



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

---

**REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES (CROMO, DBO,  
DQO) POR ELECTROLISIS EN LAS CURTIEMBRES DE  
LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Gestión  
Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible

**Autora:**

Ing. Adriana Belén Morales Villacís

**Tutor:**

Ing. Renán Arturo Lara Landázuri Mg.

**LATACUNGA –ECUADOR**

**2023**


### **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación: "Reducción de contaminantes (Cromo, DBO, DQO) por electrolisis en las curtiembres de la provincia de Tungurahua" presentado por Morales Villacís Adriana Belén, para optar por el título magíster en Gestión Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible.

### **CERTIFICO**

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, febrero del 2023

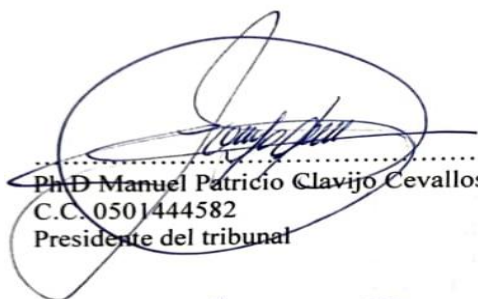


.....  
Mg. Renán Arturo Lara Landázuri  
CC.: 0400488011

## APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: "Reducción de contaminantes (Cromo, DBO, DQO) por electrolisis en las curtiembres de la provincia de Tungurahua", ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, marzo del 2023



.....  
Ph.D. Manuel Patricio Clavijo Cevallos  
C.C. 0501444582  
Presidente del tribunal



.....  
Mg. José Antonio Andrade Valencia  
C.C. 0502524481  
Lector 2



.....  
Mg. Cristian Javier Lozano Hernández  
0603609314  
Lector 3

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a Dios, mi esposo Álvaro, mi hija Rafaela, mis padres Rodrigo y Carmen, por haberme apoyado durante mis dificultades de estudiante y fomentar en mí el deseo de superación para mejorar como profesional y lograr culminar mis estudios con satisfacción.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero Agradecer a Dios por darme sabiduría, entendimiento y fuerzas para culminar el presente trabajo.

A mi esposo Álvaro Cevallos y mi hija Rafaela Cevallos por su apoyo incondicional, quienes estuvieron siempre a mi lado en días y noches difíciles de estudio.

A mis padres por su apoyo y palabras de motivación cuando más necesitaba.

Mi suegro José Cevallos por su aporte e ideas durante la realización de mi trabajo.

Mi tutor Ing. Renán Lara por su guía, paciencia y constancia, sus consejos fueron muy importantes cuando no sabía que información escribir lo que hoy lo he logrado.

Mis profesores por sus palabras sabias y por transmitir sus conocimientos de manera profesional.

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación.

Latacunga, marzo del 2023



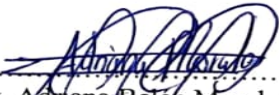
.....  
Ing. Adriana Belén Morales Villacís

C.C. 1803999653

## RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, marzo del 2023

  
.....  
Ing. Adriana Belén Morales Villacís  
C.C. 1803999653

## **AVAL DEL PRESIDENTE**

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: "Reducción de contaminantes (Cromo, DBO, DQO) por electrolisis en las curtiembres de la provincia de Tungurahua" contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los miembros del tribunal en la predefensa.

Latacunga, marzo 2023



.....  
Ph.D. Manuel Patricio Clavijo Cevallos  
C.C. 0501444582  
Presidente del tribunal



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## DIRECCIÓN DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN DESARROLLO SOSTENIBLE

**Título:** Reducción de contaminantes (Cromo, DBO, DQO) por electrolisis en las curtiembres de la provincia de Tungurahua.

**Autor:** Adriana Belén Morales Villacís

**Tutor:** Renán Arturo Lara Landázuri Mg.

#### RESUMEN

En el territorio ecuatoriano la industria del cuero, tiene una trayectoria relevante en el desarrollo del sector curtidor, por lo cual, el objetivo del presente trabajo está enfocado en la disminución de contaminantes producidos por curtiembres como el cromo, Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), por medio de electrolisis (separación de un elemento con la ayuda de electricidad), se considera 4 muestras, con 3 variables: amperios (cantidad de energía eléctrica), distancia y tiempo debido a que son factores muy importantes para la disminución de contaminantes. En las pruebas realizadas con las diferentes variables se evidencia una disminución mínima del 50 % de concentración de contaminantes, sin embargo la segunda muestra es la que más cantidad de DBO5, DQO y cromo total disminuyó, se utilizó como variables 10 amperios, distancia de 30 centímetros y un tiempo de electrolisis de 24 horas lo que se concluye que a mayor distancia de electrolisis, los contaminantes de cromo disminuyen debido a que el campo electromagnético se debilita por la separación de los electrodos; al disminuir el cromo existe la disminución de los otros parámetros como el DBO5 y DQO.

**Palabras Clave:** cromo; curtido; efluente; electrolisis; impactos.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**Title:** REDUCTION OF POLLUTANTS (CHROMIUM, BOD, QOD) BY ELECTROLYSIS IN THE CURVES OF THE PROVINCE OF TUNGURAHUA.

**Author:** Morales Villacís Adriana Belén

**Tutor:** Renán Arturo Lara Landázuri Mg.

**ABSTRACT**

In the Ecuadorian territory, the leather industry has a relevant trajectory in the development of the tanning sector, therefore, the objective of this work is focused on the reduction of pollutants produced by tanneries such as chrome, Biochemical Oxygen Demand at 5 days (BOD5) and Chemical Oxygen Demand (COD), by means of electrolysis (separation of an element with the help of electricity), 4 samples are considered, with 3 variables: amperes (amount of electrical energy), distance and time due because they are very important factors for the reduction of pollutants. In the tests carried out with the different variables, a minimum decrease of 50% in the concentration of pollutants is evident, however, the second sample is the one with the highest amount of BOD5, COD and total chromium exhausted, 10 amps were produced as variables, distance of 30 centimeters and an electrolysis time of 24 hours, which concludes that the greater the electrolysis distance, the chromium contaminants decrease because the electromagnetic field is weakened by the separation of the electrodes; by reducing chromium there is a decrease in other parameters such as BOD5 and QOD.

**Keywords:** chrome; tanning; effluent; electrolysis; impact

## AVAL DE TRADUCCIÓN

Yo Pablo Santiago Cevallos Viscaíno con cédula de identidad número 050259237-1 Licenciado en Ciencias de la Educación especialización Inglés con número de registro de la SENESCYT: 1020-07-733846; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: Reducción de contaminantes (Cromo, DBO, DQO) por electrolisis en las curtiembres de la provincia de Tungurahua, de Adriana Belén Morales Villacís, aspirante a magister en Gestión Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible.

Latacunga, marzo 2023



.....  
Pablo Santiago Cevallos Viscaíno  
CC: 050259237-1

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
Justificación.....	3
Planteamiento del problema .....	4
Preguntas de investigación .....	6
Objetivos de la Investigación .....	6
Objetivos Específicos .....	6
CAPÍTULO I. ....	7
1.    FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	7
1.1.    Antecedentes .....	7
1.2.    Aguas Residuales.....	15
1.3.    Clasificación de las aguas residuales.....	16
1.4.    Tipos de residuos provenientes del proceso de curtición .....	17
1.4.1.    Efluentes Líquidos .....	17
1.4.2.    Particulados.....	17
1.4.3.    Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) .....	18
1.4.4.    Sólidos suspendidos .....	18
1.4.5.    Sólidos Sedimentados .....	18
1.4.6.    Grasas.....	19
1.5.    Contaminación ambiental producida por el proceso de curtición .....	19
1.5.1.    Contaminación del suelo.....	19
1.5.2.    Contaminación del aire .....	19
1.5.3.    Contaminación del agua (ríos, mares, océanos).....	19
1.6.    Tratamiento de aguas residuales.....	20
1.6.1.    Tratamientos biológicos.....	20
1.6.2.    Tratamientos físico – químicos .....	21
1.6.3.    Tratamientos físicos.....	21
1.6.4.    Tratamientos químicos .....	22
1.6.5.    Remoción del cromo .....	22
1.7.    Tratamiento de efluentes líquidos.....	23

1.7.1.	La electrolisis.....	23
1.7.2.	Ventajas del tratamiento electroquímico.....	28
CAPÍTULO II.....		30
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
2.1.	Tipo de investigación:.....	30
2.2.	Técnicas e instrumentos:.....	31
2.3.	Procedimiento para toma de muestras.....	32
2.3.1.	Instrumentos.....	34
2.3.2.	Herramientas.....	34
CAPÍTULO III.....		35
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
3.1.	Discusión.....	47
3.2.	Propuesta para recuperación de cromo.....	49
3.2.1.	Recuperación de cromo.....	50
3.2.2.	Electrolisis.....	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		57
CONCLUSIONES.....		57
RECOMENDACIONES.....		58
BIBLIOGRAFIA.....		60
ANEXOS.....		65

