>	52
3.2	<i>Análisis de las hipótesis</i>	53
3.2.1	<i>Hipótesis 1</i>	53
3.2.2	<i>Hipótesis 2</i>	54
3.2.3	<i>Hipótesis 3</i>	54
3.2.4	<i>Hipótesis 4</i>	54
	CONCLUSIONES.....	54
	RECOMENDACIONES.....	56
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Rango de las variables de las operaciones de pelambre	9
Tabla 2-1: Rango de las variables de los parámetros del desencalado y purga.....	10
Tabla 3-1: Rango de las variables de los parámetros de piquelado	11
Tabla 4-1: Rango de las variables del curtido con cromo	12
Tabla 5-1: Insumos químicos utilizados en la etapa de curtido	12
Tabla 1-2: Operacionalización de Variables	27
Tabla 2-2: Matriz de consistencia	28
Tabla 3-2: Parámetros Físico – Químico del agua residual	32
Tabla 4-2: Proceso experimental con diferentes voltajes.....	35
Tabla 5-2: Proceso experimental con las tres concentraciones	36
Tabla 1-3: Análisis Físico del agua residual de curtido	38
Tabla 2-3: Análisis Químico del agua residual de curtido	38
Tabla 3-3: Análisis Físico del agua residual de curtido	38
Tabla 4-3: Límites de descarga al Sistema de Alcantarillado público	39
Tabla 5-3: Control de Voltaje y Densidad de corriente	41
Tabla 6-3: Variación de pesos en placas de 5 voltios y Densidad de corriente 38.29 A/m ²	42
Tabla 7-3: Variación de pesos en placas de 10 voltios y Densidad de corriente 93.01 A/m ² ..	42
Tabla 8-3: Variación de pesos en placas de 15 voltios y Densidad de corriente 127.23 A/m ²	43
Tabla 9-3: Análisis Físico del agua tratada.....	45
Tabla 10-3: Datos del Análisis Químico del agua residual.....	45
Tabla 11-3: Datos del Porcentaje de Remoción de Cromo (III)	46
Tabla 12-3: Análisis de Varianza para la Remoción de Cromo (III)	47
Tabla 13-3: Volumen del Precipitado	49
Tabla 14-3: Datos del Análisis Químico del agua residual.....	50
Tabla 15-3: Datos del Porcentaje de Remoción de Cromo (III)	51
Tabla 16-3: Datos del Porcentaje de Remoción de Cromo (III)	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Capas de la Piel.....	6
Figura 2-1: Diagrama del proceso de curtido	8
Figura 3-1: Esquema de un proceso de electrocoagulación en una celda electrolítica	17
Figura 4-1: Procesos presentes en el reactor electrolítico.....	18
Figura 5-1: Electrodisolución del metal del ánodo	19
Figura 6-1: Tipos de reactores de electrocoagulación	21
Figura 7-1: Diagrama Eh – pH para especies de solución de cromo en solución acuosa	23
Figura 8-1: Solubilidad de los cationes metálicos	25
Figura 1-2: Localización geográfica de las instalaciones Tenería Díaz.....	31
Figura 2-2: Localización geográfica del Laboratorio de Química Analítica, ESPOCH.....	31
Figura 1-3: Equipo para la electrocoagulación	41
Figura 2-3: Precipitado de Cromo	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Peso placas de aluminio a 5 voltios y Densidad de corriente 38.29 A/m ²	42
Gráfico 2-3: Peso placas de aluminio a 10 voltios y Densidad de corriente 93.01 A/m ²	43
Gráfico 3-3: Peso placas de aluminio a 15 voltios y Densidad de corriente 127.23 A/m ²	44
Gráfico 4-3: Análisis de Varianza del método de Electrocoagulación	48
Gráfico 5-3: Curva concentración vs pH	50
Gráfico 6-3: Análisis de Varianza del método de Precipitación	53

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIDO
- ANEXO B:** MÉTODO DE PRECIPITACIÓN A UNA CONCENTRACIÓN 4 M
- ANEXO C:** TIEMPO DE REACCIÓN PARA EL TRATAMIENTO 4 M
- ANEXO D:** MÉTODO DE PRECIPITACIÓN A UNA CONCENTRACIÓN 5 M
- ANEXO E:** MÉTODO DE PRECIPITACIÓN SIN DISOLVER
- ANEXO F:** MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN TRATAMIENTO 5 VOLTIOS
- ANEXO G:** MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN TRATAMIENTO 5 VOLTIOS
- ANEXO H:** MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN TRATAMIENTO 10 VOLTIOS
- ANEXO I:** MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN TRATAMIENTO 15 VOLTIOS
- ANEXO J:** ANÁLISIS QUÍMICO AGUA RESIDUAL DE CURTIDO LABORATORIO
- ANEXO K:** ANÁLISIS QUÍMICO CROMO (III) PRECIPITACIÓN 4 M
- ANEXO L:** ANÁLISIS QUÍMICO CROMO (III) PRECIPITACIÓN 5 M
- ANEXO M:** ANÁLISIS QUÍMICO CROMO (III) PRECIPITACIÓN SIN DISOLVER
- ANEXO N:** ANÁLISIS QUÍMICO ELECTROCOAGULACIÓN 5 VOLTIOS
- ANEXO O:** ANÁLISIS QUÍMICO ELECTROCOAGULACIÓN 10 VOLTIOS
- ANEXO P:** ANÁLISIS QUÍMICO ELECTROCOAGULACIÓN 15 VOLTIOS

RESUMEN

El objetivo de la siguiente investigación fue recuperar el Cromo (III) mediante los métodos de electrocoagulación y precipitación en la empresa Tenería Díaz, utilizando el agua residual de la etapa de curtido, previamente se realizó un análisis físico – químico antes de que el efluente se lo utilice en cada uno de los métodos propuestos. Se realizó una comparación de los análisis físico – químico obtenidos en base a la Normativa TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Tabla 11: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, se procedió a la realización del método de electrocoagulación, mediante la aplicación de tres tratamientos a 5, 10 y 15 voltios en un tiempo de 15 minutos respectivamente, la espuma que se produjo se la recolectó en envases, los cuales fueron llevados a su respectivo análisis que es la recuperación de Cromo (III), la precipitación se la realizó con Hidróxido de Sodio (NaOH) a distintas concentraciones 4 M, 5 M y sin disolver dejando en reposo por 24 horas cada uno, el precipitado se lo analizó para determinar su respectiva recuperación. Como resultado de lo realizado, la precipitación al no ser disuelta arrojó un porcentaje del 99.7% mayor a la electrocoagulación, este tipo de comportamiento se produce debido al potencial químico, al ser mayor su concentración de NaOH por lo tanto será mayor el precipitado. Se puede concluir que el método de precipitación es el más óptimo para este tipo de tratamientos. Se recomienda la utilización del método de precipitación ya que es un método que proporciona un alto porcentaje de recuperación de Cromo (III).

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <PROCESO INDUSTRIAL>, <INDUSTRIA DEL CUERO>, <CURTIEMBRE>, <CROMO>, <ELECTROCOAGULACIÓN>, <PRECIPITACIÓN>.



Escanea el código QR para acceder al documento.
ELIZABETH
FERNANDA AREVALO
MEDINA



0459-DBRAI-UPT-2020

SUMMARY

The objective of this research was to recover Chromium (III) by means of electrocoagulation and precipitation methods in the company Tenería Díaz. Using the residual water from the tanning stage, a physical-chemical analysis was previously carried out before the effluent was used in each of the proposed methods. A comparison was made of the physical-chemical analysis obtained based on the TULSMA Regulation. Book VI, Annex 1, Standard of environmental quality and discharge of effluents to the water resource. Table 11: Discharge limits to the public sewer system. The electrocoagulation method was carried out, by applying three treatments at 5, 10 and 15 volts in a time of 15 minutes respectively, the foam that was produced was collected in containers, which were taken to their respective analysis, which is the recovery of Chromium (III). A precipitation was carried out with Sodium Hydroxide (NaOH) at different concentrations 4 M, 5 M and undissolved, leaving in resting for 24 hours each, the precipitate was analysed to determine its respective recovery. As a result of what was done, the precipitation, not being dissolved, gave a percentage of 99.7% higher than the electrocoagulation, this type of behaviour occurs due to the chemical potential, as its concentration of NaOH is higher, therefore the precipitate will be higher. It can be concluded that the precipitation method is the optimal one for this type of treatment. The use of the precipitation method is recommended since it is a method that provides a high percentage of recovery of Chromium (III).

Keywords: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <PROCESSES INDUSTRIALS>, <LEATHER INDUSTRY>, <CURTIEMBRE <CROMO>, <ELECTROCOAGULACIÓN>, <PRECIPITACIÓN>

INTRODUCCIÓN

El proceso de Curtido en pieles a nivel industrial es una de las actividades con mayor apego a diferencia de otras industrias existentes, incrementado la producción de acuerdo a los estándares de calidad ya establecidos y así su respectiva comercialización tanto a nivel nacional como internacional, satisfaciendo las necesidades de cada cliente. Ecuador busca innovar el cuero con el uso de tecnologías en diferentes equipos para la obtención de un cuero de calidad, en el año, el 40% de las reses de los camales están destinadas a la elaboración de cueros, según la Asociación Nacional de Curtidores del Ecuador (ANCE) dice que existen 70 empresas y 300 establecimientos artesanales dedicados a la industria de la curtiembre, en el Ecuador la ciudad de Ambato ubicada en la provincia de Tungurahua se caracteriza por ser la ciudad con mayor cantidad de industrias dedicadas a la confección de productos con cuero tanto de manera formal e informal desarrollado nuevas alternativas sustentables como económicas, productivas y ambientales (Salinas, 2014., pp. 17-23).

La empresa Tenería Díaz es una de las tantas empresas dedicadas a esta actividad industrial, se encuentra ubicada en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, vía a Macasto, durante 29 años se ha dedicado a la elaboración de cuero de pieles, la empresa está comprometida con el desarrollo investigativo y experimental en el campo de dicha producción, para implementar herramientas que ayuden a la disminución de recursos sabiendo que las industrias dedicadas a estas actividades generan un alto consumo de agua y a su vez un alto impacto con el ambiente debido a las sustancias que se utilizan en cada uno de los procesos, estas pueden ser orgánicas como inorgánicas las cuales se encuentra presentes en el efluente, usualmente en efluentes de la etapa de curtido se encuentra en mayor concentración el Cromo³⁺ y Cromo⁶⁺ generando niveles de toxicidad alto (Zurita, 2016., pp. 27-29).

El Cromo es un metal pesado, que se lo encuentra de forma trivalente Cr³⁺ donde su estado de oxidación es más estable y hexavalente Cr⁶⁺ como agente de oxidación fuerte, el Cromo (III) se lo utiliza en la etapa de curtido de pieles, mediante un proceso de oxidación el Cr⁶⁺ se reduce a Cr³⁺, esta transformación puede suceder de manera más rápida en ambientes ácidos.

La recuperación de Cromo (III) es muy importante desde el punto de vista tanto ambiental como económico, con esto se evitaría la contaminación de ríos, generando un ahorro en la empresa, recuperando el cromo ya mencionado evitando así que se produzca Cromo hexavalente al entrar

en contacto con agentes oxidantes como aguas grises o negras favoreciendo así a la empresa menos contaminación y una producción de calidad, finalmente por estas razones en esta investigación se ha propuesto dos métodos de recuperación de Cromo (III) los cuales son la electrocoagulación que consiste en la eliminación de ciertos componentes presentes en el agua utilizando electricidad, mientras que el método de precipitación es donde permite la extracción de iones solubles de los metales siendo recuperados con la ayuda de un hidróxido metálico, determinado así cual método será el más indicado para su recuperación (Molina et al., 2010: pp.83-87).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El curtido de las pieles es uno de los procesos más antiguos en la historia de la humanidad, su origen comienza cuando se empezaron a utilizar las pieles de los grandes mamíferos para protegerse de las inclemencias del tiempo, estas pieles no eran sometidas a tratamientos que eviten el deterioro de las mismas con más rapidez, desprendiendo malos olores y hasta provocando ciertas infecciones, dados estos aspectos negativos en las pieles, nuestros antepasados empezaron a buscar formas para detener este proceso natural.

Una curtiembre se encarga de transformar la piel animal en cuero y a la vez cumple con los parámetros establecidos para la elaboración del cuero, trabajando con procesos comunes o cotidianos obteniendo cueros con propiedades comunes cumpliendo las necesidades del cliente. Tenería Díaz, es una curtiembre de la ciudad de Ambato, Tungurahua. Una de las etapas de este proceso de curtiembre es la etapa de curtido, en esta etapa se realiza el tratamiento con cromo en las pieles para que esta se transforme evitando su descomposición por la incorporación de cromo en la piel, los altos niveles de cromo que genera esta empresa provocan efectos negativos en la descarga de los efluentes, el suelo y aguas subterráneas. Las curtiembres son industrias que presentan un alto porcentaje de utilización de sal de cromo en la etapa de curtido.

En la actualidad las diferentes curtiembres buscan alternativas que estén enfocadas a la disminución del impacto ambiental y en la salud humana, debido que en la búsqueda de una industrialización más productiva esta debe cumplir con ciertos aspectos que hagan que tenga un equilibrio con el ecosistema en el que se desarrolla.

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la industria de la curtiembre en el Ecuador se puede decir que está en una etapa inicial por ello es importante el desarrollo de investigaciones que provean los elementos e información necesaria para que esta logre posicionarse como una actividad representativa dentro de la productividad del país.

El tratamiento o recuperación del Cromo (III) en la etapa de curtido en el proceso de curtiembre dará como resultado una investigación con valores propios para la implementación de un método por parte de la empresa, así también generará interés investigativo por parte de estudiantes y personal científico interesado en este tipo de temas, proporcionará el interés por parte de los estudiantes. Además, dicha investigación se justifica, porque dentro del Ecuador, la región Sierra y en especial la provincia de Tungurahua lideran la escala en industrias de Curtiembre, y es necesario considerar valores reales propios para el tratamiento o recuperación de ciertos reactivos en la etapa de curtido del proceso de curtiembre con el propósito de dar cumplimiento a los requerimientos ambientales que lleven a la empresa a posicionar dentro de la región y el país.

Los beneficiarios directos con este proyecto de investigación serán la industria de curtiembre “Tenería Díaz” encaminada en el posicionamiento dentro de la región y la producción de cueros de calidad.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Recuperar Cromo (III) mediante los métodos de electrocoagulación y precipitación en la empresa Tenería Díaz.

Objetivos Específicos:

- Analizar los parámetros físico - químico de las aguas provenientes del proceso de curtido con las que se procederá a la realización de ensayos.
- Determinar el porcentaje de cromo recuperado de las aguas residuales de la etapa de curtido.
- Identificar el método más óptimo que permita la recuperación de cromo (III) en la etapa de curtido en el proceso de curtiembre.

HIPÓTESIS:

Hipótesis General:

- Mediante la aplicación de métodos de electrocoagulación y precipitación se puede recuperar el cromo proveniente del curtido del proceso de curtiembre.

Hipótesis Específicas:

- El análisis de agua permite realizar un estudio de las propiedades físico - químicas como su potencial de hidrógeno (pH), DBO, DQO, cromo hexavalente y conductividad cumpliendo los parámetros ambientales.
- El porcentaje de cromo recuperado influye en la reutilización en la etapa de curtido.
- El método más óptimo para la recuperación de cromo es el de precipitación química.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes de la investigación

La empresa Tenería Díaz Cía. Ltda., se encuentra ubicada en la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, en las calles el Pisque entrada a Macasto – Panamericana norte km.6, Tenería Díaz se dedica a las actividades de descarnadura, tundido, depilado, engrase, curtido, blanqueo, teñido, adobo de pieles, cueros de pieles finas y cueros con pelo, durante 29 años se ha dedicado al proceso de producción y comercialización de cueros para calzado y vestimenta.

Para la obtención de los cueros debe pasar una serie de procesos, uno de ellos, es el proceso de curtido el cual su principal efluente contiene una gran cantidad de cromo trivalente en las aguas residuales del proceso de curtido de pieles (Sánchez y Andrade, 2017, p.1).

La industria de la curtiembre se dedica a procesar pieles de animales para transformarlas por medio de agentes químicos en un producto inalterable e imputrescible en el tiempo, conocido como cuero. Es uno de los sistemas de producción que genera un efluente que causa un serio problema sobre el ambiente, debido a la cantidad de reactivos químicos que emplea y la elevada cantidad de agua que descarga. Los vertidos de las tenerías a gran escala pudieran clasificarse en efluentes provenientes de los procesos de pelambre, curtido con cromo y teñido (Pire et al., 2010: p.2).

En una investigación realizada en el Distrito Metropolitano de Quito para la recuperación cromo mediante el método de electrocoagulación de las aguas residuales de curtido producidas a nivel industrial con datos de Cromo de 6000 mg/l y datos de DQO de 10000 con tiempos para cada ensayo de 15, 30, 45 minutos en una celda de 8 L y electrodos de Fe-Al, se consiguió disminuir el 21,9 % de la concentración de cromo (Romero, 2015, pp. 110-128).