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Variables de muestreos para electrolisis</i> .....	34
<b>Tabla 2.</b> <i>Resultados obtenidos de ingreso de agua para realizar los procesos</i> .....	35
<b>Tabla 3-</b> <i>Resultados obtenidos luego de curtido de pieles</i> .....	36
<b>Tabla 4.</b> <i>Resultados Obtenidos luego de la electrólisis</i> .....	37
<b>Tabla 5.</b> <i>Resultados Obtenidos luego de la electrolisis</i> .....	38
<b>Tabla 6.</b> <i>Resultados Obtenidos luego de la electrolisis</i> .....	39
<b>Tabla 7.</b> <i>Resultados Obtenidos luego de la electrolisis</i> .....	40
<b>Tabla 8.</b> <i>Resultados Obtenidos de lodos luego de electrolisis</i> .....	41
<b>Tabla 9.</b> <i>Resultados Obtenidos Totales</i> .....	42
<b>Tabla 10.</b> <i>Porcentaje de disminución de parámetros -electrolisis</i> .....	47
<b>Tabla 11.</b> <i>Presupuesto para el proyecto</i> .....	55

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Principales componentes de los reactores electrolíticos.</i> .....	24
<b>Figura 2.</b> <i>Principales procesos que pueden desarrollarse en una celda electrolítica</i> .....	25
<b>Figura 3.</b> <i>Tipos de procesos electrolíticos.</i> .....	27
<b>Figura 4.</b> <i>Ubicación de la curtiduría Curtipiel Castro.</i> .....	32
<b>Figura 5.</b> <i>Comparación Cromo Total</i> .....	43
<b>Figura 6.</b> <i>Comparación DQO (mg/l)</i> .....	44
<b>Figura 7.</b> <i>Comparación DBO5 (mg/l)</i> .....	45
<b>Figura 8.</b> <i>Comparación pH</i> .....	46
<b>Figura 9.</b> <i>Proceso de recuperación de cromo</i> .....	52
<b>Figura 10.</b> <i>Diseño tanque de electrolisis</i> .....	55

## **INFORMACION GENERAL:**

**Título del proyecto:** Reducción de contaminantes (cromo, DBO5, DQO) por electrolisis en las curtiembres de la provincia de Tungurahua.

**Línea de investigación:** Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

**Sublínea de investigación:** Manejo y conservación del recurso hídrico.



## **INTRODUCCIÓN**

Una de las industrias que se ha convertido en un desafío ambiental es la industria de curtiembres, debido a que durante su proceso productivo manipulan sustancias químicas, mismas que generan efluentes tóxicos que posteriormente son introducidas a los ríos, en algunos casos sin mayor tratamiento (Arias, 2013).

En las industrias del curtido se utilizan las pieles de los animales que constituyen la principal materia prima del sector industrial del curtido (Ministerio del Ambiente, 2013).

En el Ecuador, la industria del cuero, tiene una trayectoria relevante en el desarrollo del sector curtidor, actualmente se procesa alrededor de 350 mil cueros y pieles anualmente (Salinas, 2014).

La provincia de Tungurahua cuenta con 1.770 talleres artesanales dedicados a la confección de prendas de vestir de cuero y zapatería, alcanzando el 75,6% de la actividad artesanal de la rama en Ecuador, así mismo, la provincia de Imbabura cuenta con 309 talleres artesanales dedicados a la confección en cuero (Centro de Investigaciones Económicas y de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa, 2014).

En la ciudad de Ambato el 40% de la producción de cuero la realizan las empresas grandes asociadas en el gremio llamado ANCE (Asociación Nacional de Curtidores del Ecuador) mientras que el 60% restante lo realizan los pequeños y medianos productoras artesanales que maquilan la maquinaria, agremiados en dos asociaciones ASOCAT (Asociación de Curtidores Artesanales de Tungurahua) y ASOCUR (Asociación de Curtidores) que mantienen sus talleres y fábricas en los cantones Baños, Cevallos y en Ambato (Abril, 2018).

Los procesos de curtiembre en su mayoría se caracterizan por tener cuatro etapas de producción: ribera, en donde se efectúa la limpieza de la piel; curtido, mediante el cual se realiza varios procesos físicos y químicos a la piel con la finalidad de reducir la cantidad de putrefacción para así transformar en cuero; en donde se tiene suavidad y otras características muy especiales; acabado, en el cual se le imparte a la piel las

características que el mercado impone para cada producto, como son laqueado y grabado (Parada, 2019).

Dentro de los procedimientos se emplean fundamentalmente dos métodos: uno en base de sales de cromo y otro a base de agentes vegetales; y de ahí el 80 % de las industrias dedicadas a la actividad del curtido de pieles utiliza el proceso basado en las sales de cromo (Ministerio del Ambiente, 2013). Las proteínas y otras materias extraídas de las pieles se estima que producen de un 50 a un 70 % de la carga de DBO5 (demanda biológica de oxígeno) y los productos químicos empleados en el proceso de un 30 a un 50 % (Parada, 2019). Entre los residuos, el cromo hexavalente mediante diversos análisis se ha encontrado que es carcinógeno tanto por inhalación como por ingestión, así como diversos efectos adversos sobre la salud; el contacto de la piel con ciertos compuestos de  $\text{Cr}^{+6}$  puede producir úlceras, además se han descrito reacciones alérgicas que se manifiestan como enrojecimiento e hinchazón grave de la piel (Estrada, 2014).

Como se evidencia, el tratamiento químico de pieles para la obtención de cuero, generan gran cantidad de aguas residuales que contienen alto volumen de contaminantes como pelos, capas de grasa, sangre, cloruro y sulfuro de sodio, cal, sales de cromo o taninos y solventes (Jaramillo, 2012).

Como manifiesta Arias (2013) las aguas residuales de curtiduría contienen alrededor de 30-35% de la sal de curtido inicial, cuyo contenido de compuestos orgánicos solubles y la naturaleza contaminante de dichos residuos es expresado como DBO (demanda biológica de oxígeno) y DQO demanda química de oxígeno, proceso que puede afectar el requerimiento de  $\text{O}_2$  de los organismos acuáticos (Mayta, 2017).

El derramamiento al ambiente de grandes cantidades de metales pesados se produce como consecuencia de diversas actividades de curtiembres, mismas que provocan efectos negativos en el medio natural y en la salud humana, en el que se encuentra metales como el cromo que es altamente tóxico para todas las formas de vida, por su comprobada mutagenicidad y carcinogenicidad (Ordoñez, 2019).

El cromo debe ser tratados antes de su descarga final, pudiendo realizarse por métodos físicos y químicos (Ordoñez, 2019).

Frente a esta problemática en torno a la contaminación del agua, los países desarrollados están experimentando la necesidad de tratar sus aguas residuales para evitar o controlar la contaminación hídrica, entre las que mencionamos a electrolisis, la reutilización y recirculación que son operaciones que hacen parte de las estrategias de manejo del agua, siendo necesario realizar tratamientos a los efluentes (Restrepo et. al., 2016).

### **Justificación**

Actualmente la humanidad afronta una de las mayores problemáticas del siglo XXI, la necesidad de proveer agua para una creciente población mundial que requiere satisfacer las demandas de agua potable, de riego y para la industria (Restrepo et. al., 2016). En términos generales, el agua es un recurso natural de dimensiones globales del cual dependen todas las funciones de los ecosistemas, las actividades sociales y económicas (Estrada, 2014).

La demanda de agua va en aumento en relación con el agua disponible, existe también una sobreexplotación de las fuentes, además de contaminación (Restrepo et. al., 2016).

Alrededor del mundo los ríos, lagos, canales y otros cuerpos de agua son contaminados por descargas industriales, por la actividad antropogénica o por procesos naturales; en los países en desarrollo un 70% de los desechos industriales se vierten al agua sin tratamiento alguno, contaminando así el agua disponible (Arango R. Á., 2022). Diversas regiones del planeta sufren por la escasez de agua, mientras que en otras el problema no es la falta del recurso, sino su mala gestión y distribución, además de los métodos empleados para ello, convirtiéndose en uno de los mayores desafíos que enfrenta hoy en día la humanidad que es el de proporcionar agua, principalmente potable a la inmensa mayoría de población mundial, siendo una necesidad particularmente crítica en los países en vía de desarrollo (Restrepo et. al., 2016).

La industria curtiembre se caracteriza por gran cantidad de consumo de agua, así como por la gran cantidad y variedad de compuestos usados en las diferentes operaciones, dichos efluentes presentan generalmente elevados valores de DQO5, DBO, Cromo.

El cromo es uno de los componentes más importantes en los procesos de curtido ya que se incorpora en la estructura de la piel formando complejos con el colágeno del cuero, lo cual evita esta manera su putrefacción (Gamboa, 2016).

Sin embargo, el cromo al ser un químico contaminante y altamente toxico representa una amenaza para el ambiente específicamente para los recursos hídricos, la flora y fauna (Gamboa, 2016).

Las curtiembres son las que más utilizan cromo para el proceso de curtido de pieles, siendo uno de las mayores fuentes de contaminación, por lo que son protagonistas de los impactos negativos en los lugares de recepción de agua, incumpliendo con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental Acuerdo Ministerial 097, que son reguladas y normadas por la Autoridad Ambiental.

Es por esta razón que el presente trabajo tiene como finalidad establecer estrategias para disminuir valores de contaminación de cromo, Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5, Demanda Química de Oxígeno DQO que con el tiempo causan efectos nocivos al ambiente, es así que durante el desarrollo de la presente investigación se establecerá metodologías para la reducción de dichos contaminantes.

Entre las metodologías mencionadas se propone la reducción de cromo, DBO5, DQO en el agua y la reutilización del cromo mediante un proceso electroquímico (electrolisis) utilizado en el tratamiento de aguas residuales, y por último el diseño e implementación de un plan piloto para tratamiento de aguas con la finalidad de disminuir los parámetros en mención.

### **Planteamiento del problema**

La industria de la curtiembre se considera una de las actividades más importantes debido a los ingresos económicos significativos en varias provincias del país, sin embargo los procesos utilizados en dicha actividad genera contaminación en diversos

aspectos ambientales, en Ecuador se desarrolla en un 95% en la provincia de Tungurahua, siendo la que más economía genera, entre las principales industrias se encuentra el sector cuero y calzado (Arias, 2013).

Se estima que dentro del país existan alrededor de 80 curtiembres entre empresas grandes y artesanales, ninguna de estas empresas expende productos para el tratamiento del cuero, lo que significa que es una fuente de trabajo productiva (Ramos, 2015).

A nivel ambiental las consecuencias son muy significativas específicamente en el recurso agua ya que durante el proceso de curtido se utilizan distintos componentes químicos lo que quiere decir que dicha actividad económica además de ser un gran motor laboral, tal actividad se convierte en un gran foco generador de contaminación ambiental (Masabanda et.al ,2017).

La contaminación generada por las curtiembres además de los residuos sólidos son los residuos líquidos con químicos provenientes de las aguas residuales que pueden llegar a crear malos olores y emitir gases tóxicos producto de la descomposición de la atmósfera. Por otro lado, se han registrado modificaciones físicas en las áreas en las que se descargan los efluentes contaminados en la que por la contaminación se genera mayor dureza y aumento de la acidez con disminución del pH del agua y concentración de metales pesados, provocando acción tóxica sobre flora y fauna natural de lugares en los que se vierten estos efluentes. (Medina d.l., 2010).

La presencia de grandes cantidades de metales en las descargas puede ser de alto riesgo para la salud tanto como para las personas externas como para quienes trabajan con este tipo de sustancias, debido a que la mayoría de los químicos presentes en este proceso se encuentran relacionados con el cáncer, afectaciones en la piel e intoxicaciones. Por otra parte, la gran cantidad de productos químicos tóxicos para el medio ambiente, por el uso de estos se originan grandes cantidades significativas de sulfuro de hidrógeno, amoníaco, cromo y materia orgánica, esto se mezclan con el agua durante el proceso, teniendo en cuenta que la cantidad de agua utilizada por cada metro cuadrado de piel tiene un promedio de 3 metros cúbicos de agua (Arango R. A., 2015).

Entre los elementos que salen de la curtiembre se tiene el cloruro de sodio, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sulfuros (S), amonio, nitrógeno orgánico, entre otros. Respecto a sustancias peligrosas se identifica arilaminas, pentaclorofenol (PCP), cromo (Arango R. Á., 2022).

En la provincia de Tungurahua, cantón Ambato es específicamente la contaminación por Cromo, DBO, DQO, debido a que la mayoría de las curtiembres se desarrollan de forma industrial donde los efluentes incumplen los límites permisibles como Cromo, DBO, DQO que posterior son vertidas en acequias y ríos, provocando un importante impacto nocivo para el ambiente y para el hombre, el principal elemento utilizado en el proceso de la curtiduría es el cromo, y este es considerado uno de los agentes más contaminantes de esta industria (Arango Á., 2015).

### **Preguntas de investigación**

- ¿Las descargas de efluentes de curtiembres de la provincia de Tungurahua incumplen con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental cromo, DBO, DQO los cuales son vertidos hacia los ríos, quebradas?
- ¿Se puede disminuir los valores de incumplimiento de la normativa ambiental de cromo, DBO, DQO mediante el proceso de electrolisis inversa?

### **Objetivos de la Investigación**

#### **Objetivo General**

- Desarrollar un proceso de reducción de contaminantes por cromo, DBO5, DQO por electrolisis en las curtiembres en la provincia de Tungurahua.

#### **Objetivos Específicos**

- Diagnosticar los niveles de contaminación por cromo que causa incumplimientos en DBO5, DQO en la curtiembre Curtipiel Castro del Cantón Ambato.
- Realizar el proceso de disminución de cromo por electrolisis inversa.
- Generar un proceso de recuperación de cromo en la curtiduría Curtipiel Castro

# **CAPÍTULO I.**

## **1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **1.1. Antecedentes**

La industria de curtiembre trata del procesamiento de pieles, usualmente de ganado vacuno, lo cual es tratado para convertir en cuero, material que es utilizado en calzado, tapicería, vestimenta, entre otros usos, cuya industrialización del material se desarrolló más en Europa y Estados Unidos a partir del siglo XX, en su mayoría, ligados a la moda y que incentivó el uso de nuevas herramientas tecnológicas, químicos y otros agentes de tratamiento, hasta ponerlo a la venta, seguido de un proceso de curtición, que es por medio de varios procesos químicos y lavados, para de esta forma poder realizar los acabados de este material que tiene que ver con la textura, color y calidad del cuero (Silva & Salinas, 2022).

De Acuerdo a Green Peace (2022) ,el proceso del curtido se ha requerido alrededor de 500 kilos de productos químicos para el procesamiento de una tonelada de cuero crudo; se estima que un 85% no se incorporan en el cuero acabado, además que la producción también requiere la eliminación de la mayoría de los componentes de la piel cruda, de la cual se termina aprovechando únicamente el 20% del peso, el otro 80% se descarta como residuo, teniendo como consecuencia directa, la generación de importantes volúmenes de residuos, sólidos o como efluentes líquidos con una combinación

extremadamente compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos que hace que el sector sea altamente.

La transformación del cuero es un costo alto de contaminación y no solo por los químicos que se utilizan sino también por la cantidad de agua utilizada, y que además tiene una serie de tratamientos, en ella destacamos la utilización del cromo en donde las pieles son sometidas a la acción de diferentes agentes químicos que interaccionan con las fibras de colágeno para obtener un cuero estable y durable (Cueltan et. al., 2020). Posterior a la producción de cuero quedan los subproductos o productos residuales, como pelos, restos de carnaza, cal, sulfuros, grasas, restos de cuero, polvo de curtido, aerosoles sólidos, además se encuentran los residuos de líquidos y químicos, como lo son los minerales, este tipo de elementos pueden ser de alto riesgo en la salud, tanto en las personas externas, como para quienes trabajan con este tipo de productos, haciendo que el reto sea más grande para el tratamiento de los afluentes que se encuentra relacionado con el cáncer, afecciones de la piel e intoxicaciones (Silva & Salinas, 2022).

En Tungurahua, los ríos Ambato y Pachanlica, principales fuentes hídricas de la región, presentan un alto contenido de cromo, plomo, hierro, grasas, plaguicidas, bacterias coliformes fecales y otros derivados procedentes de la curtiembre, así como de otras industrias relacionadas con la fabricación de alimentos, ropa y papel, al verter sus desechos, incrementando el riesgo de afectaciones al agro, los animales de la zona y salud de la población (Medina d. l., 2010). Del total de la actividad de curtiembre de Ecuador, se estima que aproximadamente el 80% de la industria efectúa sus actividades dentro de la provincia de Tungurahua, dicha actividad económica es un gran motor laboral, de la misma forma, tal actividad se convierte en un gran foco generador de contaminación ambiental (Masabanda et. al., 2017).

La utilización del cromo, acumula en el suelo, los seres humanos y los animales están expuestos a este por inhalación (en el aire o en el humo de tabaco), a través de la piel (exposición ocupacional) o por ingestión (generalmente de productos agrícolas o en el agua). La toxicidad sistemática del cromo se debe especialmente a los derivados



hexavalentes que, contrariamente a los trivalentes, pueden penetrar en el organismo por cualquier vía con mucha mayor facilidad; el cromo trivalente presente en los residuos de piel curtida puede sufrir modificaciones en sus propiedades químicas según el ambiente en que se encuentre; de hecho, cuando se encuentra en un medio básico o se combustiona en presencia de cal u otra sustancia alcalina tiende a transformarse a cromo hexavalente, la forma mucho más tóxica de este metal. (Cueltan et. al., 2020).