En un estudio realizado con soluciones sintéticas y efluentes se determinó la inhibición del proceso de precipitación del cromo trivalente por la presencia de otros contaminantes en el agua problema. Se estudió la posibilidad de acelerar el proceso de sedimentación mediante la incorporación de módulos laminares y con adición de polímeros. La recuperación del cromo para su reúso en el proceso de curtido se llevó a cabo mediante la acidificación de los precipitados comprimidos con H₂SO₄. Además de la remoción de cromo, el tratamiento del agua residual por

un proceso de precipitación y sedimentación se logra la remoción del 50% de la demanda química de oxígeno (DQO). También se remueven los sólidos suspendidos totales (SST) al 80% con los hidróxidos y al 45% con el carbonato de sodio. La separación del precipitado por sedimentación puede acelerarse mediante la implementación de módulos laminares, lo cual permite aumentar casi dos veces la velocidad de sedimentación (Mijaylova et al., 2003: pp.21-37).

Las industrias del curtido generan grandes cantidades de agua residual con altas cantidades de material orgánico, sólidos, sales, grasas y ciertos contaminantes que afectan al ambiente, tales como cromo, sulfuros y amoníaco, la ayuda de estas investigaciones nos brinda un gran aporte investigativo, ya que nos permite determinar en sí cual metodología es la apropiada, obteniendo la eficiencia más alta de recuperación de cromo contenido en la etapa de curtido.

1.2 Marco conceptual

1.2.1 Preparación de la piel

La piel debe llegar a la Tenería en buen estado de conservación. Si el transporte desde el matadero a la tenería no es inmediato, hay que evitar la putrefacción desecándola hasta el 10-15% de humedad bien por exposición al sol y al aire, seco bien por impregnación en salmuera. Modernamente se usa la refrigeración con hielo molido o en cámaras, que permiten conservarla por varias semanas. Este tratamiento previene el deterioro de la flor, que disminuiría la calidad del cuero (Ortuño, 2006).

La piel consta de tres capas: epidermis, dermis y capa subcutánea

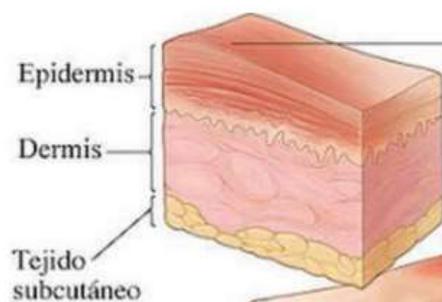


Figura 1-1: Capas de la Piel

Fuente: Moreno de Fuente, 2009

1.2.2 Curtido de pieles

El proceso que sufre la piel de diversos animales tales como bovinos y ovinos son procesados en la etapa de curtido convirtiendo sus pieles en cuero. El curtido de la piel se lo realiza mediante procesos mecánicos y químicos, la principal operación para este proceso es que los materiales orgánicos e inorgánicos se enlazan a la estructura proteínica de la piel y la preservan de cualquier daño que pueda sufrir la misma. El proceso de curtido proporciona a la estructura proteica una capa de protección en el cuero creando enlaces en las cadenas peptídicas (Altamirano, 2019, p. 7).

(Germillac, 2002) cita tomada de la tesis (Altamirano, 2019, p.7) menciona que:

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”.

1.2.3 Proceso de producción del cuero

Las operaciones y procesos de producción del cuero se agrupan en tres etapas importantes que son: ribera, curtido y terminado o acabados, en los diferentes tipos de piel existen diferentes tipos de cambios obteniendo a su vez características propias para conseguir el cuero. Las sub-etapas de este proceso como la ribera y curtido se realizan en contenedores cilíndricos de madera, en estos contenedores se colocan los cueros, el agua y los reactivos químicos (Tayupanda, 2010, pp. 15).

El proceso de curtido de las pieles se da en unos reactores conocidos como Bombos estos están conectados a motores que ayudan a su funcionamiento (Rotación), esta rotación sirve para que las pieles se compacten uniformemente con las soluciones que ayudan a su proceso de curtido, el cuero de mejor calidad depende de la cantidad y homogeneidad del cromo a utilizar. En este proceso se utiliza un exceso de cromo para que la proteína se fije en la piel y así evitar la descomposición de la misma (Altamirano, 2019, p.8).

El 80 % de los cueros son curtidos mediante un proceso en el cual la piel sufre diversos cambios con la utilización del cromo, colocando soluciones ácidas y poder mantener una estabilidad en el pH, las sales de cromo como sulfato básico de cromo o sulfato de cromo, es un proceso que no necesita de mucho tiempo donde los cueros salen de color azul claro, conocido como “azul húmedo o wet blue” (Altamirano, 2019, p. 8).

1.2.3.1 Proceso de curtido

A continuación en el siguiente diagrama se muestra el proceso de curtido:

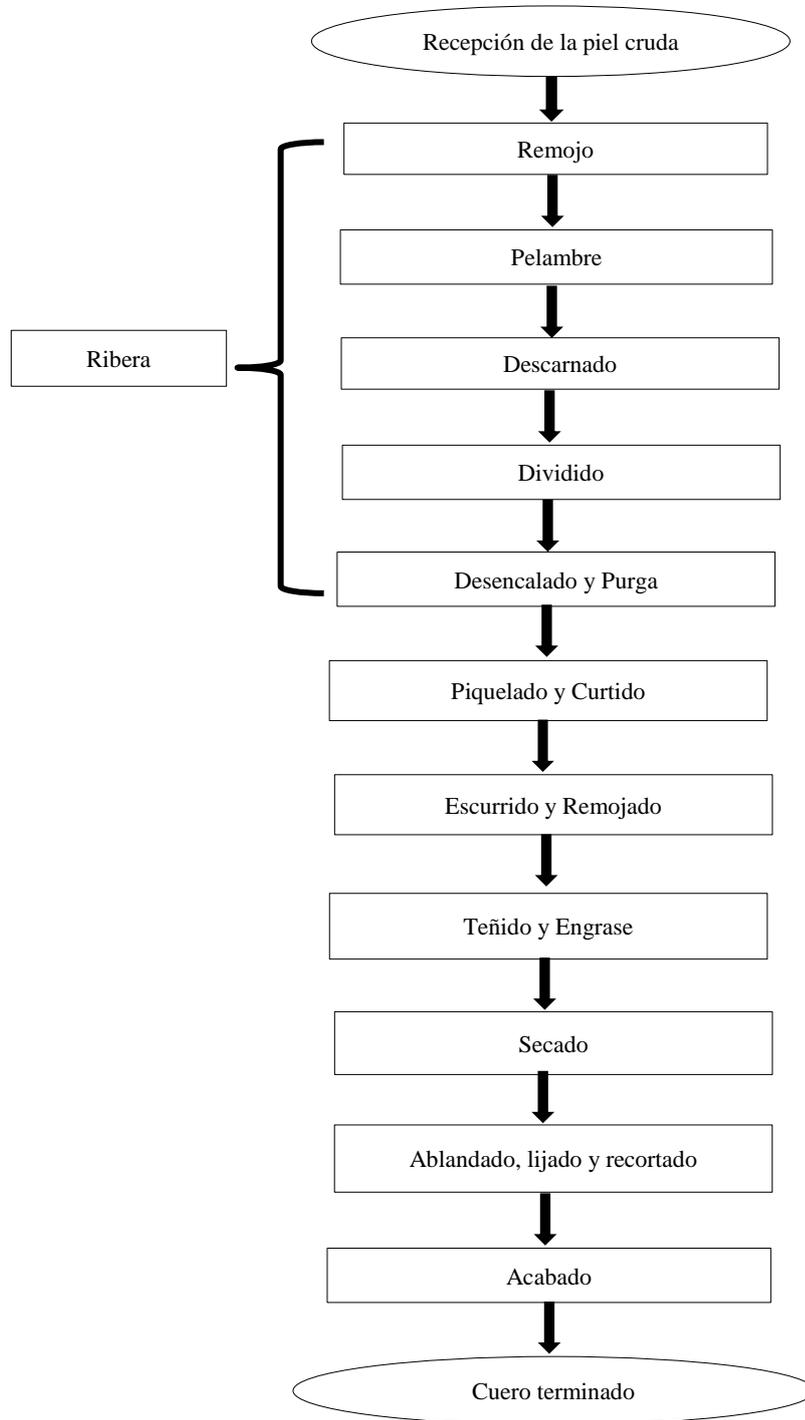


Figura 2-1: Diagrama del proceso de curtido

Realizado por: Cobo Patricia. 2020

1.2.3.2 Etapa de Ribera

Conjunto de operaciones mecánicas y procesos químicos que aportan a la limpieza de las pieles, para este proceso es necesario la utilización del compuesto químico sulfuro de sodio (Na_2S) y cal (CaO) para eliminar la dermis y el pelo, permitiendo la absorción de los materiales curtientes, regulando su nivel de humedad. Esta etapa consta de subprocesos, los cuales son (Altamirano, 2019., pp 9-10).

1.2.3.3 Remojo

De la piel se eliminan las impurezas mediante la utilización del agua, agentes humectantes, sustancias como de hidróxido de sodio (NaOH), agentes desinfectantes como el hipoclorito de sodio (NaClO), agentes tensoactivos, y preparaciones enzimáticas.

1.2.3.4 Pelambre

Se hidratan las pieles con la ayuda de hidróxido de sodio (NaOH) y tensoactivos, se elimina el pelo y la epidermis que se encuentra impregnado en las pieles mediante la utilización de sustancias químicas las cuales son el sulfuro de sodio (Na_2S) y la cal (CaO) obteniendo un pH superior a 12, las soluciones enzimáticas producen el desdoblamiento de las fibras de la piel (Altamirano, 2019., pp. 9-10).

Tabla 1-1: Rango de las variables de las operaciones de pelambre

INSUMO	VALORES EN CURTIEMBRES SEGÚN BIBLIOGRAFÍA ²
% de agua para pelambre	150 – 300 (incluye lavados)
% de agua para lavado de pelambre	n.d.
% de sulfuro de sodio	1 – 5
% de sulfuro ácido de sodio	1
% cal apagada	3 – 6
% enzimas	0.5 – 1
% aminos	0.2 – 1

Fuente: GUÍA TÉCNICA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA CURTIEMBRES

Realizado por: Cobo Patricia. 2020

1.2.3.5 *Desencalado*

Proceso donde la piel es lavada 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.

1.2.3.6 *Descarnado*

La grasa natural y tejido son removidos con la utilización de máquinas que son específicas para este proceso, donde se puede determinar el grosor de la piel una vez culminado el proceso. En este proceso se utilizan máquinas con rodillos para dividir y remover la carnaza del resto de la piel. Este residuo de carnaza se lo utiliza como materia prima para elaboración de gelatinas (Altamirano, 2019, p. 9).

1.2.3.7 *Desengrase*

Proceso en el cual se utiliza Tenso activos para eliminar las grasas naturales.

1.2.3.8 *Purga Enzimática*

En este proceso se forman enzimas proteolíticas, como la tripsina para limpiar los poros de la piel, el cloruro de amonio (NH_4Cl) se encarga de eliminar las proteínas que no forman una estructura adecuada, mejorando así la textura de las pieles.

Tabla 2-1: Rango de las variables de los parámetros del desencalado y purga

INSUMO	VALORES EN CURTIEMBRES SEGÚN BIBLIOGRAFÍA ³
% de agua	200
% de sulfato o cloruro de amonio	2 – 3
% de bisulfito de sodio	n.d.
% enzimas	n.d.
% ácidos orgánicos débiles	n.d.

Fuente: GUÍA TÉCNICA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA CURTIEMBRES

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

1.2.3.9 Etapa de Piquelado

Este proceso prepara a la piel químicamente con la finalidad de acidular, utilizando sustancias con pH ácidos como el ácido fórmico y el ácido sulfúrico, realizando un tratamiento con sal y ácido donde la piel se regula a un valor de pH de $< 3,8$, esta etapa también se la puede emplear como método de conservación o almacenamiento.

Tabla 3-1: Rango de las variables de los parámetros de piquelado

INSUMO	VALORES EN CURTIEMBRES SEGÚN BIBLIOGRAFÍA ⁴
% de agua	40 – 60
% de sal	5 – 6
% de ácido fórmico /acético / sulfúrico	0.5 – 3
% de fungicida	0.2
Ph	2.8 – 3

Fuente: GUÍA TÉCNICA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA CURTIEMBRES

Realizado por: Cobo, Patricia, 2020

1.2.3.10 Etapa de Curtido

En esta etapa el curtido de pieles reacciona a productos químicos, dando así una estabilidad orgánica (estabiliza el colágeno en la piel) para evitar la descomposición y putrefacción de la misma. Las sales de cromo son las más utilizadas en esta etapa como el sulfato de cromo ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$) o sulfato básico de cromo ($\text{Cr}_2(\text{OH})(\text{SO}_4)_3$), donde estas sales generan un efluente con pH bajo al final de esta etapa. Los curtidos minerales emplean diferentes tipos de sales de cromo trivalente (Cr^{+3}) en proporciones variadas.

Los procesos de desencalado, desengrase y purga ayudan a desintegrar la cal que está presente en la piel, el consumo de agua se lo realiza en cantidades pequeñas para la etapa de ribera obteniendo así un pH neutro en el efluente, en los procesos finales el consumo de agua es menor; el piquelado en una solución salina y ácido ayuda a la preparación de la piel para el curtido con agentes vegetales o minerales. Al final de esta etapa se tiene el conocido "wet blue", que es clasificado según su grosor y calidad para su proceso de acabado (Moreno de la Fuente, 2009, p.65).

Tabla 4-1: Rango de las variables del curtido con cromo

INSUMO	VALORES EN CURTIEMBRES SEGÚN BIBLIOGRAFÍA⁶
% de agua	40 – 60
% de sal de cromo	8 – 12
% de basificante	0.8 – 1.2
% de agente enmascarante	0.5 – 1
% de fungicida	0.1
Ph	3.8 – 4.2
Temperatura (°C)	35 – 40

Fuente: GUÍA TÉCNICA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA CURTIEMBRES

Realizado por: Cobo, Patricia, 2020

- **Curtido mineral**

Se aplica cuando se desea obtener cueros finos y muy flexibles, suaves y calibre delgado para la fabricación de calzado. Dentro de los curtientes minerales que más utilizan están los productos fabricados basándose en cromo, siendo el principal el sulfato básico de cromo III (Jordán, 2011, pp. 10).

Las pieles tratadas con sales de cromo trivalente representan un alto impacto para el medio ambiente por lo que el cromo se fija en el cuero encontrándose con porcentajes del 60 a 80% y el resto del cromo queda en el efluente líquido (Portilla, 2013, pp. 24-25).

Tabla 5-1: Insumos químicos utilizados en la etapa de curtido

ETAPA	PRODUCTO QUÍMICO
CURTIDO	Ácido Fórmico
	Ácido Sulfúrico
	Bicarbonato de Sodio
	Bisulfito de Sodio
	Cloruro de Sodio
	Croapon, enzilon (productos enzimáticos)
	Delgras (Productos desengrasantes)
	Formiato de sodio
	Sintatos
	Solventes

	Sulfato de amonio
	Sulfato de cromo
	Tensoactivos

Fuente: PORTILLA, 2013

Realizado por: Cobo, Patricia, 2020

- **Curtido vegetal**

El curtido vegetal es uno de los procesos que se realiza desde la antigüedad, produciendo un cuero grueso resistente y muy poco flexible, este tipo de cuero se lo utiliza para la elaboración de diferentes tipos de calzado, se emplean distintos tipos de sustancias que son provenientes de árboles y arbustos conocidos como taninos orgánicos, este tipo de sustancias son extraídas principalmente de la acacia, roble, castaño y el quebracho. Los taninos son sustancias que reaccionan con las proteínas de colágeno permitiendo la unión de las moléculas de colágeno con la piel entre sí, brindando gran resistencia a la piel (Portilla, 2013, pp. 24-25).

1.2.3.11 *Ecurrido y Rebajado*

Este proceso se lo realiza de forma mecánica ya que permite retirar el exceso de humedad que procede del curtido, dándole un acabado uniforme.

1.2.3.12 *Engrase*

En este proceso el cuero adopta suavidad, los cueros curtidos con cromo al ser secados y no ser sometidos al engrase se vuelven frágil y duro. El engrase influye en las propiedades mecánicas dándole al cuero impermeabilidad y mayor resistencia al agua, mediante la utilización de aceites, grasas, tensoactivos, lacas, etc.

1.2.3.13 *Acabado*

Una vez culminada la etapa de acabado se puede observar que la apariencia del cuero se encuentra totalmente mejorada con la utilización de pinturas y lacas, provocando que su valor comercial aumente.