Es necesario conocer referente al curtido de pieles.-El proceso de transformación del cuero es el conjunto de operaciones físico-químicas que convierte a la piel cruda en un material durable e imputrescible, llamado cuero, utilizando para ello, productos químicos y agua. El proceso varía en función al tipo de piel (vacuna, porcina, caprina, ovina u otra), o bien, al tipo de conservación (secado, salado o fresca) y en función al artículo final que se fabricará con el cuero (bolsos, suela para zapatos, vestimenta, etc.). No existe una forma única para transformar pieles en cueros, sin embargo, se presentan las fases en las que se divide normalmente este proceso de transformación del cuero:

- **Recepción y almacenamiento de las pieles.**- de acuerdo a Heredia (2017) en su investigación nos explica que las pieles que se encuentran expuestas al aire en estado natural sufren procesos de degradación debido a la acción bacteriana, la cual es acelerada por el efecto de la temperatura y el tiempo y por las propias enzimas de la piel. Esto obliga a realizar unos trabajos preliminares a la piel antes de almacenamiento. En primer lugar, se procede al recortado de las partes que no sirvan para obtener cuero, tales como el hocico, la cola, etc. Estos trozos de piel son asimilables a residuos sólidos urbanos ya que no son tóxicos, si bien pueden desprender malos olores cuando se disuelve la sal que los conserva; estos residuos pueden ser aprovechados para la obtención de gelatinas, cola animal, etc., convirtiéndose así en subproductos.
- **Salado:** A la piel se le adiciona sal junto con un agente alcalino o un antibiótico. Se produce la deshidratación parcial de las pieles, inhibiendo el crecimiento de las bacterias. Prácticamente toda la sal absorbida por las pieles penetra por el lado carne. Con este tratamiento, las pieles pueden ser conservadas durante semanas o

meses. Este sistema es el más difundido para proteger la estructura de las pieles, en esta etapa, por eficacia y economía.

- **Secado:** Se disponen las pieles al aire libre expuestas a corrientes de aire, siendo muy importante que el secado sea rápido con libre circulación de aire tanto sobre el lado carne como sobre el lado flor. Este método es especialmente adecuado para pieles delgadas porque seca rápido.
- **Remojo:** Su objetivo es devolver a la piel su estado de hinchamiento natural y eliminar la suciedad (barro, sangre, estiércol, microorganismos) así como sustancias proteicas solubles y agentes de conservación. El proceso de remojo consiste en realizar una humectación de las fibras de la piel deshidratada en el menor tiempo posible puesto que éste interrumpe el proceso de conservación y, por consiguiente, se favorece el ataque bacteriano ya que las bacterias precisan de agua para su reproducción. Un remojo malo o insuficiente puede ocasionar serios inconvenientes para los procesos siguientes, en la fabricación del cuero. Las aguas residuales de esta operación presentan un alto contenido en materia orgánica y elevada salinidad pudiendo causar problemas de putrefacción con malos olores (Arango R. Á., 2022).
- **Pelambre-calero:** Entre los objetivos del pelambrado o pelambre podemos destacar los siguientes:
  - a) Quitar o eliminar de las pieles remojadas la lana o el pelo y la epidermis.
  - b) Favorecer un hinchamiento de la piel que promueva un aflojamiento de la estructura reticular.
  - c) Promover la acción química hidrolizante del colágeno que aumenta los puntos de reactividad en la piel, al mismo tiempo que la estructura sufre desmoronamiento en sus enlaces químicos.
  - d. Conversión de grasas en jabones y alcoholes por saponificación, las cuales, al ser más fácilmente solubles en agua, se facilita su eliminación.

e. Aumentar el espesor de la piel para poder ser descarnada y si es necesario para la definición del artículo final, también poder ser dividida.

f. Extracción y eliminación de las pieles de un grupo de proteínas y otros productos interfibrilares solubles en medio alcalino, o degradables por el efecto de la alcalinidad. El pelo desprendido en este proceso ha de ser filtrado y de esta forma se separa de las aguas residuales. Este pelo puede ser aprovechado ya que es valorizable como abono agrícola. Las pieles no se deben dejar un tiempo excesivo en este baño, ya que de lo contrario el pelo sería atacado por el baño alcalino, lo disolvería y no podría separarse en el filtro. El pH de las pieles a la salida del baño es superior a 12. Por ello, tras escurrirse del baño, las pieles son sometidas nuevamente a unos lavados. Estas operaciones descritas hasta ahora se efectúan con agua a temperatura ambiente y se llevan a cabo en dos días (Moya, 2018).

g. El calero consiste en poner en contacto los productos alcalinos  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{NaHS}$ , aminas, y todos los otros productos involucrados tales como sales, tensoactivos, peróxidos, etc., disueltos en agua con la piel en aparatos agitadores (fulones- bombos batanes - molinetas- mezcladores, etc.) durante un tiempo más o menos largo, hasta conseguir la acción de los productos del calero en toda la sección de la piel, y el grado de ataque físico-químico deseado. Los efectos del calero son:

a. Provocar un hinchamiento de las fibras y fibrillas del colágeno.

b. Ataque químico por hidrólisis de la proteína-piel aumentando los puntos de reactividad, y si el efecto es drástico, llega a la disolución de las fibras y las convierte en una semipasta pregelatinada. (Abril, 2018)

c. Ataque químico a las grasas, raíces del pelo, etc., facilitando su eliminación mediante su disolución en agua. El agua residual de estos dos últimos procesos (pelambre y calero) es la que más contamina en una tenería, constituyendo más

del 50% de la DBO<sub>5</sub> total. El efluente se caracteriza por contener gran cantidad de proteínas, sulfuros y cal (Omar, 2017).

- **Descarnado y recortado:** Las pieles depiladas son conducidas a la zona de descarnado, donde se recortan las partes que no son interesantes para curtir, a las cuales se denomina carnazas. Después, se introducen en la máquina de descarnar donde mediante cuchillas se arrancan de la piel el tejido subcutáneo y adiposo que tenía la piel bruta. Con ello obtenemos un subproducto llamado sebo que normalmente va acompañado de un 80% de agua. La operación concluye con un recortado final que elimina aquellas partes que pueden ocasionar problemas en las operaciones posteriores (Salinas, 2014).
- **Dividido:** En esta operación se separa mecánicamente la piel en dos partes, una que se dedicará a cueros (flor) y otra que recibe el nombre de cerraje, que es la parte carne, comúnmente llamada afelpado (Silva & Salinas, 2022).
- **Proceso de curtición.-** La parte flor de la piel que procede del dividido (denominada piel en tripa) y el cerraje apto para curtir se introducen en los bombos de curtición, donde se llevan a cabo las operaciones que a continuación se detallan.
- **Desencalado:** Sirve para eliminar la cal (unida químicamente, absorbida en los capilares, almacenada mecánicamente) procedente del baño de pelambre y para el deshinchamiento de las pieles. Parte de la cal es eliminada por el lavado con agua y luego por medio de ácidos débiles, o por medio de sales amoniacaes (sulfato de amonio o cloruro de amonio) o de sales ácidas (bisulfito de sodio), o bien aplicando el dióxido de carbono tal y como se recoge en las mejores técnicas disponibles. El dióxido de carbono se aplica burbujeándolo en agua dentro del bombo. La ventaja es que no es necesaria la utilización de sales amónicas para este proceso, puesto que aumentaría el ya por sí alto contenido en nitrógeno del agua residual, mientras que la desventaja es que los tiempos de desencalado aumentan, con lo que es necesario ayudarse de ácidos débiles

que impiden el hinchamiento de la piel y disminuyen el tiempo de proceso (Arango R. Á., 2022).

- **Rendido:** Se efectúa en el mismo bombo del desencalado sin escurrir este baño y añadiendo productos enzimáticos. El objetivo del rendido es lograr por medio de enzimas, un aflojamiento y ligera pectización de la estructura del colágeno, al mismo tiempo que se produce una limpieza de la piel de restos de epidermis, pelo y grasas si todavía no han sido eliminados en las operaciones precedentes (Torres, 2006).
- **Piquelado:** La finalidad de este proceso es acidular, hasta un determinado pH, las pieles en tripa antes de la curtición al cromo, al aluminio o cualquier otro elemento curtiente. Con ello se logra bajar el punto isoeléctrico de la piel, con el fin de facilitar que el curtiente penetre en la piel, en todo su corte transversal. En realidad, se hace un tratamiento con sal (cloruro sódico) y ácido (ácido sulfúrico) hasta bajar a un pH de aproximadamente 3. Las aguas residuales de este proceso se caracterizan por un elevado contenido en sales y una elevada acidez. En este punto las pieles están listas para pasar a su posterior operación, la de curtir (Salinas, 2014).
- **Curtición:** Una vez la piel ha sido preparada convenientemente mediante los procesos anteriormente descritos, llega la hora de convertirla en cuero mediante el proceso de curtición, que concederá a la piel las características esperadas, haciéndola imputrescible y apta para las aplicaciones deseadas. Al ser muchos los tipos de cueros que se quieren obtener en la curtición, es fácil deducir que este proceso se puede llevar a cabo de diferentes formas. Primariamente se dividen los distintos procesos de curtición según el tipo de curtiente utilizado, ya sea sulfato de cromo, alhéido, sintéticos o curtientes vegetales. A modo general, se puede decir que la curtición actúa reticulando las cadenas cola génicas de la piel y su consecuencia es que dichas cadenas ya no se hinchan o deshinchan por absorción o pérdida de agua, aumentando la resistencia a la temperatura, la putrefacción, los agentes químicos, etc. Las aguas residuales de

este proceso contienen elevada cantidad de cromo. Después de curtir las pieles se lavan para eliminar restos de cromo no fijado (Barrera, 2014).

- **Ecurrido y rebajado:** En primer lugar, la piel curtida se escurre, es decir se elimina parte de agua que contiene con el fin de poder realizar la operación mecánica posterior que es el rebajado. En esta operación, se ajusta el espesor del cuero a lo deseado. El objetivo principal es conseguir cueros de espesor uniforme, tanto en un cuero específico como en un lote de cueros. Los residuos producidos en este paso son virutas cromadas las cuales se utilizan para hacer colas, una vez descromadas (Minchala, 2020).
- **Neutralización:** En este momento del proceso, se tiene un cuero curtido al cromo, rebajado y escurrido, que aún está húmedo. Antes de comenzar la recurtición con curtientes orgánicos naturales o sintéticos, hay que neutralizar el cuero curtido al cromo para posibilitar a los re curtientes y colorantes, una penetración regular en el cuero, y evitar sobrecargar la flor evitando con ello sus consecuencias negativas (poro basto, tensión en la flor). Al mismo tiempo, la neutralización debe compensar las diferencias de pH entre pieles diferentes, tal como ocurre cuando se recorten conjuntamente pieles procedentes de diferentes curticiones y muy especialmente cuando se transforma “wet blue” (piel curtida al cromo) de diferentes procedencias. Los productos utilizados en esta etapa son sales (generalmente formiatos y bicarbonatos), las cuales garantizan que el pH de la piel es el adecuado, para no tener problemas en las sucesivas etapas (Minchala, 2020).
- **Recurtición:** La etapa de recurtición consiste en la adición de curtientes, similares o iguales a los que se utilizan en la curtición con el fin de dotar a la piel curtida de las características requeridas para definir un artículo determinado (Arango R. A., 2015).
- **Tintura:** comprende el conjunto de operaciones cuyo objeto es conferir a la piel curtida una coloración determinada, sea superficial, parcial o total, para la tintura de los cueros se utiliza un bombo. Por lo que favorecen en mayor

proporción que exista una penetración y por lo tanto la rápida distribución del colorante. Sin embargo, una vez acabada la tintura, es indispensable verificar el pH, agotamiento y atravesado. Regularmente el pH final debe ser de 3-3,5, el baño debe estar débilmente coloreado y no debe teñir la mano. Tras el teñido, se procede a lavar los cueros para eliminar los restos de baño de color (Abril, 2018).

- **Engrase:** En las operaciones previas al proceso de curtición del cuero, como el depilado y el rendido, se minimizan la mayor parte de los aceites naturales de la piel. Así, el cuero no tiene suficientes lubricantes como para impedir que se seque. El cuero curtido es entonces duro, poco flexible y poco agradable al tacto. Las pieles, sin embargo, en su estado natural tienen una turgencia y flexibilidad agradable a los sentidos debido al gran contenido de agua, que es alrededor del 70-80% de su peso total. Los productos aplicados en este proceso, tal y como su nombre indican, son grasas tanto sintéticas como naturales. Éstas aumentan considerablemente los valores de DQO en el agua residual, el engrase es el último proceso en fase acuosa en la fabricación del cuero. En los trabajos de ribera y de curtición, es el proceso que sigue en importancia, influenciando en las propiedades mecánicas y físicas del cuero. Si el cuero se seca después del curtido, se hace duro porque las fibras se han deshidratado y se han vínculo entre sí, formando una sustancia compacta. A través del engrase se incorporan sustancias grasas en los espacios entre las fibras, donde son fijadas, para obtener entonces un cuero más suave y flexible (Torres, 2006).

## **1.2. Aguas Residuales**

Los efluentes son generados en residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Estas pueden ser tratadas en el sitio en el cual son generadas o a su vez pueden ser recogidas y llevadas por medio de tuberías y bombas a una planta de tratamiento municipal. A menudo algunos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado. Los

contaminantes que describen el agua residual son generalmente una mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos (Villacís, 2011).

Se pueden clasificar de acuerdo a sus componentes en: físicos, químicos y biológicos.

El agua contaminada se caracteriza por sus propiedades físicas como:

- **Color:** Determina cualitativamente el tiempo de las aguas residuales. Las aguas residuales recientes toman un color gris, en cambio en períodos prolongados de conservación, las aguas residuales se tornan de color negro (ausencia de oxígeno, proliferación de microorganismo anaeróbico) (Minchala, 2020).
- **Olor:** Los olores son debidos a los gases liberados durante procesos de descomposición de la materia orgánica. Estos tienen relación directa con la concentración de materia orgánica presente en aguas contaminadas y el entorno de degradación en que se descompone (entorno anaeróbico genera sulfuro de hidrogeno, componente característico de olores sépticos) (Romero et.al.,2017)
- **Temperatura:** parámetro básico para el funcionamiento adecuado de los sistemas de tratamiento en su fase secundaria (tratamiento biológico) (Silva & Salinas, 2022).
- **Turbidez:** grado de turbidez del agua, los sólidos se presentan en suspensión debido a su densidad y características en el medio receptor (Salinas, 2014).
- **Sólidos:** Se presentan como sólidos floculados, suspendidos y sedimentados. Estos pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y condiciones anaeróbicas en entornos acuáticos sin tratar. La remoción de sólidos sedimentados permite proteger los equipos (bombas, tuberías, etc.) de efectos de abrasión y a su vez de los componentes biológicos como: microorganismos, plantas y químicos, sean estos orgánicos (carbohidratos, pesticidas) o inorgánicos (pH, nitrógeno, metales pesados, otros) (Jefferson, 2020).

### **1.3. Clasificación de las aguas residuales**

Según Villacís (2011), las aguas residuales se clasifican de la siguiente manera:



**Aguas Residuales Domésticas.** – efluentes líquidos que se originan en viviendas ciertas Instituciones y establecimientos comerciales.

**Aguas Residuales Industriales.** - Desechos líquidos provenientes de la industria. De acuerdo al tipo de industrias que pueden contener, además de residuos tipo doméstico, de los procesos industriales

**Aguas Pluviales.** - Son las aguas de la escorrentía superficial, provocada por las precipitaciones atmosféricas (lluvia, nieve, granizo).

**Aguas Agrarias.** – de origen agrícola y ganadero. La denominación de aguas agrarias se debe reservar a las procedentes exclusivamente de la actividad agrícola, aunque está muy generalizada su aplicación también a las procedentes actividades ganaderas.

#### **1.4. Tipos de residuos provenientes del proceso de curtición**

De acuerdo a Ramos (2015) menciona que, al realizar el proceso de curtido se extrae gran cantidad de grasa, carne y pelo. Como resultado, las aguas servidas contienen tierra, sal, sangre, estiércol, aceite, etc., y que además poseen un nivel de alcalinidad, sulfuros, sólidos disueltos y suspendidos y emulsiones:

##### **1.4.1. Efluentes Líquidos**

Las industrias consumen grandes cantidades de agua, energía y productos químicos auxiliares, además genera una gran cantidad de agua residual. Poseen concentraciones de colorantes, componentes inhibidores, tensoactivos, componentes clorados., entre otros. (Arango R. Á., 2022).

##### **1.4.2. Particulados**

Los vertimientos industriales que son descargados directamente a un cuerpo de agua sin un pre tratamiento ocasionan efectos negativos en la vida acuática y en los usos posteriores de éste. De forma similar, cuando se vierten a la red de alcantarillado, ocasionan incrustaciones y algunas veces taponamiento de la tubería por la gran cantidad de sólidos sedimentables que llevan. Por otro lado, la presencia de sulfuros y sulfatos acelera el deterioro de materiales de concreto o cemento. Es importante indicar que varios compuestos como las proteínas y los productos de su degradación contienen

gran cantidad de carga contaminante en los vertimientos, que generan efectos negativos al medio ambiente. Esto influye directamente en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos, las aguas residuales resultantes del proceso de las curtiembres presentan con mayor agente químico el Cromo (Cr) en su forma trivalente Cr (III), pero dicho elemento puede transformarse a su forma hexavalente Cr (VI), en dependencia de las características propias del agua que ayuden a la oxidación del Cr (III). (Higuera et.al, 2005).