1.2.4 Cromo

El cromo, es un elemento químico con número atómico 24 y peso atómico de 52.0, pertenece al grupo VI B de la tabla periódica. El cromo elemental es un metal gris, brillante y extremadamente resistente a los agentes corrosivos. A pesar de haber sido identificado más de 40 minerales que contienen cromo, y de ser el séptimo elemento más abundante en la Tierra, está solo en pequeñas cantidades en la corteza terrestre (Pereira, 2012, p. 8). El cromo se encuentra en el ambiente con valencias de 2+ a 6+. Sin embargo, existe generalmente como cromo metálico, ion crómico, Cr trivalente, Cr hexavalente, el más estable es el Cr trivalente (Abril, 2016, p. 8).

1.2.4.1 Usos y propiedades del Cromo

El cromo se encuentra presente en las rocas, animales y plantas, toma diferentes formas o estados líquido, sólido y gas, el cromo (III) y (VI) se utiliza en el cromado, colorantes y pigmentos, preservación de la madera en cantidades pequeñas, barreras para la exportación de petróleo, inhibidores de corrosión, en la industria textil y en especial en el curtido de pieles, transformado la piel en cuero remendándolas con sales de cromo (III) hasta conseguir un producto con las características de resistencia, flexibilidad y capaz de resistir a una acción destructora por agentes patógenos de la naturaleza.

Los metales de transición o elementos de transición al que pertenece el cromo presenta propiedades de tipo metálico con una elevada dureza, su punto de ebullición es de 2671° Celsius o grados centígrados, su punto de fusión 1907 Celsius o grados centígrados, es buen conductor de la electricidad y el calor (Altamirano, 2005., pp. 14-15).

1.2.4.2 Contaminación ambiental del cromo

Los niveles de cromo en el aire son bajos y no permanecen mucho tiempo en el mismo, mediante un proceso natural el Cromo (III) y (VI) terminan en el agua y el suelo, las curtiembres son actividades industriales que incrementan la concentración de Cromo (III) en el agua.

El Cromo (III) en el suelo es inmóvil debido a su capacidad de adsorción, la concentración de cromo en el suelo aumenta la contaminación afectando a los cultivos, la acidificación del suelo influye en la captación de cromo para los cultivos donde las plantas absorben solo Cromo (III), este Cromo puede ser útil en pequeñas cantidades pero si excede su cantidad se producen efectos negativos.

Al cromo se lo puede detectar en las aguas residuales que son producidas en su gran mayoría por procesos industriales. La toxicidad de este elemento que es el cromo dependerá del estado de oxidación y su concentración, siendo de especial importancia la eliminación de cromo hexavalente presente en los sistemas acuosos, por su reconocido carácter cancerígeno (Tavares, 2015).

1.2.5 Parámetros Físico – Químicos del agua residual

El análisis de aguas residuales permite la determinación de la contaminación del ambiente, en especial del agua y del aire que son generados por procesos industriales o biológicos, este análisis cumple parámetros que son establecidos por una normativa ambiental, los parámetros de mayor importancia para el control de aguas residuales son los siguientes:

1.2.5.1 Caudal (Q)

Cantidad de fluido que circula a través de un conducto por una unidad de tiempo, se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área determinada. Las unidades de medida dependen del sistema que se va usar, la legislación ambiental expresa en litros por segundo (Portilla, 2013, pp. 37).

1.2.5.2 Potencial de Hidrogeno (pH)

El potencial de hidrógeno mide la concentración de iones de hidrógeno existentes en el agua, es uno de los parámetros importantes dentro de la caracterización del agua.

El agua sometida a un tratamiento con pH menor a 6 ayuda al crecimiento de hongos y con un pH mayor a 6 forma nitrógeno amoniacal en estado gaseoso, el pH se encuentra entre valores del 6.5 a 8.5 favoreciendo la existencia de vida biológica (Portilla, 2013, p. 34).

1.2.5.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Cantidad de oxígeno determinada que se necesita para degradar la materia orgánica presente en el aire. Este parámetro toma un tiempo de incubación de 5 días para su determinación, a su vez se cuantifica a 20° C en un laboratorio, su unidad de medida es en ppm de O₂ que se consume, expresada en miligramos de oxígeno por litro de agua (Portilla, 2013, p. 35).

1.2.5.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable producida mediante un agente químico oxidante en un medio ácido y a altas temperaturas, este parámetro tiene un tiempo para su determinación de 3 horas, donde mide la capacidad de consumo de un oxidante químico por el total de materia oxidable tanto orgánica e inorgánica (Portilla, 2013, pp. 35).

1.2.5.5. Sólidos en Suspensión

Son partículas que se encuentran suspendidas en el agua debido al movimiento de un fluido cuantificando los niveles de impurezas, estos sólidos pueden ser de origen orgánico e inorgánico, se suelen separar por métodos de filtración o decantación (Portilla, 2013, pp. 35).

1.2.5.6. Sulfatos

Son sales moderadamente solubles a muy solubles el ión sulfato ($\text{SO}_4 =$), las altas cantidades de sulfatos en el agua es debido a un efecto laxante cuando este se combina con los componentes de calcio y magnesio, estos componentes son comunes de la dureza., con el calcio aumenta la solubilidad en el agua pura saturada de sulfatos a unas 1500 ppm (Portilla, 2013, pp. 36).

1.2.5.7. Sulfuros

Es el resultado de las condiciones sépticas durante la recolección y tratamiento de aguas residuales, producido por bacterias anaerobias durante la utilización del oxígeno (Portilla, 2013, pp. 36).

1.2.5.8. Grasas y aceites

Compuestos orgánicos formados por ácidos grasos de origen vegetal y animal son inmiscibles con el agua, permanecen en la superficie formando natas y espumas, con baja densidad y baja o nula biodegradabilidad (Portilla, 2013, pp. 36).

1.2.5.9. Cromo hexavalente

El cromo trivalente en forma de sales minerales es utilizado en el proceso de curtiembre. Este cromo trivalente se oxida a cromo hexavalente, este cromo es un metal tóxico y cancerígeno causa contaminación en las aguas superficiales y subterráneas debido a su uso en proceso industriales (Portilla, 2013, pp. 35).

1.2.6 Métodos de recuperación de cromo

1.2.6.1 Electrocoagulación

La electrocoagulación es un método electroquímico donde permite la eliminación de ciertos contaminantes que se encuentran presentes en el agua utilizando la electricidad, este método consiste en inducir una corriente eléctrica con la ayuda de placas metálicas provocando reacciones químicas que producen un desequilibrio en los contaminantes existentes.

- **Electroquímica**

La electroquímica trata sobre el 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. El proceso de elaboración de baterías, electrodeposición y la corrosión de metales son ejemplos que integran los procesos electroquímicos (Vera, 2007. pp 3-5).

$$\Delta G = - n F E \quad [1.1]$$

Dónde:

ΔG = Energía Libre de Gibbs (J)

n = Número de electrones en la reacción en equilibrio

F = Constante de Faraday (96500 C/mol)

E = Fuerza Electromotriz de la celda (V)

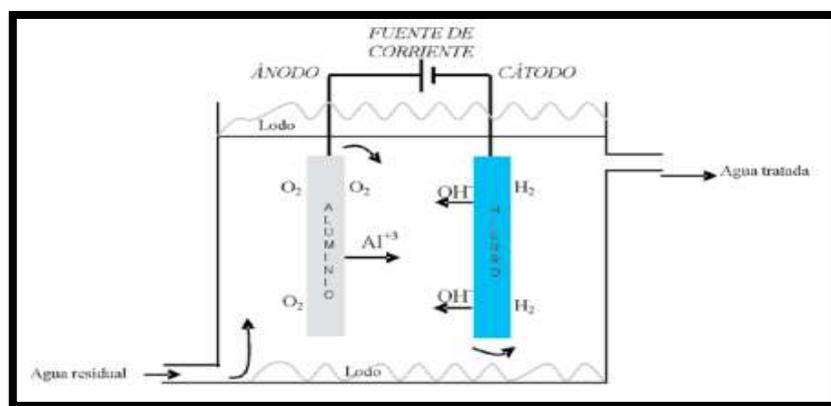


Figura 3-1: Esquema de un proceso de electrocoagulación en una celda electrolítica

Fuente: Restrepo, 2006

Las celdas electroquímicas se clasifican en:

- **Celdas electrolíticas**

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

- **Celdas galvánicas o voltaicas**

La energía liberada por medio de una reacción redox espontánea se puede usar para realizar un trabajo eléctrico (Vera, 2007, pp. 3-5).

- **Electrodos**

Son superficies conductoras que mantiene contacto con una parte no metálica de un circuito, teniendo en cuenta que se pueden realizar semi-reacciones de oxidación y de reducción, a través de los electrodos fluye la electricidad (Vera, 2007, pp. 3-7).

- **Ánodo.-** Es la carga positiva del electrodo que se dirige hacia el ánodo los iones negativos conocidos como aniones, dando lugar a la oxidación.
- **Cátodo.-** Electrodo con carga negativa, hacia el cátodo se dirigen los iones positivos conocidos como cationes, dando lugar a la reducción.

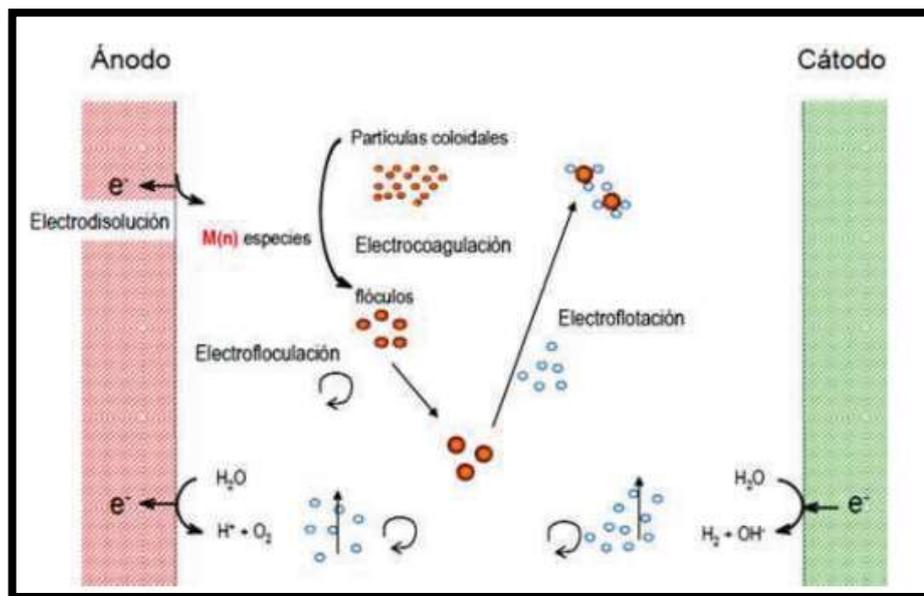


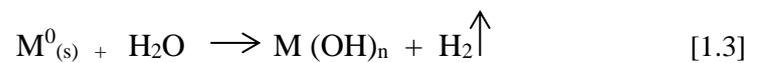
Figura 4-1: Procesos presentes en el reactor electrolítico

Fuente: 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).



- **Reducción.-** El agua con el material del cátodo producen una reacción química formando el hidróxido del metal o hidrógeno en forma de burbujas, las burbujas de hidrógeno ascienden y son las responsables de la formación de espuma (Romero, 2015, pp. 37-41).



Dónde:

$M^0_{(s)}$ = Electrodo metálico

Dicho metal está formado el ánodo que este sufre un proceso de electrodisolución en donde el metal con valencia positiva del ánodo se desintegra en el efluente.

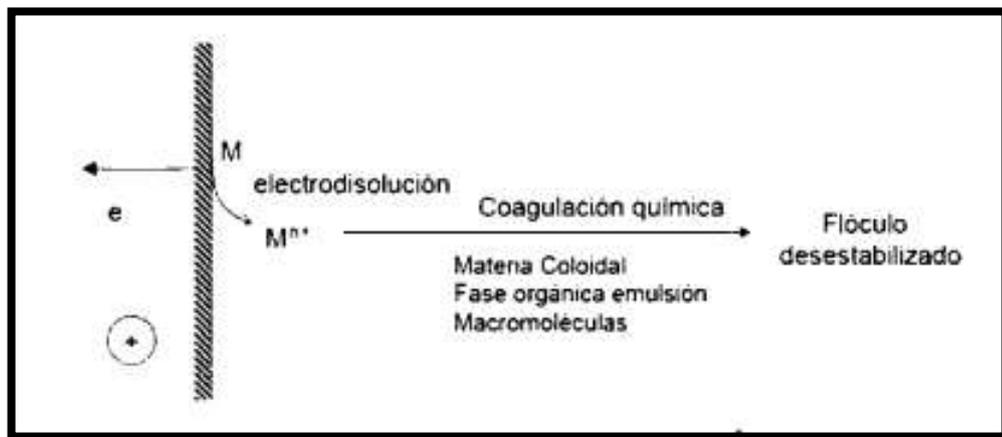


Figura 5-1: Electrodisolución del metal del ánodo

Fuente: Martínez, 2007

Tipos de electrodos

- **Electrodos Activos.-** Participan en la reacción química, estos liberan iones. Se van consumiendo a medida que se produce la reacción.
- **Electrodos Inertes.-** No participan en la reacción química. Ayudan con el soporte donde ocurre el cambio de electrones.

1.2.6.1.1 *Conducción eléctrica*

La corriente eléctrica se transporta a través de metales y de soluciones iónicas, las celdas electroquímicas se producen 2 tipos de conducción, la primera es la conducción metálica donde el flujo de electrones no produce cambios en el metal, la segunda es una conducción iónica o electrolítica esta se realiza mediante el movimiento de iones, atravesando una solución electrolítica, los iones positivos, se dirigen al electrodo negativo; mientras que los iones negativos, se transportan al electrodo positivo (Vera, 2007, pp. 5-7).

1.2.6.1.2 *Leyes de Faraday*

- **Primera Ley de Faraday**

Según (Romero, 2015) tomado de la tesis de (Altamirano, 2005., p. 20) menciona que:

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

- **Segunda Ley de Faraday**

Del mismo modo (Romero, 2015) tomado de la tesis de (Altamirano, 2005., p. 20) menciona que:

Esta ley establece que las masas de diferentes sustancias producidas por la misma cantidad de electricidad serán proporcionales a sus equivalentes químicos.

1.2.6.1.3 *Tipos de sistema de electrocoagulación*

La primera clasificación para los sistemas de electrocoagulación hace referencia al tipo de reactor empleado. Existen dos tipos de reactores: Batch o Continuo. En un reactor de tipo Batch se coloca el agua residual a tratar y se conectan los electrodos (Restrepo et al., 2006, pp. 68).

En un reactor continuo el agua residual fluye a una velocidad contratante desde un tanque elevado. La selección del sistema depende del agua residual, características y cantidades. El sistema tipo Batch es el más simple y de bajo costo en comparación con el sistema continuo (Restrepo et al., 2006, pp. 68).

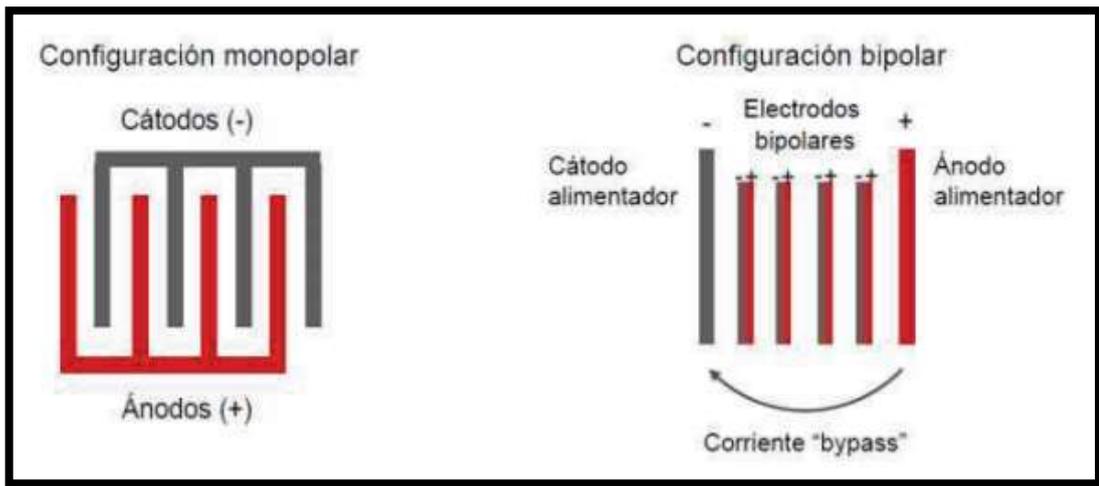


Figura 6-1: Tipos de reactores de electrocoagulación

Fuente: Martínez, 2007

1.2.6.1.4 Factores que influyen en el proceso

Algunos de los factores que se utilizan en los procesos electroquímicos son:

a) Densidad de corriente

La densidad de corriente en el sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{+3} o hierro Fe^{+2} liberados por los electrodos, cuando se usa una corriente demasiado alta, existe una transformación de energía eléctrica en energía calórica que calienta el agua, una densidad de corriente demasiado alta produciría una disminución significativa en la eficacia, la selección de la densidad de corriente podría realizarse teniendo en cuenta otros parámetros de operación como pH y temperatura (Arango, 2005, pp. 49-56).

$$i = \frac{I}{A} \quad [1.4]$$

Dónde:

i = Densidad de corriente (A/m^2)

I = Intensidad de corriente (A)

A = Área total de la celda (m^2)

b) Temperatura

Cabe mencionar que los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación no se ha realizado una investigación a profundidad, se determina que la eficacia en la corriente aumenta a 60°C punto donde se hace máxima, para luego decrecer. El incremento de la eficacia con la temperatura es atribuida al incremento en la actividad de destrucción de la película de óxido de aluminio de la superficie del electrodo (Arango, 2005, pp. 49-56).

c) pH

El pH influye en la disolución del metal para formar el hidróxido que permita la remoción. Si el hidróxido metálico no se forma, la coagulación no se produce. Para aguas residuales ácidas el pH sube por la formación de Hidrógeno (Arango, 2005, pp. 49-56).

1.2.6.1.5 Ventajas y desventajas de la electrocoagulación

Según (Restrepo et al., 2006, pp. 64-65) las principales ventajas y desventajas del proceso de electrocoagulación son:

Ventajas:

- Requiere de equipos simples y de fácil, operación.
- Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos.
- Los contaminantes son llevados por las burbujas a la superficie del agua tratada, para que estos sean removidos con facilidad.
- El agua tratada por electrocoagulación contiene poca cantidad de sólidos disueltos que sufren un tratamiento con sustancias químicas, disminuyendo los costos de tratamiento de estos efluentes para una reutilización.

Desventajas:

- Es necesario reponer los electrodos de sacrificio.

- Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
- El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso.

1.2.6.2 Precipitación Química

Es un método en donde permite la extracción de iones solubles de los metales y luego estos pueden ser recuperados mediante el uso de un hidróxido metálico controlando su pH. Reduce la concentración de efluentes obteniendo un sólido precipitado este sólido puede ser separado por sedimentación o filtración para ser recuperado y a su vez reutilizado.

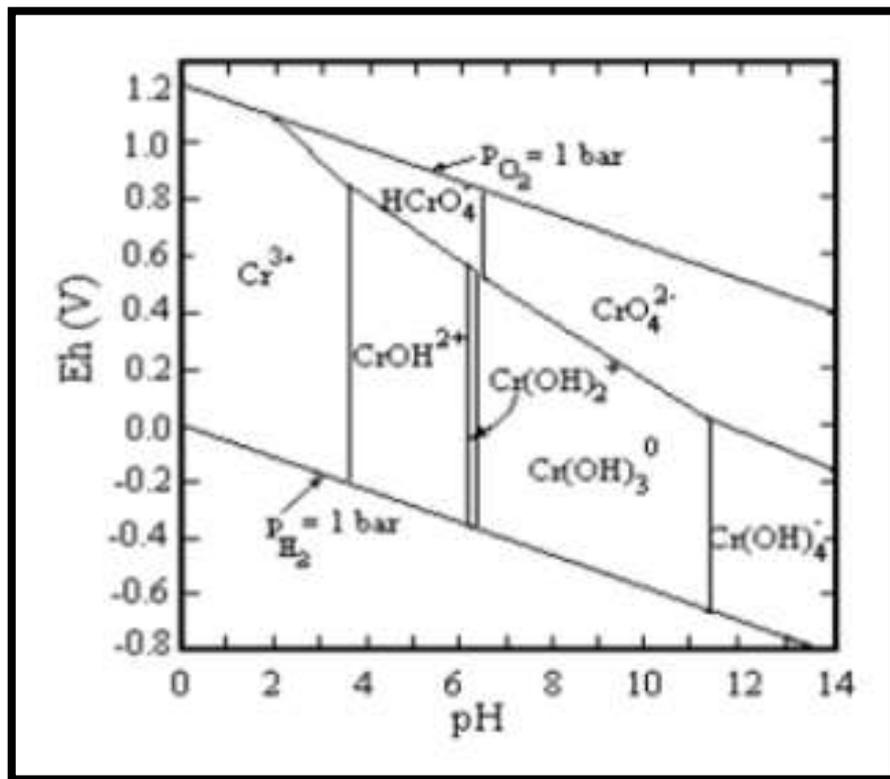


Figura 7-1: Diagrama Eh – pH para especies de solución de cromo en solución acuosa

Fuente: Quispe, A et al, 2010

Este diagrama es una gráfica de potencial redox en función del pH, donde se muestran las principales especies termodinámicamente estables para el cromo en solución.

En la Figura 6-1 se observa que a intervalos de pH entre 7 y 11, la forma predominante es $\text{Cr}(\text{OH})_3$ y la solubilidad del hidróxido es mínima, en cambio a mayores valores de pH se forma $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ aumentando la solubilidad del cromo (Quispe et al., 2010, pp. 117-122).

La reacción para precipitar el cromo en aguas residuales que proviene del proceso de curtido de pieles se representa de la siguiente forma:



En la precipitación del cromo se utiliza álcalis u otros reactivos que ayudan a elevar el pH por encima de un 6.5 para formar el hidróxido de cromo. Para evitar que se forme el $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ soluble debe estar por un pH entre 9 a 11.

El método de precipitación química puede ser el principal y único método de depuración para aguas residuales, obteniendo casi un agua liberada de sólidos en suspensión y en un estado coloidal. Se elimina del 80 al 90% de la materia total en suspensión, del 40 al 70% DBO, del 30 al 60% DQO y del 80 al 90% bacterias, eliminando fósforo y sustancias orgánicas disueltas.

El uso de la precipitación química puede representar 2 problemas frente a otros procedimientos de depuración en aguas residuales:

- a. El volumen de fangos obtenido es el más elevado que mediante los procesos biológicos y la precipitación de algunos metales pesados que se pueden encontrar disueltos en las aguas residuales producirá problemas en la estabilización de fangos mediante procesos de digestión anaerobia (Sans, R., Rivas, J, 1989. pp, 101-103).
- b. Al utilizar reactivos químicos aumentará la concentración de los componentes de dichos reactivos en las aguas residuales tratadas, lo cual puede ser un grave inconveniente si estas aguas quieren ser reutilizadas (Sans, R., Rivas, J, 1989. pp, 101-103).

1.2.6.2.1 Factores que influyen en el método de precipitación química

Los factores que influyen en la precipitación química son: pH, temperatura, tipo de agente precipitante y la solubilidad del metal.

La ecuación 1.6 representa la disociación del hidróxido metálico en sus iones, por lo tanto el producto de la solubilidad de un hidróxido metálico está dado por la reacción de equilibrio mediante la siguiente ecuación 1.7.



$$K = [Me^{x+}] [A^{-}]^x \quad [1.7]$$

Dónde:

M: Metal

A_x: Hidróxido

M^{X+}: Metal con su valencia

A⁻ : Hidróxido con su valencia

K: Constante de solubilidad

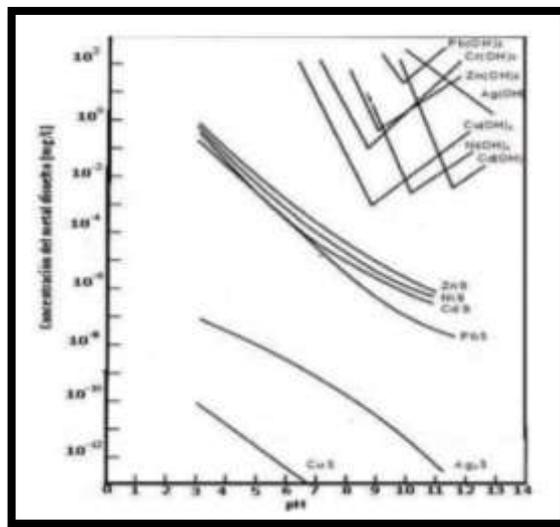


Figura 8-1: Solubilidad de los cationes metálicos

Fuente: Corbitt, 2003

La figura 7-1 presenta la solubilidad de ciertos hidróxidos metálicos como: plomo, cromo, zinc, plata, níquel y cadmio. La curva de solubilidad del cromo se observa que tiene un mínimo de un pH de 9 para disolverse, esto es debido a la formación de $Cr(OH)^4-$ (Romero, 2015., pp. 49-51).

La realización de ensayos experimentales permite determinar la cantidad necesaria de agente precipitante para obtener mejores resultados, sin que el hidróxido se vuelva a disolver por exceso del agente, esta cantidad de precipitante debe tomar en cuenta otros factores como la velocidad de mezcla y la velocidad de sedimentación (Romero, 2015., pp. 49-51).

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Especificación de las variables

2.1.1 *Variables de la hipótesis específica 1*

- Variable Dependiente: Propiedades físico – químicas
- Variable Independiente: Parámetros Ambientales

2.1.2 *Variables de la hipótesis específica 2*

- Variable Dependiente: Porcentaje de Cromo
- Variable Independiente: Reutilización

2.1.3 *Variables de la hipótesis específica 3*

- Variable Dependiente: Porcentaje de Cromo Recuperado
- Variable Independiente: Eficiencia

2.2 Operacionalidad de variables

Tabla 1-2: Operacionalización de Variables

CATEGORÍA	CONCEPTO	PROCESO	VARIABLES	UNIDAD	INDICADORES
Recuperación cromo (III) mediante los métodos de electrocoagulación y precipitación en la empresa Tenería Díaz.	Los métodos de electrocoagulación y precipitación permiten la recuperación de cromo (III) en la etapa de curtido utilizando tiempos y concentraciones diferentes.	Análisis Físico-Químico	pH	-	Iones de Hidrógeno
			DBO	mg O ₂ /L	Cantidad de oxígeno
			DQO	mg O ₂ /L	Contenido total de materia orgánica
			Sólidos totales	mg/L	Contenido total de sustancias no volátiles
		Tratamiento de efluentes por electrocoagulación	Cromo hexavalente	mg/ L	Cantidad de Cromo
			Fuente de Voltaje	Voltios	Energía
Tratamiento de efluentes por precipitación	Sales de Cromo	%	Cr ³⁺		
	Concentraciones	M	Hidróxido de Sodio		
			Sales de Cromo	%	Cr ³⁺

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

2.3 Matriz de consistencia

Tabla 2-2: Matriz de consistencia

ASPECTOS GENERALES			
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	
¿Cómo se puede recuperar Cromo (III) mediante los métodos de electrocoagulación y precipitación proveniente de la etapa de curtido?	Recuperar cromo (III) mediante los métodos de electrocoagulación y precipitación en la empresa Tenería Díaz.	Mediante la aplicación de métodos de electrocoagulación y precipitación se puede recuperar el cromo proveniente de la etapa de curtido para su posterior reutilización en la empresa Tenería Díaz.	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICAS	VARIABLES ESPECÍFICAS
¿Se puede analizar los parámetros físico-químicos de las aguas provenientes del proceso de curtido con las que se procederá a realizar los ensayos?	1.- Analizar los parámetros físico- químico de las aguas provenientes del proceso de curtido con las que se procederá a la realización de ensayos.	1.- El análisis de aguas permite realizar un estudio de las propiedades físico - químicas como su potencial de hidrógeno (pH), DBO, DQO, cromo hexavalente cumpliendo los parámetros ambientales.	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades físico – químicas • Parámetros ambientales
¿Se puede determinar el porcentaje de cromo de las aguas residuales de la etapa de curtido con la utilización de diferentes métodos?	2.- Determinar el porcentaje de cromo recuperado de las aguas residuales de la etapa de curtido.	2.- El porcentaje de cromo recuperado es óptimo para reutilizarlo en la etapa de curtido.	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de Cromo • Reutilización
¿Se puede identificar con exactitud en método más óptimo en la recuperación de cromo (III) de la etapa de curtido?	3.- Identificar el método más óptimo que permita la recuperación el cromo (III) en la etapa de curtido en el proceso de curtiembre.	3.- El método más óptimo para la recuperación de cromo es el de precipitación química.	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de Cromo Recuperado • Eficiencia

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

2.4 Tipo y diseño de la investigación

2.4.1 Tipo de la investigación

2.4.1.1 Investigación Experimental

Esta investigación consiste en realizar un análisis físico-químico y la utilización de métodos como electrocoagulación y precipitación; con el propósito de dar una posible alternativa al problema planteado.

2.4.1.2 Investigación Exploratoria

Es un tipo de investigación que se usa cuando existe un problema que no se encuentra bien definido, y resuelta de gran ayuda ya que nos permite realizar un mejor diseño de la investigación apoyándose en métodos de recolección de datos y con su amplia bibliografía se puede usar para obtener mejores resultados.

2.4.1.3 Investigación Descriptiva

Consiste en conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita en la recolección de datos, sino en la identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. Los investigadores no son solo tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan a los conocimientos requeridos (Deobold et al., 2006).

2.4.2 Diseño de la investigación

La investigación es de tipo cuasi experimental debido a que se deben realizar pruebas a nivel de laboratorio con cada uno de los métodos de recuperación de Cromo (III) tales como electrocoagulación y precipitación, mediante el análisis de los resultados obtenidos se puede comprobar o rechazar las hipótesis propuestas (Camacho, 2017., pp. 47)

2.4.3 Unidad de análisis

El objeto a ser analizado serán las muestras de agua residuales en la etapa de curtido de la curtiembre en la Empresa Tenería Díaz para la respectiva recuperación de Cromo (III) se utilizarán 2 métodos: electrocoagulación y precipitación con la ayuda de Na (OH) en tres con concentraciones diferentes.

2.4.4 Población de estudio

La población de estudio para esta investigación fue las aguas residuales provenientes de la etapa de curtido, producidas en la empresa Tenería Díaz, las aguas son procesadas dentro de la empresa para la obtención de cueros y pieles.

2.4.5 Selección de muestra

En base a la norma técnica ecuatoriana INEN 2176:2013 de AGUA, CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, TÉCNICAS DE MUESTREO.

2.5 Localización del Trabajo de Integración Curricular

El trabajo de integración Curricular se lo llevó a cabo en la empresa Tenería Díaz Ltda., es una curtiembre que se encuentra ubicada en la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, en las calles el Pisque entrada a Macasto – Panamericana norte km.6 con coordenadas 1°12'43.4"S 78°35'45.4"W, las pruebas o ensayos se realizaron en el laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la Ciudad de Riobamba con coordenadas de 78°40'20" Panamericana Sur Km 1 ½ a una altura de 2815msnm.