#### ***1.4.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)***

Es la cantidad de oxígeno requerida que se utiliza para oxidar la materia orgánica de un vertimiento. El contenido de oxígeno es una cualidad esencial en el agua, ya que la ausencia total de oxígeno disuelto crea estrés en el ecosistema. Un alto valor de DBO5 afecta la calidad del agua disminuyendo el contenido de oxígeno disuelto en la misma. En curtiembres se debe a la presencia de materia orgánica obtenida de los procesos de pelambre y curtición vegetal (Chafla, 2011).sólidos

#### ***1.4.4. Sólidos suspendidos***

Posee efecto negativo cuando se sedimenta, ya que por la presencia de pueden taponar alcantarillados. El pelo es un sólido suspendido componente del cuero en bruto, compuesto de queratina. Es química y bioquímicamente muy estable. Su destrucción se lo realiza mediante el proceso de pelambre, en donde se disuelve el pelo utilizando cal y sulfuro de sodio, produciéndose. Se utiliza gran cantidad de agua y la descarga contiene gran cantidad de carga orgánica (sólidos suspendidos), además de la presencia de sulfuro y cal, el efluente tiene un elevado pH de 11 a 12 (alcalino) y se da un aumento drástico de la DBO realizado en 5 días (Restrepo et. al., 2016).

#### ***1.4.5. Sólidos Sedimentados***

La producción de sólidos sedimentables se da especialmente en el proceso de curtición, ya que es aquí, donde se utilizan sales de cromo para elaborar los diversos tipos de cuero. La disposición de estos residuos sólidos de curtidos y el resto de residuos generados en el procesamiento de la piel (Romero, 2017).

#### ***1.4.6. Grasas***

Se encuentran abundantemente como tejido adiposo adherido en el lado carne del cuero. En el proceso de pelambre se saponifican parcialmente en el medio alcalino, dando origen a una parte del valor del extracto etéreo del efluente total de curtiembre. La eliminación de la grasa se da por el proceso de descarte, el cual consiste en la eliminación mecánica de la grasa natural, y del tejido conjuntivo, esencial para las operaciones secuenciales posteriores hasta el curtido, estos residuos presentan gran porcentaje de humedad (Arango R. A., 2015).

### **1.5. Contaminación ambiental producida por el proceso de curtición**

#### ***1.5.1. Contaminación del suelo***

Es el desequilibrio físico, químico o biológico del suelo que afecta negativamente plantas, animales y humanos, debido principalmente al inadecuado manejo de residuos sólidos y líquidos. Esta contaminación es producida por sustancias químicas (tipo industrial o domésticas), basura o por contaminación atmosférica, debido al material en forma de partículas que luego cae sobre el suelo cuando llueve. Entre los principales contaminantes se encuentran los metales pesados como el cadmio y plomo (Ramos, 2015).

#### ***1.5.2. Contaminación del aire***

Cambio en el equilibrio de sus componentes, llegando a alterar las propiedades físicas y químicas del aire, este cambio lo genera un agente externo no natural como el proceso de combustión empleada para obtener calor, generar energía eléctrica o movimiento, ya que se generan gases contaminantes, siendo este uno de los principales. Los cuales afectan negativamente el normal desarrollo de plantas, animales y la salud de los humanos (Ramos, 2015).

#### ***1.5.3. Contaminación del agua (ríos, mares, océanos)***

Es la alteración de sus características naturales producida por la actividad humana, la cual la hace total o parcialmente inadecuada para el consumo humano o como soporte vital de plantas y animales. Estos cambios se dan en productos de los desechos de los hogares, detergentes, petróleo, pesticidas y desechos nucleares, afectando en su color

y composición del sabor, densidad, pureza, entre otros. Algunas de los contaminantes del agua son las aguas residuales y los residuos provenientes de las industrias. Este tipo de contaminación es uno de los problemas más graves con los que se enfrenta la civilización actual, debido a que las lluvias ácidas, vertidos de aguas residuales, productos químicos agrícolas, metales pesados, entre otros, se incorporan al caudal de agua de los ríos. Este problema es particularmente grave en todos los países, por la cantidad y la diversidad de agentes contaminantes, especialmente en los países en desarrollo debido a la imposibilidad de mitigar la contaminación, ya que se requiere de costos económicos elevados por las tecnologías utilizadas para la depuración del agua (Borda-Prada, 2014).

### **1.6.Tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano (Villacis, 2011).

Las medidas para prevenir o disminuir la contaminación generada por las curtiembres, en su mayoría son de fácil aplicación y más aún, producen reducciones en los costos y mejoras productivas. Así mismo, diversos estudios realizados han podido establecer que hay gran variedad de tratamientos que abarcan desde técnicas estrictamente mecánicas hasta las de complejas reacciones bioquímicas. Estas técnicas se agrupan en dos principales procesos: tratamientos fisicoquímicos y biológicos; este último es el proceso más empleado para tratar estos efluentes, debido a las exigencias normativas, así como la necesidad de ahorrar y reutilizar el agua (Ramos, 2015).

De ahí que, es necesario que se investigue nuevos procesos que permitan mejorar la remoción de componentes difícilmente biodegradables, partículas coloidales, virus, bacterias y permitan la posibilidad de la incorporación del efluente en el proceso productivo (Heredía, 2017).

#### **1.6.1. Tratamientos biológicos**

El objetivo principal de esta operación es la reducción de la materia orgánica carbonosa presente en el agua, esta conlleva a la eliminación de nutrientes como el fósforo,

nitrógeno mediante nitrificación y desnitrificación y la estabilización de los fangos. La principal aplicación de este proceso es la eliminación de sustancias orgánicas biodegradables presentes en las aguas residuales que se efectúan en el reactor biológico (Villacis, 2011).

El tratamiento biológico consiste en separar mediante bacterias la materia orgánica de las aguas residuales, esto mediante la coagulación y precipitación de los sólidos coloidales no sedimentables. La labor de los microorganismos es la reducción de la materia orgánica carbonosa, coagulación de sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. Esto se consigue biológicamente, gracias a la acción de variedad de microorganismos presentes en el tratamiento de las aguas residuales. Los microorganismos son utilizados para convertir la materia carbonosa (coloidal y disuelta) en gases y tejido celular (Villacis, 2011).

Los desechos que pueden tratarse biológicamente son los lodos activos, películas biológicas y lagunas. Los lodos activos se tratan en las piscinas de aireación, donde la biomasa que ingresa debe ser suficiente para digerir la carga orgánica contaminante. Las películas biológicas son de biomasa aerobia las mismas que digieren la contaminación por su sistema de columnas en contacto con el aire. Las lagunas biológicas se aplican para zonas de grandes áreas y aireadas, donde las aguas residuales forman lagunas con sistemas de balsas de estabilización, depurando en un alto grado (Ramos, 2015).

### ***1.6.2. Tratamientos físico – químicos***

De Acuerdo a Villacis (2011), en su investigación describe a estos métodos como aquellos que están basados en la dosificación de productos coagulantes y floculantes a las aguas a tratar con el objetivo de reducir, en lo posible, los parámetros de contaminación, fundamentalmente por filtración, decantación o flotación. Entre estos tratamientos se consideran los que se describen a continuación:

### ***1.6.3. Tratamientos físicos***

Estos fueron los primeros en ser aplicados al tratamiento de las aguas residuales. Las operaciones unitarias típicas de este tratamiento son:

- Desbaste: Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción.
- Mezclado: Homogenización de los caudales mediante mixtura, utilizado en procesos químicos y biológicos del agua residual, manteniendo los sólidos en suspensión.
- Floculación: Aumento de tamaño de las partículas por agregado: mejora la sedimentación y su eliminación.
- Sedimentación: Eliminación de sólidos sedimentables y espesados por fangos.
- Flotación. Eliminación de sólidos en suspensión.
- Filtración: Eliminación de sólidos en suspensión residual.
- Transferencia de gases: Adición y eliminación de gases

#### ***1.6.4. Tratamientos químicos***

Como indica Arango (2022) esta operación, la eliminación de los contaminantes se consigue a través de procesos químicos unitarios. Las operaciones típicas en este método son:

- Precipitación química: Mejora de la eliminación de sólidos en suspensión. Utilizado en la remoción del fósforo-proceso físico-químico.
- Adsorción: Eliminación de materia orgánica mediante métodos convencionales de cloración de agua residual antes de su vertido.
- Desinfección: destrucción selectiva de organismos (bacterias, protozoos, rotíferos, otros.) causantes de enfermedades.

#### ***1.6.5. Remoción del cromo***

La remoción del cromo, es demasiado baja en desechos de industrias por lo que resulta ser costosa y hasta ineficientes. El tratamiento convencional del cromo hexavalente es su reducción a Cr (III), especie menos tóxica y menos móvil en el medio ambiente. Sin embargo, existen diferentes procesos tales como precipitación química, electrolisis,

extracción con disolventes, intercambio iónico, ósmosis inversa o adsorción (Picazo et. al., 2014).

### **1.7.Tratamiento de efluentes líquidos**

Desde hace décadas se investiga la aplicación de técnicas electroquímicas a la descontaminación de efluentes industriales acuosos y en la actualidad existen técnicas electroquímicas que pueden competir con las técnicas convencionales de tratamiento en la descontaminación de determinados tipos de efluentes industriales. Así, el tratamiento de efluentes contaminados con baja concentración de materia orgánica, por electrolisis, y el tratamiento de efluentes con materia coloidal o grasas, por técnicas de electro coagulación y electro flotación (Barrera, 2014).

#### ***1.7.1. La electrolisis***

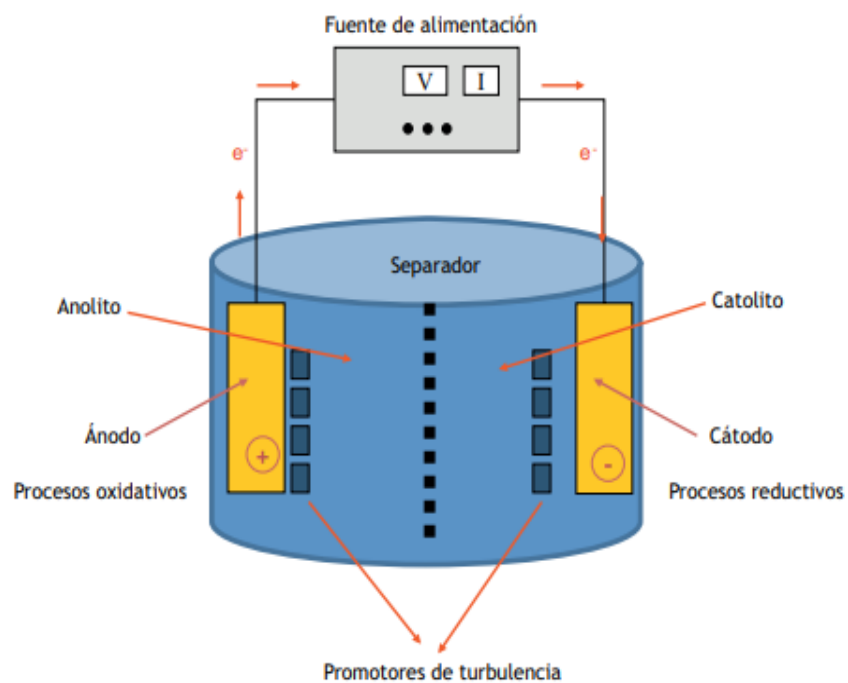
El tratamiento electrolítico de aguas residuales comenzó a estudiarse en la década de los setenta, y se aplicaba fundamentalmente a la destrucción oxidativa de compuestos orgánicos contenidos en el agua residual. Los resultados alcanzados fueron desalentadores ya que, en muchos casos, no se conseguía la mineralización de la materia orgánica, sino la formación de polímeros resistentes al ataque electroquímico, y además los rendimientos en la utilización de energía eléctrica eran bajos, lo que encarecía dramáticamente la aplicación. Por tal motivo, el uso de esta tecnología se desestimó hasta la década de los noventa, en la que con el uso de nuevos materiales electrónicos se ha conseguido superar ambos problemas. No obstante, el tratamiento electrolítico todavía no ha logrado superar las reticencias ocasionadas en el mundo industrial, y tampoco ha salido del laboratorio, aunque estudios económicos demuestran que su costo es inferior en algunos casos al de las tecnologías de referencia en el tratamiento de algunos tipos de efluentes residuales (Barrera, 2014).

La electrolisis es una tecnología electroquímica mediante la que se provoca un cambio químico en un líquido por intervención de la energía eléctrica, que se introduce mediante la aplicación de una diferencia de potencial entre los elementos conductores (electrodos) sumergidos en el líquido. El líquido en el que se provoca la reacción química debe ser conductor y contener sustancias capaces de oxidarse o reducirse. La

diferencia de potencial genera un paso neto de corriente eléctrica (electrones) entre los electrodos, con la consiguiente oxidación de algunas especies en la superficie de uno de los electrodos (ánodo) y la reducción de otras en el otro (cátodo) (Barrera, 2014). A continuación, en la figura 1 se indica los componentes electrolíticos y en la figura 2 los procesos que se pueden desarrollar en una celda electrolítica.

**Figura 1.**

*Principales componentes de los reactores electrolíticos.*

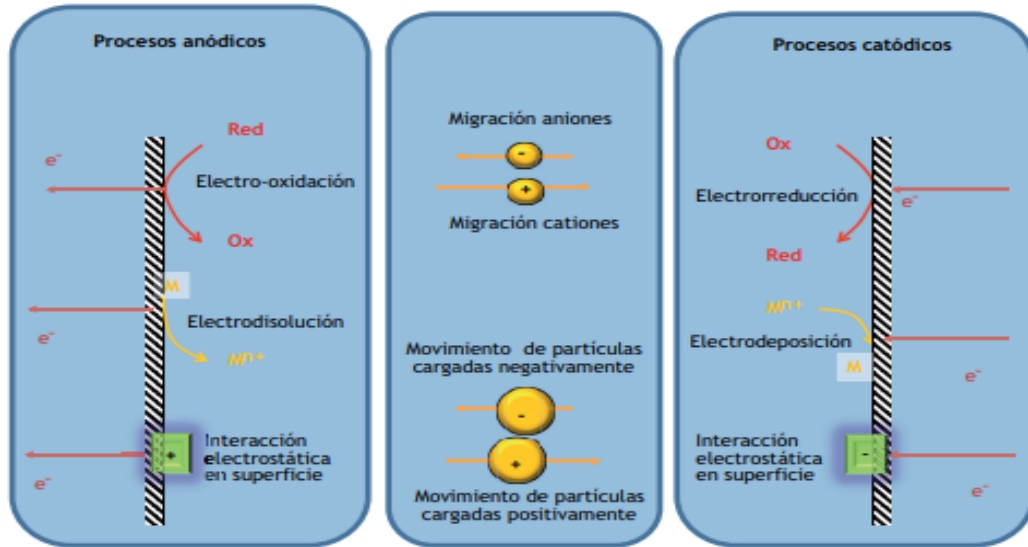


**Fuente:** (Barrera, 2014)



**Figura 2.**

*Principales procesos que pueden desarrollarse en una celda electrolítica*



**Fuente:** (Barrera, 2014)

Tanto en la figura 1 como en la figura 2 se puede evidenciar que los dos electrodos están conectados a una fuente de alimentación de corriente continua (o un rectificador), que provoca un transporte de electrones desde uno hasta el otro. El electrodo conectado al polo negativo de la fuente de alimentación se denomina "cátodo", y en él tienen lugar los procesos de reducción (transferencia electrónica desde el electrodo a la especie química); los productos reducidos resultantes pueden pasar a formar parte del cátodo (electrodeposición) o pueden continuar en disolución (electro reducción). El electrodo conectado al polo positivo se denomina "ánodo", y en él tiene lugar la oxidación (transferencia electrónica hacia el electrodo desde la especie química de algún compuesto presente en la disolución (electrodisolución), o bien la oxidación de parte del material electrónico (electrodisolución). Para mantener el balance de cargas es necesario que dentro de la celda exista transporte de carga. Por este motivo es necesario que en la disolución existan sales, ya que los aniones de las mismas transportaran cargas negativas hacia el ánodo y los cationes transportaran cargas positivas hacia el

cátodo, cerrándose así el circuito de transporte de cargas (eléctrico e iónico) (Barrera, 2014).

El objetivo del tratamiento electrolítico de aguas residuales es la oxidación o la reducción de los contaminantes contenidos en las aguas, de modo que estas especies se transformen en otras con menor peligrosidad ambiental. Sin embargo, dado que en las aguas residuales pueden existir otras muchas especies químicas, durante una electrolisis en los electrodos pueden ocurrir reacciones distintas de las de eliminación directa de los contaminantes. Entre ellas están las reacciones de generación de compuestos con capacidad de oxidar o reducir los contaminantes contenidos en el agua residual; así, si en el agua residual hay cloruros, estas especies químicas pueden oxidarse a cloro/hipoclorito, y este oxidante actuaría sobre los contaminantes oxidándolos y convirtiéndolos de esta forma en otras especies químicas. Esto permite clasificar a las reacciones que ocurren en una celda electrolítica en dos grandes grupos (Arango Á., 2015).

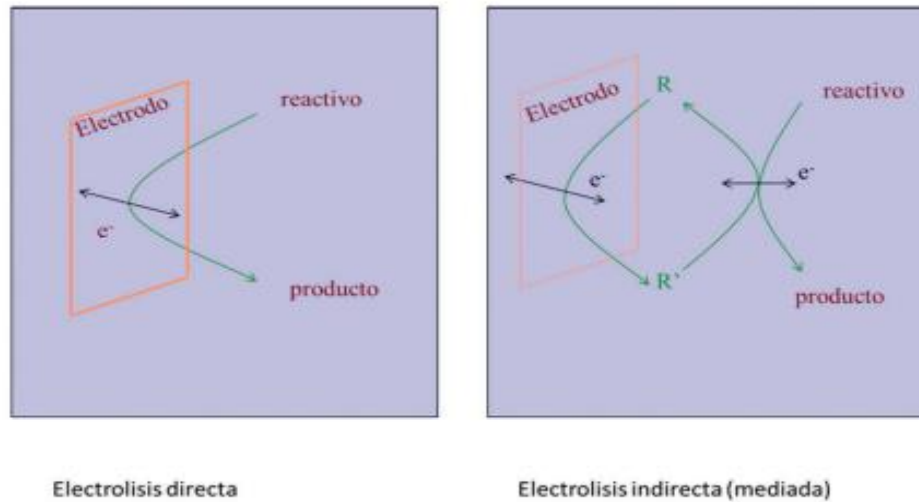
**Reacciones directas.** La transferencia electrónica al producto de interés sucede directamente en la superficie del electrodo. En este caso, las reacciones son de tipo superficial y, en consecuencia, adquieren gran importancia los fenómenos de transporte de contaminantes hacia el electrodo. Para obtener buena eficacia en el proceso debe asegurarse en todo momento que el proceso limitante sea el propiamente electroquímico, y no la transferencia de materia (Ordoñez, 2019).