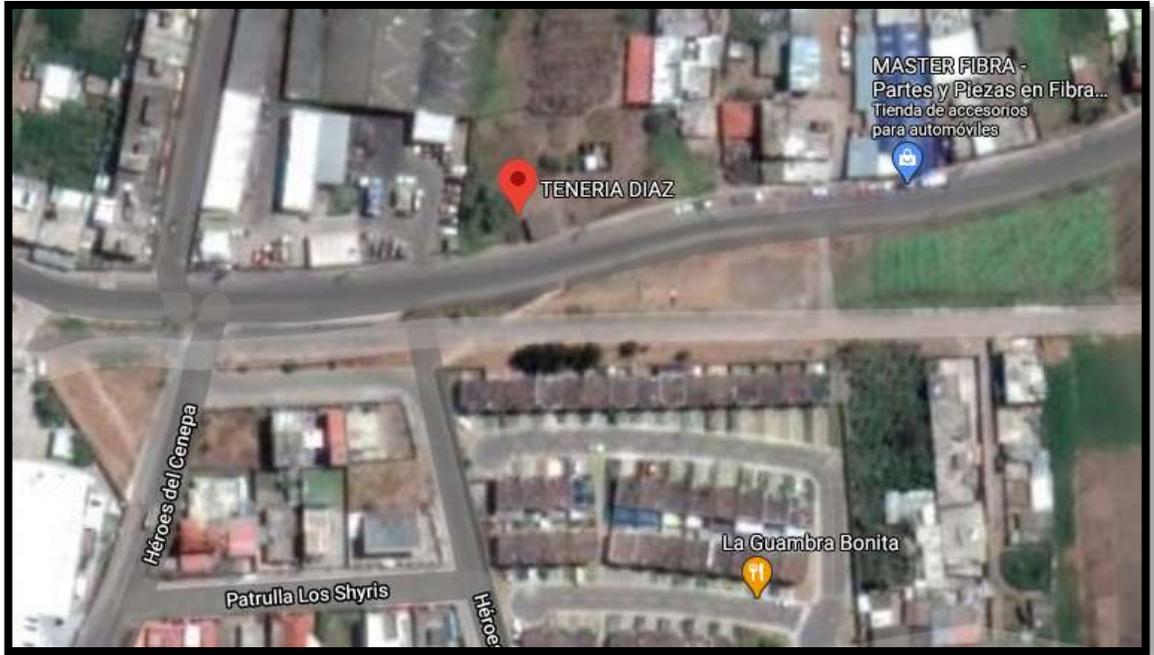


Figura 1-2: Localización geográfica de las instalaciones Tenería Díaz

Fuente: Google Maps, 2020

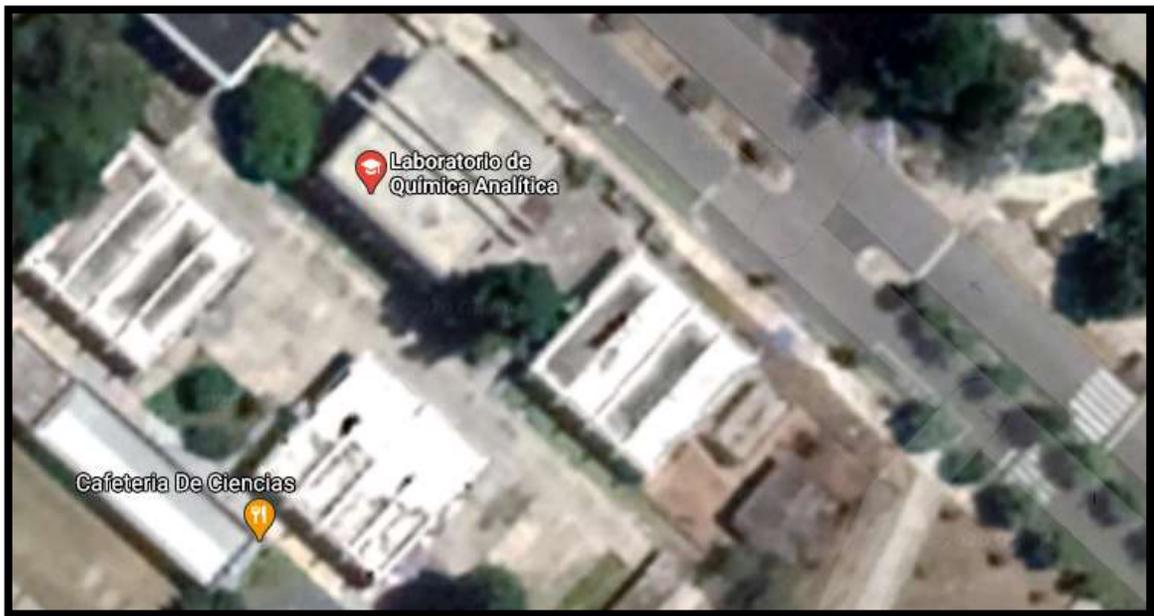


Figura 2-2: Localización geográfica del Laboratorio de Química Analítica, ESPOCH

Fuente: Google Maps, 2020

2.6 Desarrollo Experimental

2.6.1 Caracterización Físico – Química del agua residual de la Etapa de Curtido

La caracterización físico – química para el agua residual de la etapa de curtido se realizó en el laboratorio certificado SAQMIC, este laboratorio cuenta con la experiencia y confiabilidad en este tipo de análisis en aguas residuales tanto domésticas como industriales, cada ensayo se basa en normas INEN y en equipos de tecnología avanzada.

Tabla 3-2: Parámetros Físico – Químico del agua residual

PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICO
Color
Olor
Ph
Temperatura
Conductividad
Cromo Total
Cromo Hexavalente
Sólido Totales
DQO
DBO ₅

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

2.6.2 Dimensionamiento y metodología para el proceso de Electrocoagulación

1.2.3.1 Dimensionamiento del reactor de electrocoagulación

2.6.2.1.1 Volumen del reactor de prueba

$$V_t = l * H * a \quad [2.1]$$

l : Longitud del reactor (m)

H : Altura total del reactor (m)

a : Ancho del reactor (m)

$$V_t = 0.30 \text{ m} * 0.20 \text{ m} * 0.10 \text{ m}$$

$$V_t = 6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

2.6.2.1.2 Cálculo del área de los electrodos

$$A_e = a_e * h_e * n_e \quad [2.2]$$

a_e : Ancho del electrodo (m)

h_e : Ancho de los electrodos sumergidos (m)

n_e : Número de electrodos

$$A_e = (0.08 \text{ m}) * (0.21 \text{ m}) * (4)$$

$$A_e = 0.0672 \text{ m}^2$$

2.6.2.1.3 Volumen de los electrodos sumergidos en la celda pruebas

Según Cambo (2017), el volumen ocupado por los electrodos sigue la siguiente ecuación:

$$V_e = esp_e * a_e * h_e * n_e \quad [2.3]$$

esp_e : Espesor de los electrodos (m)

a_e : Ancho de los electrodos (m)

h_e : Altura de los electrodos sumergidos (m)

n_e : Número de electrodos

$$V_e = (0.003 \text{ m}) * (0.08 \text{ m}) * (0.21 \text{ m}) * (4)$$

$$V_e = 2.016 \times 10^{-4} m^3$$

2.6.2.1.4 *Volumen del fluido ocupado en fase de prueba*

$$V_w = V_T - V_e \quad [2.4]$$

V_T : Volumen total de la celda

V_e : Volumen de los electrodos

$$V_w = 6 \times 10^{-3} m^3 - 2.016 \times 10^{-4} m^3$$

$$V_w = 5.7984 \times 10^{-3} m^3$$

Intensidad experimental de 3 A por el área de los electrodos sumergidos en la celda.

$$D_{corr} = \frac{I}{A_e} \quad [2.5]$$

I : Intensidad de corriente (A)

A_e : Área de los electrodos sumergidos en la celda (m^2)

$$D_{corr} = \frac{3 A}{0.0672 m^2}$$

$$D_{corr} = 44.64 A/m^2$$

Se establece relaciones matemáticas que posteriormente serán utilizadas para el dimensionamiento de electrocoagulación a escala industrial.

$$\frac{V_w}{V_t} = \frac{5.7984 \times 10^{-3} m^3}{6 \times 10^{-3} m^3}$$

$$V_w = 0.9664 V_t$$

Relación entre la longitud y el ancho del reactor

$$\frac{l}{a} = \frac{0.30 \text{ m}}{0.10 \text{ m}}$$

$$l = 3 a$$

Relación entre la altura total y el ancho del reactor

$$\frac{H}{a} = \frac{0.20 \text{ m}}{0.10 \text{ m}}$$

$$H = 2 a$$

Relación entre el espacio el borde inferior de los electrodos y el nivel del agua en el reactor que es igual a la altura del reactor.

$$\frac{b}{H} = \frac{0.01 \text{ m}}{0.20 \text{ m}}$$

$$b = 0.05 H$$

2.6.2.1.5 Metodología para el proceso de electrocoagulación

Este ensayo se realizó con diferentes voltajes a un tiempo de 15 min, realizando tres repeticiones por cada voltaje, con la utilización de una fuente de energía de 24 Voltios a 10 A.

Tabla 4-2: Proceso experimental con diferentes voltajes

Voltajes (V)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
5	X	X	X
10	X	X	X
15	X	X	X

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

El siguiente proceso se resume a continuación (Romero, 2015., pp. 63-64):

- Se instaló el reactor de electrocoagulación, se conectaron sus ánodos y cátodos a la fuente de energía, se fijaron los valores de densidad de corriente eléctrica de acuerdo a la Tabla 5-3.
- Se colocaron 2 Litros de efluente del agua residual del proceso de curtido.
- A cada minuto se tomaron los datos de amperaje y cada 15 minutos los parámetros de pH y temperatura.
- Se tomaron 100 mL del efluente para determinar la conductividad del mismo.
- La espuma generada fue separada con una espátula y almacenada en un recipiente de plástico para su respectivo análisis de recuperación de Cromo (III).

2.6.3 Precipitación

Este ensayo se lo realizó en el Laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias para la recuperación de Cromo (III), el hidróxido de sodio se lo utilizó como un agente precipitante para las aguas residuales de la etapa de Curtido, se utilizaron 3 tipos de concentraciones 4M, 5M y sin disolver (Pinilla, 2014., pp. 22-23).

Tabla 5-2: Proceso experimental con las tres concentraciones

Concentraciones	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
4M	X	X	X
5M	X	X	X
Sin disolver	X	X	X

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

De acuerdo a la Tabla 5-2 se puede determinar que cada ensayo para cada concentración es de 3 veces para cada uno, dando un total de 9 ensayos, con el fin de determinar con cuál de las concentraciones se puede obtener más volumen de cromo.

Para la preparación de una solución de Hidróxido de Sodio 4M en 100 mL, con un 98% de pureza de Sosa Cáustica se realizó la siguiente ecuación:

$$100 \text{ mL} * \frac{4 \text{ moles}}{1000 \text{ mL}} * \frac{40 \text{ gr}}{\text{mol}} * \frac{100}{98} = 16.32 \text{ gr} \quad [2.6]$$

$$\begin{array}{cc} 16.32\text{gr} & 1000 \text{ mL} \\ X & 500 \text{ mL} \end{array}$$

$$X = 8.16 \text{ gr NaOH}$$

Para la preparación de una solución de Hidróxido de Sodio 5M en 100 mL, con un 98% de pureza de Sosa Cáustica se realizó la siguiente ecuación:

$$100 \text{ mL} * \frac{5 \text{ moles}}{1000 \text{ mL}} * \frac{40 \text{ gr}}{\text{mol}} * \frac{100}{98} = 20.40 \text{ gr} \quad [2.7]$$

$$\begin{array}{cc} 20.40\text{gr} & 1000 \text{ mL} \\ X & 500 \text{ mL} \end{array}$$

$$X = 10.2 \text{ gr NaOH}$$

Después de precipitar el cromo, los pH menores a 7, indican que al obtenerse pH ácido, habrá déficit de hidróxido de sodio para precipitar todo el cromo. Los niveles de pH mayores a 10 no son adecuados, porque el cromo forma iones complejos muy solubles en agua, impidiendo su precipitación como hidróxido. El tiempo de precipitación para todos los ensayos fue de 24 horas (Pinilla, 2014., pp. 24).

Después del tiempo requerido, a las muestras se les realizó un análisis para determinar la cantidad de cromo que fue recuperado mediante este método de precipitación.

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados y Discusión

3.1.1 Resultados del análisis físico – químico del agua proveniente del curtido

Una vez obtenida la muestra de agua de la etapa de curtido se procedió a realizar el respectivo análisis físico – químico de ciertos parámetros en el laboratorio SAQMIC y otros en el laboratorio de Investigación y Desarrollo Ambiental de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para establecer las condiciones iniciales que se representan a continuación:

Tabla 1-3: Análisis Físico del agua residual de curtido

DETERMINACIONES	RESULTADOS
Color	Característico
Olor	Característico

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

Tabla 2-3: Análisis Químico del agua residual de curtido

DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS
DQO	mg/L	18600
DBO	mg/L	8700
Sólidos Totales	g/L	48.09
Cromo Total	mg/L	360
Cromo hexavalente	mg/L	3.0

Fuente: Laboratorio SAQMIC

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

Tabla 3-3: Análisis Físico del agua residual de curtido

DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS
pH	Unid.	3.54
Conductividad	μSiems/cm	4560
Temperatura	°C	25

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

Los datos obtenidos fueron comparados en base a la Normativa Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Tabla 11: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Tabla 4-3: Límites de descarga al Sistema de Alcantarillado público

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Cromo total	Cr	mg/l	0.5
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0.5
DBO	D.B.O ₅	mg/l	250
DQO	D.Q.O	mg/l	500
Conductividad		μSiems/cm	-
Potencial de Hidrógeno	Ph	-	5 – 9
Sólidos Totales		mg/l	1600
Temperatura	T	°C	< 40

Fuente: TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

En la Tabla 1-3 de Análisis Físico del agua residual de curtido su color y olor es característico de esta etapa, el efluente presentó un color azul fuerte debido a la presencia de Sulfato Básico de Cromo ($Cr_2(OH)(SO_4)_3$) o Sulfato de Cromo ($Cr_2(SO_4)_3$) este compuesto es utilizado en el proceso de curtido de pieles denominado “Wet Blue” (Altamirano, 2019, pp. 55).

Los resultados de la Tabla 2-3 del Análisis Químico del agua residual de curtido, el parámetro de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) presenta como resultado 8700 mg/l, el cual fue comparado con la Norma establecida y presenta que es 34.8 veces mayor al límite máximo permisible determinando que existe una gran cantidad de oxígeno equivalente a la materia orgánica en el aire, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) presenta un resultado de 18600 mg/l comparado con la Norma es 37. 2 veces mayor al límite máximo permisible en donde existe una gran cantidad de oxígeno que este oxida a la materia orgánica mediante un agente químico.

La cantidad de Sólidos Totales es de 48090 mg/l este resultado sobrepasa con lo establecido ya que es 30.05 veces mayor al límite máximo permisible determinado por lo tanto quiere decir que se encuentra una gran cantidad de materia orgánica e inorgánica contenida en el efluente en forma suspendida.

Las cantidades de Cromo Total y Cromo Hexavalente en el análisis fueron de 360 mg/l y 3.0 mg/l, por lo tanto, el Cromo Total excede al límite máximo permisible determinado por la Norma ya que este es un metal muy utilizado en actividades industriales presentándose en diferentes estados de oxidación y posee un gran cantidad de Cromo Trivalente el cual se oxida si este es expuesto con otras sustancias, el Cromo Hexavalente es 6 veces mayor al límite máximo permisible es un metal conocido como agente oxidante fuerte que se encuentra presente en la materia orgánica donde este es reducido a Cromo 3+.

La Tabla 3-3 del Análisis Físico del agua residual de curtido presenta los resultados de los parámetros de pH, Conductividad y Temperatura, el resultado de pH en el análisis realizado fue de 3.54 determinando un pH ácido con una alta concentración de iones de hidrógeno este pH puede haber tomado este valor debido a que en la etapa de Piquelado se agrega Ácido Fórmico para que el Cromo de adhiera en la piel uniformemente (Altamirano, 2019, pp. 56).

La conductividad en el análisis de este efluente fue de 4560 μ Siems/cm se estima que este resultado es debido a la presencia de sales en el efluente, determinando así una gran capacidad para la transmisión de electricidad.

El valor de la Temperatura obtenido es de 25°C, cumpliendo con lo establecido en la Norma ya que el Límite Máximo Permisible es de < 40° C.

3.1.2 Resultados del Método de Electrocoagulación

3.1.2.1 Construcción del reactor de electrocoagulación

Fue elaborado con un material llamado Policarbonato que este es un termoplástico de 6 mm de espesor, sus dimensiones 0.30 m la longitud del reactor * 0.20 m altura total del reactor y 0.10 m el ancho del reactor, se colocaron las placas de aluminio 2 de ellos eran los ánodos de sacrificio y los 2 restantes los cátodos, estas placas fueron conectadas a una fuente de energía de 24 Voltios a 10 A.



Figura 1-3: Equipo para la electrocoagulación

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

3.1.2.2 Control del Voltaje y Densidad de Corriente

Para cada voltaje establecido de 5, 10 y 15 Voltios se controló su densidad de corriente en un tiempo de 15 minutos para cada voltaje fueron medidos con un multímetro, obteniendo los siguientes resultados que evidencian en la Tabla 5-3 (Mayta^a y Mayta^b, 2017, pp. 333-337):

Tabla 5-3: Control de Voltaje y Densidad de corriente

Voltaje (V)	Densidad de Corriente (A/m ²)	Tiempo (min)
5	38.39	15
10	93.01	
15	127.23	

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

Los valores establecidos de la densidad de corriente fueron la relación que transporta la intensidad de corriente (A) donde esta intensidad de corriente pasó a través la superficie, dividiendo el área de dicha superficie.

3.1.2.3 Variación de pesos en las placas

Se observó la variación de los pesos de las placas de aluminio durante el proceso, a una densidad de corriente de 38.39 A/m² y 5 voltios las placas impares sufrieron un desgaste leve ya que estas son los ánodos de sacrificio, los datos se muestran a continuación en la Tabla 6-3:

Tabla 6-3: Variación de pesos en placas de 5 voltios y Densidad de corriente 38.29 A/m²

PLACA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)
1	5	4.47
2	5	4.65
3	5	4.64
4	5	4.46

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

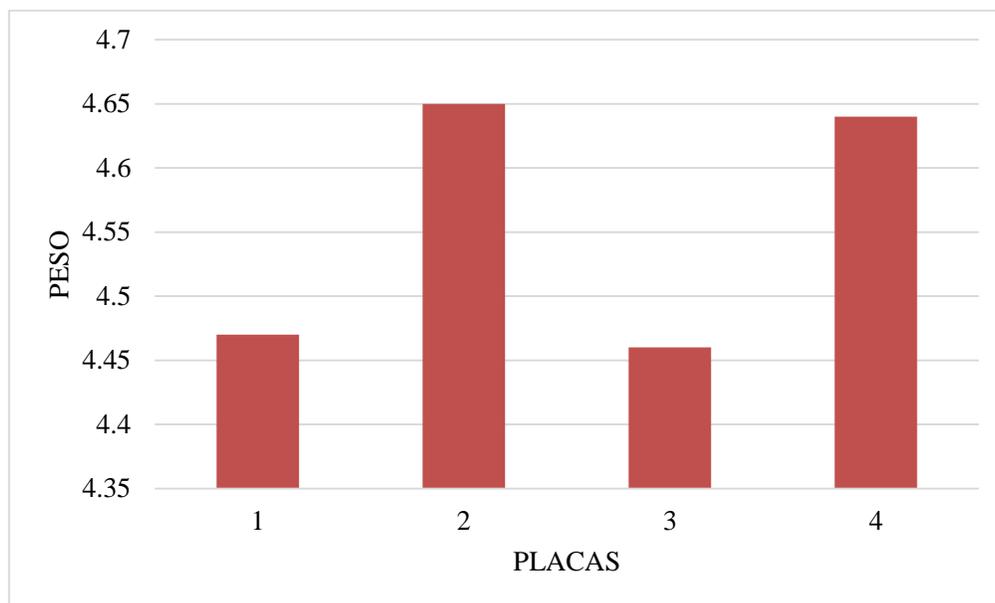


Gráfico 1-3: Peso placas de aluminio a 5 voltios y Densidad de corriente 38.29 A/m²

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

Se observó la variación de los pesos de las placas de aluminio durante el proceso, a una densidad de corriente de 93.01 A/m² y 10 voltios las placas impares sufrieron un desgaste leve ya que estas son los ánodos de sacrificio, los datos se muestran a continuación en la Tabla 7-3:

Tabla 7-3: Variación de pesos en placas de 10 voltios y Densidad de corriente 93.01 A/m²

PLACA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)
1	5.01	4.45
2	5.03	4.51
3	5	4.43
4	5.01	4.61

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

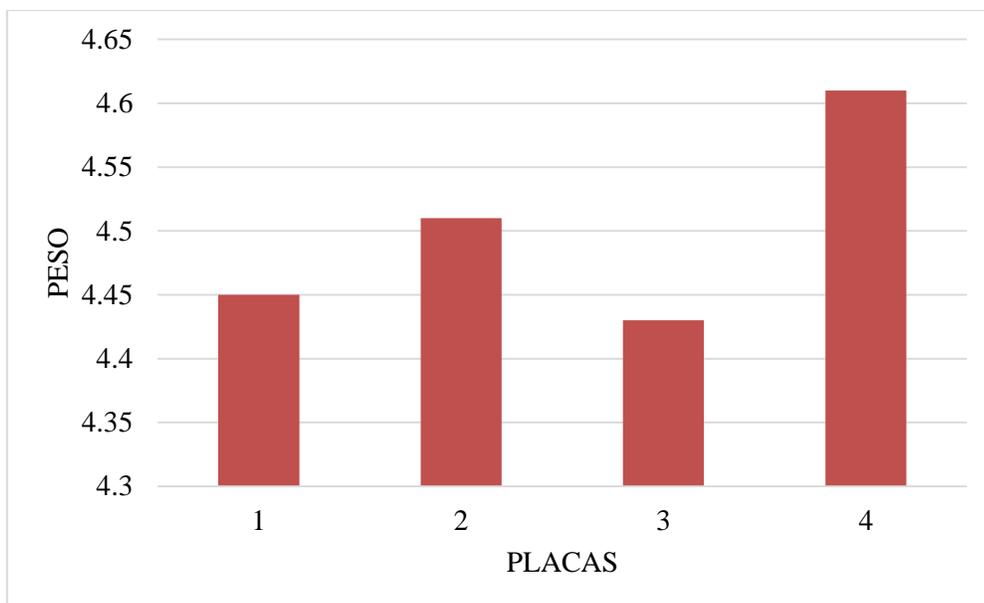


Gráfico 2-3: Peso placas de aluminio a 10 voltios y Densidad de corriente 93.01 A/m²

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

La variación de los pesos de las placas de aluminio durante el proceso, a una densidad de corriente de 127.23 A/m² y 15 voltios las placas impares sufrieron un desgaste severo más en la placa 3 ya que estas son los ánodos de sacrificio, los datos se muestran a continuación en la Tabla 8-3:

Tabla 8-3: Variación de pesos en placas de 15 voltios y Densidad de corriente 127.23 A/m²

PLACA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)
1	5	3.01
2	5.01	4.62
3	5.02	2.89
4	5	4.72

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

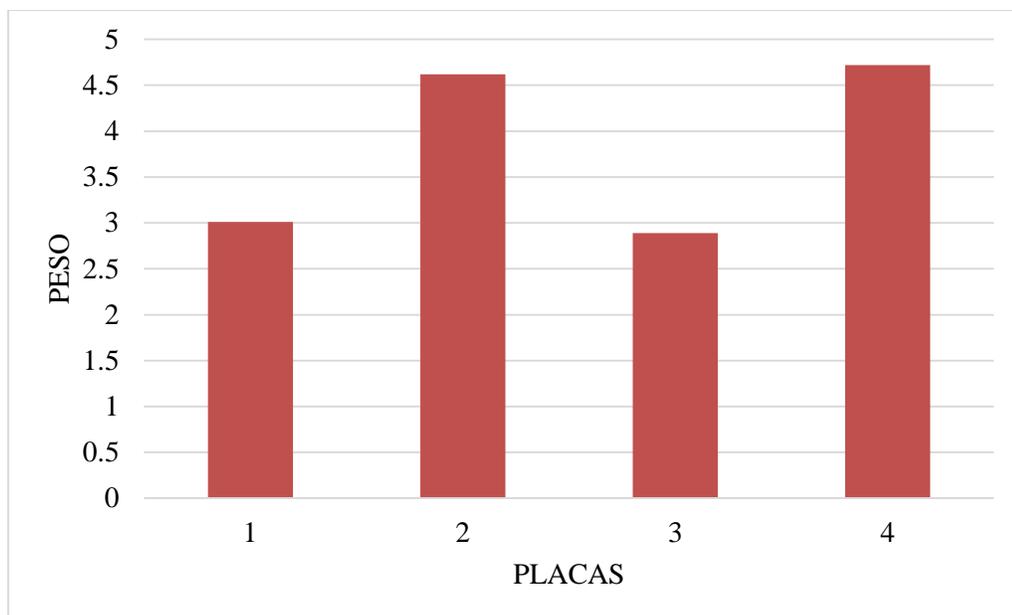


Gráfico 3-3: Peso placas de aluminio a 15 voltios y Densidad de corriente 127.23 A/m²

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

El desgaste de las placas es notorio en cada cambio de voltaje, esto se produce debido a que los ánodos de sacrificio se oxidan, arrancando electrones al metal formando iones, las placas de aluminio producen iones metálicos, los cátodos ganan electrones produciendo electrolisis por medio de la conducción eléctrica, los electrones perdidos por los ánodos de sacrificio fueron ganados por el agua produciendo hidrógeno y OH (Arango, 2005., pp. 51-53).

Las placas que sufrieron más desgaste fueron las placas que se utilizaron en el tratamiento de 15 voltios a una densidad de corriente de 127.23 A/m² debido a que generó una gran cantidad de corriente, las placas fueron cambiadas una vez para cada ensayo realizando 3 ensayos para este tratamiento ya que su desgaste era severo y ya no se podía utilizar las mismas para los demás ensayos, las placas para los dos tratamientos restantes no sufrieron desgastes severos, estas presentaron un desgaste leve y moderado, en las placas con desgaste leve no hubo la necesidad de cambiarlas se realizaron los 3 ensayos a 5 voltios con una densidad de corriente de 38.39 A/m² y las placas con desgaste moderado de 10 voltios y a una densidad de corriente de 93.01 A/m² el cambio de las placas se lo debería realizar al 4to ensayo de este tratamiento.

3.1.2.4 Análisis Físico del agua tratada de la Etapa de Curtido

Una vez realizado el tratamiento por el método de electrocoagulación al efluente, se procedió a realizar un Análisis Químico con los siguientes parámetros pH, Temperatura y Conductividad los resultados se muestran a continuación en la Tabla 9-3:

Tabla 9-3: Análisis Físico del agua tratada

VOLTAJE (V)	pH	CONDUCTIVIDAD	TEMPERATURA INICIAL	TEMPERATURA FINAL	TIEMPO (min)
5	4.33	41	19.23	21.95	15
10	6.20	42.13	19.25	24.25	
15	5.86	42.07	19.23	26.90	

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

En los resultados obtenidos del Análisis Físico del agua tratada se puede observar que los valores de pH para cada voltaje son ácidos en 5 voltios de 4.33, 10 voltios es de 6.20 y en el de 15 voltios 5.86, por lo tanto los pH con los voltajes 10 y 15 se encuentran en el rango establecido por la norma, sus valores de conductividad varían con respecto al valor inicial del primer análisis realizado en el agua inicial antes de ser tratada esto sucedió debido a que la concentración de iones ha disminuido, la temperatura aumenta debido al cambio de voltajes para cada tratamiento.

3.1.2.5 Remoción de Cromo (III) mediante el método de Electrocoagulación

Tabla 10-3: Datos del Análisis Químico del agua residual

PARÁMETROS	(mg/L)
CROMO TOTAL	360
CROMO HEXAVALENTE	3
CROMO (III)	357

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

Mediante la Ecuación 3.1 de porcentaje, nos permitió calcular la cantidad de Cromo (III) recuperado por cada muestra realizada:

$$\% = \frac{Co-Cf}{Co} * 100 \quad [3.1]$$

Dónde:

C_o : Concentración Inicial

C_f : Concentración Final

Aplicando la Ecuación 3.1 se obtuvieron los siguientes datos de Recuperación de Cromo (III) que se encuentran en la Tabla 10-3:

Tabla 11-3: Datos del Porcentaje de Remoción de Cromo (III)

VOLTAJE (V)	PORCENTAJE DE REMOCIÓN (III) (%)
5	99.6%
	99.7%
	99.7%
PROMEDIO	99.7%
10	99.3%
	99.3%
	99.3%
PROMEDIO	99.3%
15	99.2%
	99.3%
	99.3%
PROMEDIO	99.3%

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

En la Tabla 11-3 se pueden observar los resultados del Porcentaje de Remoción de Cromo (III) con los tres tipos de tratamientos que se realizaron a 5, 10 y 15 voltios, se puede determinar que para cada tratamiento se efectuaron 3 pruebas obteniendo un resultado promedio para cada uno de ellos, para el tratamiento con 5 Voltios se obtuvo un porcentaje de remoción de 99.7%, para el de 10 Voltios un porcentaje de 99.3% y para el tratamiento de 15 Voltios se obtuvo un porcentaje de 99.3% esto demuestra que el tratamiento de 5 Voltios fue el más favorable para esta remoción ya que el porcentaje obtenido es el más alto con respecto a los demás valores, no podemos ignorar que el tratamiento de 10 Voltios y 15 Voltios también presentan porcentajes altos de remoción, por lo tanto esto nos demuestra que a un menor voltaje mejor será la remoción de Cromo (III) para el agua residual de la etapa de curtido esto se puede determinar que a este voltaje su remoción es mejor debido a que podría

dependen de la corriente eléctrica y su tiempo de residencia no influye en esta remoción (Mayta^a y Mayta^b, 2017, pp. 337-339).

3.1.2.6 Análisis Estadístico de la Recuperación de Cromo (III)

Los resultados obtenidos de la Recuperación de Cromo (III) se observan en la Tabla 12-3 donde se aplicó un análisis estadístico netamente con los resultados de cada uno de los tratamientos. Para este análisis se utilizó el software llamado Infostat, una aplicación estadística que sirve de herramienta para análisis desde lo más simple como promedios hasta una complejidad mayor.

Tabla 12-3: Análisis de Varianza para la Remoción de Cromo (III)

VOLTAJE	MEDIAS (%)	N	E.E	TRATAMIENTO
5 V	99.67	3	0.03	B
10 V	99.30	3	0.03	A
15 V	99.27	3	0.03	A

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

Los resultados obtenidos de la Remoción de Cromo (III) para cada tratamiento nos indican que en el análisis de varianza existen diferencias significativas entre los tratamientos, estos datos fueron colocados en la prueba Tukey del software Infostat donde nos determina que dos de sus tratamientos son iguales de forma estadística pero numéricamente los tratamientos de 10 y 15 Voltios no presentan una gran diferencia de porcentaje de remoción los cuales son 99.30% y 99.27%, por lo tanto se podría determinar que el tratamiento a 5 voltios es factible debido a que este durante su proceso no presentó un desgaste severo en sus placas, con un porcentaje de remoción del 99.67% a comparación con el tratamiento de 15 voltios que sus placas se debían cambiar una vez para cada ensayo realizado, por lo tanto los porcentajes obtenidos en estos 2 tratamientos también son aceptables para la remoción de Cromo (III).

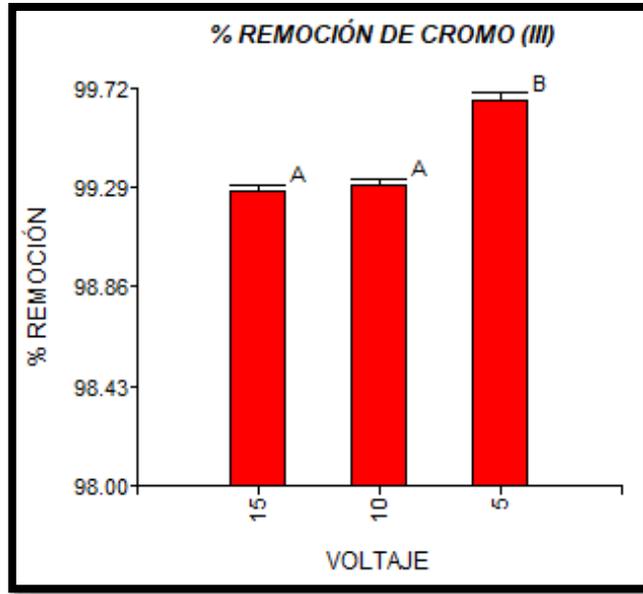


Gráfico 4-3: Análisis de Varianza del Método de Electrocoagulación

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

En el Gráfico 4-3 los resultados promedio de la Remoción de Cromo (III) para cada tratamiento, se presentan de siguiente manera, para el tratamiento con 5 Voltios se obtuvo un porcentaje del 99.67% siendo este el valor más alto, el de 10 Voltios con un promedio de 99.30% y el de 15 Voltios con un promedio de 99.27% siendo más bajo con respecto al primer tratamiento, mediante este análisis no se puede determinar que este tratamiento sería una alternativa para un porcentaje de remoción de Cromo.

3.1.3 Resultados del Método de Precipitación

3.1.3.1 Volúmenes del Precipitado de los diferentes tratamientos

Para el método de precipitación se determinaron ciertos parámetros entre ellos la cantidad de precipitado, con un volumen inicial de 500 ml y un tiempo de reacción de 24 horas para cada uno de los tratamientos, los datos se presentan a continuación en la Tabla 13-3:

Tabla 13-3: Volumen del Precipitado

CONCENTRACIÓN (M)	VOLUMEN DEL PRECIPITADO (ml)
4	250
	300
	250
5	400
	360
	400
SIN DISOLVER	400
	400
	460

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

Los valores obtenidos del volumen del precipitado son variables ya que para cada concentración los volúmenes cambian, para la concentración de 4M se obtuvo un volumen de precipitado de 250 ml que pertenecen al tratamiento 1 y 3, el tratamiento 2 un volumen de 300 ml del volumen inicial, en la concentración 5M y Sin Disolver sus volúmenes de precipitado no son tan significantes en relación a su volumen inicial, los cambios producidos en el efluente son visibles en su coloración debido al Hidróxido de Cromo $\text{Cr}(\text{OH})_3$ que se forma y se precipita.



Figura 2-3: Precipitado de Cromo

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

3.1.3.2 pH del Precipitado en los diferentes tratamientos

La variación del pH en cada uno de los tratamientos es notorio ya que cada vez que se realizaba cada tratamiento a diferentes concentraciones y un tratamiento sin disolución con la utilización del NaOH, a un tiempo de reacción de 24 horas cada tratamiento sus pH aumentaron, a diferencia del pH inicial que fue de 3.54 un pH ácido fuera de lo establecido, el afluente una vez tratado sus pH cambiaron a ser básicos, en el Gráfico 5-3 se puede observar que el pH varía dependiendo de la concentración, se estable que el pH es de 8.75, por lo tanto para este tratamiento este parámetro cumple con lo establecido.

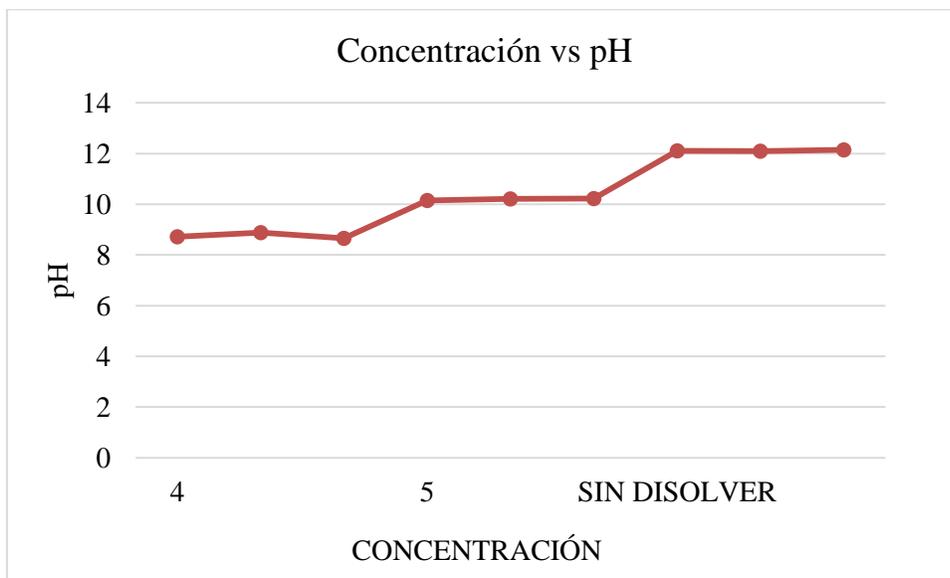


Gráfico 5-3: Curva concentración vs pH

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

3.1.3.3 Remoción de Cromo (III) mediante el método de Precipitación

Tabla 14-3: Datos del Análisis Químico del agua residual

PARÁMETROS	(mg/L)
CROMO TOTAL	360
CROMO HEXAVALENTE	3
CROMO (III)	357

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

Mediante la Ecuación 3.2 de porcentaje, nos permitió calcular la cantidad de Cromo (III) recuperado por cada muestra:

$$\% = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100 \quad [3.2]$$

Dónde:

C_o: Concentración Inicial

C_f: Concentración Final

Aplicando la Ecuación 3.2 se obtuvieron los siguientes datos de Recuperación de Cromo (III) que se encuentran en la Tabla 14-3:

Tabla 15-3: Datos del Porcentaje de Remoción de Cromo (III)

CONCENTRACIÓN (M)	% DE REMOCIÓN
4	98.8%
	98.9%
	98.9%
PROMEDIO	98.9%
5	99.3%
	99.3%
	99.2%
PROMEDIO	99.3%
SIN DISOLVER	99.7%
	99.7%
	99.7%
PROMEDIO	99.7%

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

En la Tabla 15-3 podemos observar los porcentajes de Remoción de Cromo (III), después de que el efluente es tratado con el agente precipitante, para el tratamiento 4 M se obtuvo un porcentaje promedio de los 3 tratamientos realizados de un 98.9% a una determinación de Cromo (III) de 4 mg/l, en el tratamiento 5 M su porcentaje fue del 99.3% a una determinación del 2.6 mg/l y un tratamiento sin disolver un porcentaje de Remoción del 99.7% a una determinación del 1.13 mg/l, por lo tanto podemos deducir que el tratamiento con mayor remoción es el tratamiento sin disolver con un porcentaje mayor del 99.7% con respecto a los demás tratamientos, este tipo de comportamiento se produce debido al potencial químico, al ser mayor su concentración de NaOH su potencial químico

será mayor el precipitado de NaOH, por el contrario si la concentración es menor su potencial químico es menor distribuido a un mayor volumen, cuando la concentración de NaOH es menor su potencial químico y será menor su precipitado (Pinilla, 2014., pp. 30-33). .

3.1.3.4 Análisis Estadístico de la Recuperación de Cromo (III)

Los resultados obtenidos de la Recuperación de Cromo (III) se observan en la Tabla 16-3 en donde se aplicó un análisis estadístico netamente con los resultados de cada uno de los tratamientos. Para este análisis se utilizó el software llamado Infostat, una aplicación estadística que sirve de herramienta para análisis desde lo más simple como promedios hasta una complejidad mayor.

Tabla 16-3: Datos del Porcentaje de Remoción de Cromo (III)

CONCENTRACIÓN	MEDIAS %	N	E. E	TRATAMIENTO
4 M	98.97	3	0.03	A
5 M	99.27	3	0.03	B
S. D	99.70	3	0.03	C

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

Los resultados obtenidos en la Remoción de Cromo (III) para cada tratamiento nos indican que en el análisis de varianza existen diferencias significativas entre los tratamientos, estos datos fueron colocados en la prueba Tuyek del software Infostat donde nos determina los tratamientos no son iguales de forma estadística ni numérica, el tratamiento a una concentración de 4 M el porcentaje de remoción es del 98.97% para este valor existe una media diferencia significativa debido a datos sistemáticos o aleatorios durante el ensayo por ese motivo no se pudo obtener un porcentaje del 99.9% para deducir con más precisión la exactitud de este tratamiento para la recuperación, pero esto no quiere decir que el tratamiento con la concentración 4 M no se lo considera aceptable ya que cumple con el pH establecido para este tipo de aguas residuales industriales, por lo tanto el tratamiento Sin Disolver es aceptable para el porcentaje de Remoción de Cromo (III) en este ensayo ya que su porcentaje es del 99.70% siendo el porcentaje más alto en relación al primer tratamiento.

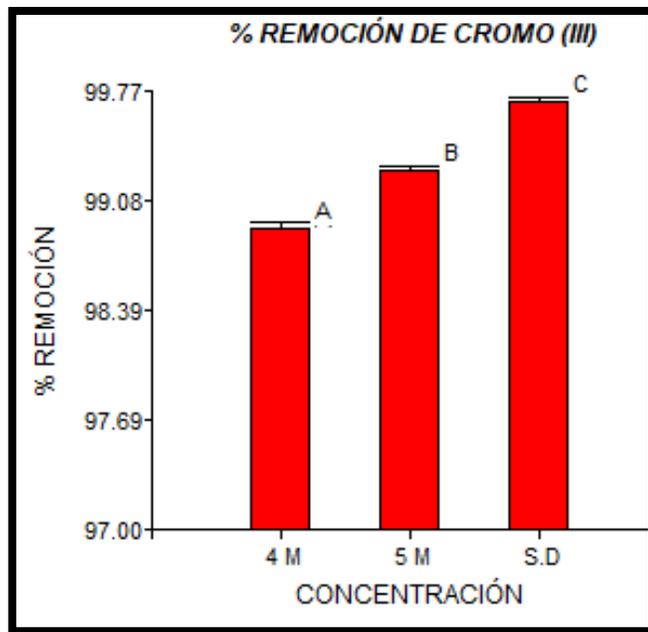


Gráfico 6-3: Análisis de Varianza del método de Precipitación

Realizado por: Cobo Patricia, 2020

El Gráfico 6-3 nos determina los resultados promedio de la Recuperación de Cromo (III) para cada tratamiento, para el tratamiento con una concentración de 4 M se obtuvo un porcentaje del 98.97% siendo este el valor más alto, el de concentración 5 M con un promedio de 99.27% y el tratamiento Sin Disolver con un promedio de 99.70% siendo este el porcentaje más alto, mediante este análisis se puede determinar que el tratamiento Sin Disolver es la alternativa para este tipo de Recuperación de Cromo (III).

3.2 Análisis de las hipótesis

3.2.1 Hipótesis 1

Mediante la aplicación de métodos de electrocoagulación y precipitación se puede recuperar el cromo proveniente del curtido del proceso de curtiembre.

La electrocoagulación y la precipitación son métodos apropiados para la recuperación de cromo en la industria de curtiembre, obteniendo un porcentaje diferente en cada método, diferenciándose éstos por la cantidad recuperada de cada uno, enmarcando a esta hipótesis como verdadera para la aplicación de estos métodos en la industria del cuero.

3.2.2 Hipótesis 2

El análisis físico – químico del agua de la etapa de curtido, permite determinar parámetros de potencial de hidrógeno (pH), DBO, DQO, cromo hexavalente y conductividad.

El uso de espectrofotometría permite determinar una diversidad de parámetros químicos del agua enmarcando dentro de estos DBO, DQO, cromo hexavalente y mediante el uso de equipos apropiados como el pHmetro y el Conductímetro se obtienen resultados específicos de pH y conductividad, generando a esta hipótesis como positiva.

3.2.3 Hipótesis 3

El porcentaje de cromo recuperado influye en la reutilización en la etapa de curtido.

En la cantidad de cromo recuperado de la electrocoagulación y precipitación el porcentaje obtenido no influye en su reutilización. Posteriormente según (Salas, 2005, pp. 61-67) a este cromo recuperado se lo debe someter a un nuevo tratamiento donde este adquiere propiedades óptimas para ser utilizado nuevamente en la etapa de curtido o recurtido, enmarcando a esta hipótesis como positiva.

3.2.4 Hipótesis 4

El método más óptimo para la recuperación de cromo es el de precipitación química.

Al obtener resultados mediante el método de precipitación química y comparando con otro método específicamente la electrocoagulación, este arroja porcentajes apropiados en cuanto a cantidad, eficiencia y rentabilidad, evidenciando esta hipótesis como verdadera.

CONCLUSIONES

- Se recuperó el Cromo (III) mediante un estudio comparativo entre los métodos de electrocoagulación y precipitación del agua residual de la etapa de Curtido de la empresa Tenería Díaz, donde nos permitió conocer la metodología que se emplea en cada uno de los métodos propuestos, estableciendo ventajas y desventajas que cada uno de ellos al momento de ejecutar su procedimiento.
- Se analizaron los parámetros físico - químico de las aguas provenientes del proceso de curtido, en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros físicos su color y olor

eran característicos de este tipo de efluentes, los parámetros químicos como la determinación de Cromo Total fue de 360 mg/l, Cromo Hexavalente 3.0 mg/l, los valores de DQO de 18600 mg/l, DBO₅ 8700 mg/l estos parámetros se encontraron fuera del rango establecido por la Normativa TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Tabla 11: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, el pH es de 3.54 es un pH ácido se encontró fuera del rango propuesto, su conductividad fue de 4560 μ Siems/cm este valor es muy importante ya que nos permitió realizar el método de electrocoagulación, los sólidos totales presentaron un valor muy elevado de 48090 mg/l quiere decir que existe una gran cantidad de sólidos en el efluente estos pueden ser orgánicos como inorgánicos y su temperatura se determinó con una valor menor de 40°C el cual fue de 25°C que está rango establecido por la Norma.

- Se determinó el máximo porcentaje de cromo recuperado en cada uno de los métodos establecidos en esta investigación, los cuales para el método de electrocoagulación se obtuvieron porcentajes de aceptabilidad del 99.67% en el tratamiento de 5 voltios en un tiempo de 15 minutos, para el método de precipitación el porcentaje con más aceptabilidad es del 99.70% para el tratamiento Sin Disolver a un tiempo de reacción de 24 horas.
- Se identificó que el método más óptimo para la recuperación de cromo (III) en la etapa de curtido es el método de precipitación en donde el agente precipitante fue el NaOH a un 98% de pureza, se obtuvo un porcentaje de Remoción del 99.70% alcanzando un pH 8.75 en 500 ml de efluente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el método de precipitación para este tipo de recuperación en la etapa de curtido ya que presenta porcentajes aceptables, la electrocoagulación presenta un tiempo de reacción mucho menor con respecto al tratamiento de precipitación.
- Los tratamientos de precipitación y electrocoagulación presentan ventajas y desventajas durante su proceso en la precipitación la utilización de reactivos químicos como el NaOH aumenta la concentración de los componentes de las aguas residuales de curtido, por lo tanto para que estas aguas sean reutilizadas se necesitaría un nuevo tratamiento, ya que la cantidad de impurezas y reactivos pueden aumentar y esto afectaría la calidad del cuero, para la electrocoagulación a nivel industrial es necesario controlar los costos de operación para la utilización de este método, en las celdas electroquímicas no es necesario utilizar productos químicos, ya que este método no presenta algún tipo de contaminación secundaria.

GLOSARIO

Colágeno: Componente que sobresale a nivel de las proteínas, contribuyendo a la materia animal, abarcando el 90% de estas proteínas, es una cadena compuesta por aminoácidos que se encuentran enlazados entre sí mediante uniones amídicas denominadas enlaces peptídicos (Jordan, 2011, p. 24).

Curtido: Transformación de la piel en un material flexible con apariencia uniforme conocido como cuero, mediante un proceso químico utilizando sales minerales como las sales de cromo que es la más utilizada en el proceso de curtiembre (Jordan, 2011, p. 10).

Descarnado: Eliminación de restos de carne, tejidos y grasa que se encuentran presentes en la piel eliminando la población bacteriana y hongos presentes en los restos de carne (Rodríguez, 2015, p. 9).

Desencalado: Consiste en eliminar la cal que se encuentra unida a enlaces químicos o esta absorbida en las fibras capilares, bajando la hinchazón de la piel, esta cal es eliminada por ácidos débiles y sales ácidas como el bismuto de sodio (Na_3BiO_4) (Lacerca, 2003, p. 6).

Desnaturalización: Pérdida parcial o total de la estructura inicial que presenta proteínas, puede ser térmica o química transformando a las fibras de colágeno en cadenas de polipéptidos con carácter flexible (Morera, 2002, pp. 52-53).

Hidrólisis: Reacción química que se produce entre la acción del agua generando una ruptura de moléculas de agua en iones hidroxilo e hidrogeniones, esta reacción forma uniones distintas con otro tipo de sustancias alterándola en el proceso (Gonzales, 2009).

Recurtido: Proceso para darles propiedades completas al cuero curtido, basándose en la aplicación de productos químicos y agentes curtientes, este proceso se aplica a cueros que no presentan una buena curtición (Bacardit, 2004, p. 48).

Wet Blue: Es el producto que da como resultado de la transformación de la piel en cuero, conocido también como piel curtida o cuero azul (Jordan, 2011, p. 11).

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL, L. Análisis comparativo de la velocidad de degradación de cromo VI aplicando biorremediación en medios físicos diferentes: suelo y agua [En línea] (Tesis). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Biotecnología Ambiental, Riobamba – Ecuador. 2016. pp. 5-12. [Consulta: 2020-07-27]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4892/1/236T0182.pdf>

ARANGO, A. "La Electrocoagulación; Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales". *Revista Lasallista de Investigación* [En línea], 2005, (Colombia) 2(1), pp 49-56. [Consulta: 2020-08-02]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520109.pdf>

ALTAMIRANO, E. Evaluación de la eficiencia para la remoción de cromo en efluentes de curtiembres, mediante electroflotación. [En línea](Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba-Ecuador. 2019. pp. 8-60. [Consulta: 2020-07-26]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13206/1/236T0465.PDF>

BACARDIT, A. Química Técnica del Cuero. Cataluña-España: COUSO, 2004.p. 48.

CAMACHO, G. Estudio comparativo de los métodos para la recuperación de cromo proveniente de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa curtiduría serrano [En línea] (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química, Riobamba - Ecuador. 2017. pp. 47. [Consulta: 2020-08-15]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7895/1/96T00410.pdf>

CAMBO CHILLO, N. A. Diseño de un electrocoagulador para el tratamiento de aguas industriales clarificadas de la empresa plusambiente base cantón joya de los Sachas, provincia de Orellana [En línea] (Tesis) (Pregrado) ESPOCH, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química, Riobamba

- Ecuador. 2017. pp. 5-47. [Consulta: 2020-09-03]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/6953/1/96T00395.pdf>

DEOBOLD, B., VAN DALEN & WILLIAM J. MEYER. *La investigación descriptiva* [Blog]. [Consulta: 2020-08-15]. Disponible en: <https://noemagico.blogia.com/2006/091301-la-investigacion-descriptiva.php>

GERMILLAC, M. *Industria Curtiembre* [En línea] 2002. [Consulta: 2020-07-23] <https://www.virtualpro.co/biblioteca/curtiembre>

GONZALES, A. Vadequim. Vadequim-Hidrolisis. [En línea] 2009. [Citado el: 2020-11-17] Disponible en: <https://www.vadequimica.com/quimipedia/h/hidrolisis/>.

JORDAN, M. Obtención de colágeno por hidrólisis alcalinaenzimática del residuo de “Wet Blue” en el proceso de curtición [En línea] (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba – Ecuador. 2011. pp.10-30. [Consulta: 2020-07-27]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1630/1/236T0048.pdf>

LACERCA, M. Curtición de Cueros y Pieles. Argentina: Albatroz, 2003. p. 6.

MAYTA, R., & MAYTA J. “Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación”. *Rev Soc Quím* [En línea], 2017, (Perú) (3), pp. 331-340. [Consulta: 2020-10-16]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v83n3/a08v83n3.pdf>

MIJAYLOVA NACHEVA, P., LÓPEZ ARMENTA, S., RAMÍREZ CAMPEROS, E., & CARDOSO VIGUEROS, L “Tecnología para la remoción y recuperación del cromo trivalente en efluentes de curtido de pieles”. *Tecnología y ciencias del agua*. [En línea], 2003, (México) XVIII (1). pp. 21-37. [Consulta: 2020-07-23]. Disponible en: <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/966/817>

MOLINA, N., AGUILAR, P., & CORDOVEZ, C. “Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana”. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular* [en línea], 2010, (8), pp. 77 - 88. [Consulta: 2020-10-03]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5599145.pdf>

MORENO DE LA FUENTE, J. *Pedagogía general y Biomecánica* [En línea]. 2^{da}. Barcelona (España): Elsevier España, S. L, 2009. [Consulta: 2020-07-27]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=xSCX5AZ6nd8C&printsec=frontcover&dq=Podolog%C3%ADa+general+y+biomec%C3%A1nica+2da+edicion&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiHrbmb8O3qAhWMIoAKHZ1SAJoQ6wEwAHoECAAQAQ#v=onepage&q=Podolog%C3%ADa%20general%20y%20biomec%C3%A1nica%202da%20edicion&f=false>

MORERA, JOSEP MARÍA. *Química Técnica de Curtición*. Cataluña-España: Consorci Escola Tècnica d'Igualada (CETI), 2002. Pp. 48-109.

ORTUÑO, A. *Introducción a la química industrial* [En línea]. España: REVERTÉ, S. A, 2006. [Consulta: 2020-07-26]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=Rkk04SmHTKEC&pg=PA457&dq=PROCESO+DE+CURTIDO&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwip-NPhrOvqAhXig-AKHa_CCCoQ6wEwAXoECAAQAQ#v=onepage&q=PROCESO%20DE%20CURTIDO&f=false

PEREIRA MARTÍN, María. Toxicidad del cromo trivalente sobre el alga dictyosphaerium chlorelloides y su adaptación a ambientes acuáticos altamente contaminados con este estado de oxidación del metal pesado. [En línea](Tesis). (Doctoral) Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Veterinaria, Madrid-España. 2013. pp. 8-18. [Consulta: 2020-07-27]. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/17865/1/T34128.pdf>

PINILLA, D. Precipitación de cromo y reutilización del agua de vertimientos de curtiembres de San Benito (Bogotá). [En línea](Proyecto de Grado) (Pregrado). Universidad Santo Tomás Facultad de

Ingeniería Ambiental, Bogotá. 2014. pp. 22-33. [Consulta: 2020-09-08]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2647/2014danielpinilla.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

PORTILLA, A. Análisis técnico ambiental del proceso de la curtiduría serrano de la ciudad Ambato y diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales. [En línea](Tesis). Universidad Central del Ecuador, Quito. 2013. pp. 24-40. [Consulta: 2020-07-27]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1564/1/T-UCE-0012-261.pdf>

PIRE SIERRA, M. C., PALMERO, J., ARAUJO, I., & DÍAZ, A. “Tratabilidad del efluente de una tenería usando un reactor por carga secuencial”. *FCV-LUZ* [En línea], 2010, (Venezuela) XX (3). pp. 2. [Consulta: 2020-07-23]. Disponible en: <file:///C:/Users/personal/Downloads/15565-16071-1-PB.pdf>

QUISHPE, A., TORRE E., & GUEVARA, A. “Tratamiento de efluentes líquidos de la industria de curtido mediante precipitación química, adsorción con carbón activado y rizofiltración”. *Revista Politécnica* [En línea], 2010, Vol. 31(1). Pp. 117–122. [Consulta: 2020-08-04]. Disponible en: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/200/pdf

RESTREPO, A., ARANGO, A., & GARCÉS. “La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas”. *Tratamiento de aguas* [En línea], 2006, pp. 59-72. [Consulta: 2020-08-02]. Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/514/1/pl_v1n2_58-77_electrocoagulacion.pdf

RODRÍGUEZ, IBETH. Obtención para cuero de calzado femenino utilizando tres niveles de taninos sintéticos en combinación con cromo en pieles caprinas. (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador: 2015. pp 9-31.

ROMERO PEÑA, R. Diseño de una planta de recuperación de sulfato de cromo (III) proveniente de las aguas de curtido de cuero, mediante electrocoagulación y reacción química [En línea] (Trabajo de

Titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito. 2015. pp. 30-128. [Consulta: 2020-07-21]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11844/1/CD-6551.pdf>

SALINAS, G. “Reuso de cromo en el tratamiento de efluentes de una curtiembre”. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím* [En línea], 2005, pp. 61-67. [Consulta: 2020-10-20]. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/download/5427/4661/>

SALINAS, V. Análisis comparativos sobre el método cuero entre la Provincia de Tungurahua y Azuay [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad del Azuay, Cuenca. 2014. pp. 17-23. [Consulta: 2020-10-03]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3849/1/10454.pdf>

SANS, R., RIVAS, J. *Ingeniería Ambiental: Contaminación y Tratamientos* [En línea]. Colombia: MARCOMBO, S. A, 1989. [Consulta: 2020-08-04]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=kumplOJs6T0C&pg=PA101&dq=precipitacion+quimica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjG8fSIhoLrAhUDUt8KHfM9BxIQ6AEwAXoECAYQAg#v=onepage&q=precipitacion%20quimica&f=false>

TAVARES, R. *Contaminación del agua con cromo* [blog]. 9 de Diciembre del 2015. [Consulta: 2020-07-28]. Disponible en: <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2015/12/09/132418>

TAYUPANDA PAGALO, S. Diseño de un sistema de tratamiento de agua residual del proceso de pelambre para su reutilización, Curtiembre Pieles “Puma”. [En línea](Tesis). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba-Ecuador. 2010. pp. 14-38. [Consulta: 2020-07-26]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2650/1/96T00123.pdf>

VERA, I. *Química General; Electroquímica* [En línea]. Corrientes, Argentina: Editorial Nova, 2007. [Consulta: 2020-08-01]. Disponible en: http://exa.unne.edu.ar/quimica/quimgeneral/temas_parciales/unidad_10_Electroquimica2007.pdf.

ZURITA HERDOÍZA, G. Análisis descriptivo de la sustentabilidad económica, social y ambiental de la industria del cuero [En línea] (Tesis). (Economista). Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Administración y Economía. Quito - Ecuador. 2016. pp. 27-29. [Consulta: 2020-10-03]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5382/1/124320.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIDO

a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Patricia Alexandra Cobo Cango	“RECUPERACIÓN DE CROMO (III) MEDIANTE LOS MÉTODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN EN LA EMPRESA TENERÍA DÍAZ”		
a) pH b) Temperatura c) Conductividad	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR				
			1:1	2020/10/18	1

ANEXO B: MÉTODO DE PRECIPITACIÓN A UNA CONCENTRACIÓN 4 M

d)



e)



f)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Patricia Alexandra Cobo Cango	“RECUPERACIÓN DE CROMO (III) MEDIANTE LOS MÉTODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN EN LA EMPRESA TENERÍA DÍAZ”			
d) Peso del precipitante NaOH e) Disolución del precipitante con efluente f) Muestra disuelta, aforada a 500 ml con efluente			ESCALA	FECHA:	LÁMINA	
			1:1	2020/10/18	2	

ANEXO C: TIEMPO DE REACCIÓN PARA EL TRATAMIENTO 4 M

g)



h)



i)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Patricia Alexandra Cobo Cango	“RECUPERACIÓN DE CROMO (III) MEDIANTE LOS MÉTODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN EN LA EMPRESA TENERÍA DÍAZ”		
g) Tiempo de reacción 24 hrs h) Resultado del tiempo de reacción i) Medición de pH			ESCALA	FECHA:	LÁMINA
	1:1	2020/10/18	3		

ANEXO D: MÉTODO DE PRECIPITACIÓN A UNA CONCENTRACIÓN 5 M

i)



j)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	<p align="center">“RECUPERACIÓN DE CROMO (III) MEDIANTE LOS MÉTODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN EN LA EMPRESA TENERÍA DÍAZ”</p>		
<p>i) Resultado del tiempo de reacción</p> <p>j) Medición de pH</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	<p align="center">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p align="center">ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p align="center">Realizado por:</p> <p align="center">Patricia Alexandra Cobo Cango</p>			
			1:1	2020/10/18	4

ANEXO E: MÉTODO DE PRECIPITACIÓN SIN DISOLVER

k)



l)



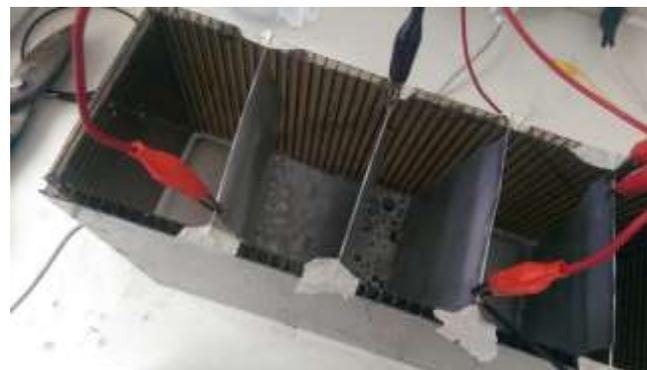
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	<p align="center">“RECUPERACIÓN DE CROMO (III) MEDIANTE LOS MÉTODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN EN LA EMPRESA TENERÍA DÍAZ”</p>		
<p>k) Resultado de la reacción</p> <p>l) Medición del pH</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	<p align="center">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p align="center">ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p align="center">Realizado por:</p> <p align="center">Patricia Alexandra Cobo Cango</p>			
			1:1	2020/10/18	5

ANEXO F: MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN TRATAMIENTO 5 VOLTIOS

m)



n)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	<p align="center">“RECUPERACIÓN DE CROMO (III) MEDIANTE LOS MÉTODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN EN LA EMPRESA TENERÍA DÍAZ”</p>		
k) Electrocoagulador l) Proceso de electrocoagulación	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Patricia Alexandra Cobo Cango			
			1:1	2020/10/18	6

ANEXO G: MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN TRATAMIENTO 5 VOLTIOS

o)



p)



q)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Patricia Alexandra Cobo Cango	“RECUPERACIÓN DE CROMO (III) MEDIANTE LOS MÉTODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN EN LA EMPRESA TENERÍA DÍAZ”			
o) Toma de la muestra en un tiempo de 15 min p) Medición de la conductividad q) Medición de pH			ESCALA	FECHA:	LÁMINA	
			1:1	2020/10/18	7	

ANEXO H: MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN TRATAMIENTO 10 VOLTIOS

r)



s)



t)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Patricia Alexandra Cobo Cango	“RECUPERACIÓN DE CROMO (III) MEDIANTE LOS MÉTODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN EN LA EMPRESA TENERÍA DÍAZ”		
r) Toma de la muestra s) Medición de la conductividad t) Medición del pH	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR				
			1:1	2020/10/18	8

ANEXO I: MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN TRATAMIENTO 15 VOLTIOS

u)



v)



w)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Patricia Alexandra Cobo Cango	“RECUPERACIÓN DE CROMO (III) MEDIANTE LOS MÉTODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN EN LA EMPRESA TENERÍA DÍAZ”		
u) Toma de la muestra v) w)			ESCALA	FECHA:	LÁMINA
		1:1	2020/10/18	9	

ANEXO J: ANÁLISIS QUÍMICO AGUA RESIDUAL DE CURTIDO LABORATORIO

SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

CÓDIGO: 086-20

Análisis solicitado por: Patricia Cobo
Fecha de Análisis: 22 de septiembre del 2020
Fecha de Entrega de Resultados: 29 de septiembre del 2020
Tipo de muestras: Agua de curtiembre
Localidad: Ambato

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/ L	1 8600
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/ L	8700
Sólidos totales	g/ L	48.09
Cromo total	mg/ L	360
Cromo hexavalente	mg/ L	3.0

Atentamente:



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS
El resultado de análisis afecta solo la muestra analizada

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milán Torres
Combinación: 0998380374 - 032 647 302
Buenos Aires - Ecuador

ANEXO K: ANÁLISIS QUÍMICO CROMO (III) PRECIPITACIÓN 4 M


Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

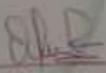
CÓDIGO: 087-20

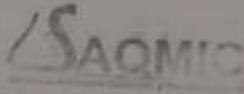
Análisis solicitado por: Patricia Cobo
Fecha de Análisis: 22 de septiembre del 2020
Fecha de Entrega de Resultados: 29 de septiembre del 2020
Tipo de muestras: Agua de precipitación 4M
Localidad: Ambato

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Resultados		
		R1	R2	R3
Cromo 3	mg/L	4.2	3.9	3.9

Atentamente:


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS
El resultado de análisis afecta solo la muestra analizada


Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Contactanos: 0998580374 - 032 942 322
Riobamba - Ecuador

ANEXO L: ANÁLISIS QUÍMICO CROMO (III) PRECIPITACIÓN 5 M

SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

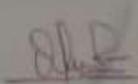
CÓDIGO: 088-20

Análisis solicitado por: Patricia Cobo
Fecha de Análisis: 22 de septiembre del 2020
Fecha de Entrega de Resultados: 29 de septiembre del 2020
Tipo de muestras: Agua de precipitación 5M
Localidad: Ambato

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Resultados		
		R1	R2	R3
Cromo 3	mg/L	2.5	2.5	2.8

Atentamente:



SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS
El resultado de análisis afecta solo la muestra analizada

Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Contactos: 0998580374 - 032 942 322
Riobamba - Ecuador

ANEXO M: ANÁLISIS QUÍMICO CROMO (III) PRECIPITACIÓN SIN DISOLVER


Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

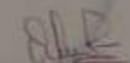
CÓDIGO: 089-20

Análisis solicitado por: Patricia Cobo
Fecha de Análisis: 22 de septiembre del 2020
Fecha de Entrega de Resultados: 29 de septiembre del 2020
Tipo de muestras: Agua de precipitación
Localidad: Ambato

Análisis Químico

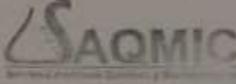
Determinaciones	Unidades	Resultados		
		R1	R2	R3
Cromo 3	mg/ L	1.0	1.2	1.2

Atentamente:



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

El resultado de análisis afecta solo la muestra analizada


Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Millán Reyes
Contactos: 0998580374 - 032 942 322
Batumba - Ecuador

ANEXO N: ANÁLISIS QUÍMICO ELECTROCOAGULACIÓN 5 VOLTIOS

SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

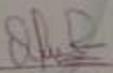
CÓDIGO: 090-20

Análisis solicitado por: Patricia Cobo
Fecha de Análisis: 22 de septiembre del 2020
Fecha de Entrega de Resultados: 29 de septiembre del 2020
Tipo de muestras: Agua de electrocoagulación 5V
Localidad: Ambato

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Resultados		
		R1	R2	R3
Cromo 3	mg/L	1.3	1.1	1.2

Atentamente:



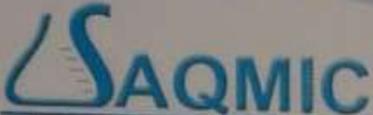
SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS
El resultado de análisis afecta solo la muestra analizada

Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Contactos: 0998580374 - 032 942 322
Bosambía - Ecuador

ANEXO O: ANÁLISIS QUÍMICO ELECTROCOAGULACIÓN 10 VOLTIOS


Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

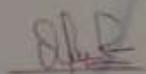
CÓDIGO: 091-20

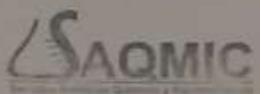
Análisis solicitado por: Patricia Cobo
Fecha de Análisis: 22 de septiembre del 2020
Fecha de Entrega de Resultados: 29 de septiembre del 2020
Tipo de muestras: Agua de electrocoagulación 10V
Localidad: Ambato

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Resultados		
		R1	R2	R3
Cromo 3	mg/ L	2.4	2.5	2.5

Atentamente:


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS
El resultado de análisis afecta solo la muestra analizada


Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Contactanos: 0998580374 - 032 942 322
Riobamba - Ecuador

ANEXO P: ANÁLISIS QUÍMICO ELECTROCOAGULACIÓN 15 VOLTIOS

SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

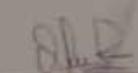
CÓDIGO: 092-20

Análisis solicitado por: Patricia Cobo
Fecha de Análisis: 22 de septiembre del 2020
Fecha de Entrega de Resultados: 29 de septiembre del 2020
Tipo de muestras: Agua de electrocoagulación 15V
Localidad: Ambato

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	Resultados		
		R1	R2	R3
Cromo 3	mg/ L	2.7	2.6	2.6

Atentamente:



SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS
El resultado de análisis afecta solo la muestra analizada

Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes
Contactos: 0998580374 - 032 942 322
Riobamba - Ecuador



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 2020/12/23

INFORMACIÓN DE LA AUTORA	
Nombres – Apellidos: COBO CANGO PATRICIA ALEXANDRA	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: CIENCIAS	
Carrera: INGENIERÍA QUÍMICA	
Título a optar: INGENIERA QUÍMICA	
f. Analista de Biblioteca responsable:	