**Reacciones indirectas.** La transferencia electrónica se realiza a un mediador, oxidante o reductor inorgánico ( $Ti^{3+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $Ce^{4+}$ ,  $Mn^{3+}$ ,  $Cl_2$ ,  $Br_2$ , etc.), que posteriormente reacciona con el compuesto de interés. Al tratarse de reacciones de tipo químico, están muy influenciadas por la temperatura y, como sucede en todo el volumen de reacción, no son tan importantes los procesos de transporte de materia hacia el electrodo. Estas reacciones se clasifican en irreversibles o reversible (Arango Á., 2015).

En la figura 3 se detalla de manera específica los procesos electrolíticos

**Figura 3.**

*Tipos de procesos electrolíticos.*



**Fuente:** (Barrera, 2014)

Además de las reacciones de oxidación o reducción de contaminantes o de especies que a su vez puedan actuar sobre los contaminantes, existen otras reacciones menos relacionadas con el proceso de descontaminación. Así, dos de las reacciones superficiales más importantes que ocurrirán en una celda en la que se electroliza un agua residual son la oxidación anódica y la reducción catódica del agua (Barrera, 2014).

Estas reacciones consumen una parte importante de la energía eléctrica suministrada a la celda, ya que los electrones involucrados en las mismas no se dedican a la oxidación o reducción de los contaminantes que contiene el agua residual, ni a la generación de especies que, indirectamente, realicen esta función. Como consecuencia, disminuirá la eficacia en el uso de corriente eléctrica (Arango A., 2022).

En la actualidad, las principales aplicaciones que se estudian para esta tecnología en el tratamiento de residuos líquidos son la eliminación de la materia orgánica contenida en determinados tipos de efluentes industriales mediante su conversión a dióxido de carbono, y la transformación de esta materia orgánica en otra más sencilla susceptible de ser tratada biológicamente. Los efluentes a los que se suele aplicar esta tecnología proceden fundamentalmente de las industrias químicas, petroquímicas y farmacéuticas;

y se caracterizan por tener cargas orgánicas bajas, generadas por materia orgánica biorrefractaria o tóxica (Mayta, 2017).

La electrolisis es un proceso electroquímico, su principio se encuentra en función de la utilización de electrodos, los mismos que, son un cátodo y un ánodo. La sección anódica elimina gran parte de la materia orgánica, mientras que, la sección catódica produce hidrógeno. Una de las aplicaciones de la electrolisis es la electrodeposición, la cual, permite eliminar los metales presentes en las aguas residuales industriales, esta deposición se lo realiza en el cátodo. Los equipos están diseñados para trabajar en corriente continua (Valle, 2018).

Según Morales (2022) se conoce de algunos estudios realizados para la remoción de Cromo en una empresa de curtiembre concluyó que la remoción de Cr (VI) mejoró cuando el tiempo de electrolisis fue de 120 minutos a un voltaje de 20 voltios logrando una eficacia máxima de remoción de 55,7 %.

De Acuerdo a Vásquez (2021) que realizó otro estudio en la misma empresa para la reducción en la demanda bioquímica y química de oxígeno con dos factores de variación: Voltaje y Tiempo; cada factor fue modificado en tres posiciones de 5, 10 y 20 voltios y de 30 minutos, 1 y 2 horas para tiempo. De estas variaciones se obtuvo tratamientos con un mayor porcentaje de reducción (-13% aproximadamente) para valores de Demanda química de oxígeno, a lo cual se concluyó que el voltaje poseía mayor incidencia sobre los tratamientos, que el tiempo y su interacción.

### ***1.7.2. Ventajas del tratamiento electroquímico***

Según Gil (2012), las técnicas electroquímicas empleadas para el tratamiento de contaminantes industriales muestran un buen grado de competencia con otros métodos de tratamiento (biológicos, fotoquímicos, etc.). Algunas de estas ventajas comparativas son:

**Compatibilidad ambiental:** si se diseña adecuadamente el proceso electroquímico es posible convertir los compuestos tóxicos en productos de bajo, o nulo, impacto ambiental y el diseño de reactores más eficientes. También se la considera una

tecnología limpia y ecológica en el sentido que utiliza como reactivo principalmente al electrón y al evitar la emisión de gases, sulfuros y partículas metálicas, lo cual es de gran aplicabilidad en aguas residuales (Abril, 2018).

**Versatilidad:** es posible utilizar un mismo sistema de tratamiento para eliminar distintos compuestos tóxicos sin mayores cambios en los diseños ni en los electrodos empleados (Centro de Investigaciones Económicas y de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa, 2014).

**Eficiencia de energía:** si se controlan las reacciones competitivas (empleando electrodos con adecuada actividad catalítica), es posible lograr altas eficiencias en la energía eléctrica empleada (Borda-Prada, 2014).

**Seguridad:** inherente al tratamiento electroquímico es la seguridad con que puede utilizarse el mismo, desde el momento que no es necesario almacenar ni utilizar reactivos tóxicos, ya que en la mayoría de los casos este se genera en el mismo sitio del tratamiento (Restrepo et. al., 2016).

**Selectividad:** la posibilidad de controlar el potencial del electrodo de trabajo, ánodo o cátodo, permite seleccionar la reacción electroquímica deseada (Medina, 2010).

**Automatización:** si el tratamiento se va a emplear rutinariamente para un determinado tipo de residuo, es factible automatizar totalmente el proceso para adquirir y procesar datos experimentales en tiempo real (Abril, 2018).

**Económica:** no se trata de una tecnología costosa, sin embargo, es esencial emplear un diseño apropiado del reactor; ya que el voltaje es directamente proporcional al costo energético y puede variar por factores como el diseño de la celda electrolítica, la conductividad de la solución, los materiales de los electrodos, la distancia entre electrodos y la optimización de los parámetros de funcionamiento, para conseguir que esta tecnología sea competitiva con otras equivalentes (Moreira et. al., 2016).

## CAPÍTULO II.

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la investigación se evaluó la reducción de contaminantes (CROMO, DBO5, DQO) por electrolisis en las curtiembres de la provincia de Tungurahua, sin embargo se considera como referencia a la Curtiduría Curtipiel Castro para la recolección de aguas industriales, para posterior ser enviadas al laboratorio, obteniendo como resultado niveles altos de cromo, DBO5, DQO, previo a ser tratados, es así que como método de reducción de contaminantes se aplica la electrolisis que se describe en el presente estudio.

- **Modalidad o enfoque de la investigación:** se considera cualitativo que posibilitó la recolección, medición y análisis de datos, acerca de los parámetros cromo, DBO5, DQO, siendo los parámetros que comúnmente sobrepasan los límites permisibles de las aguas residuales de las curtiembres, mediante un análisis con la aplicación de este método se ha obtenido la problemática y se ha podido cuantificar la eficiencia de la electrolisis el que ha permitido identificar la reducción de parámetros de contaminantes como el cromo y por ende DBO5, DQO. Para el análisis se empleó un monitoreo de aguas con un laboratorio calificado (Salas, 2019).

#### 2.1. Tipo de investigación:

**Investigación descriptiva**, ha permitido trabajar sobre las realidades del sector con la finalidad de analizar problemas que ocurren por la contaminación hídrica de cromo,

DBO5, DQO causado por las curtiembres, que sectores son los más afectados y que proceso es el que más químico contaminante genera, es así que ha permitido analizar información para establecer metodologías de minimización de impactos en lo que respecta a la descarga de efluentes (Reyes, 2022).

**Investigación experimental.** –ha permitido realizar la electrolisis como un experimento para verificar la eficacia de disminución del contaminante cromo y que a causa de este sobre pasa los límites de DBQ, DQO, el cual permite conocer los niveles de descontaminación mediante la aplicación del método mencionado (Reyes, 2022).

### **Población**

La población considerada para la investigación son las curtiembres, ya que son los generadores de contaminación, quienes realizan descargas de efluentes con incumplimientos altos de límites permisibles.

### **Muestra**

Se considera como muestra a la Curtiduría Curtipiel Castro, debido a que es una empresa similar que realiza los mismos procesos de las demás Curtidurías de la provincia de Tungurahua.

## **2.2.Técnicas e instrumentos:**

### **Técnicas**

**Técnica documental o bibliográfica:** Esta técnica se utilizó para recopilar información bibliográfica a través de la lectura de artículos científicos, documentos, libros, revistas, entre otras; además, lo que permitió elaborar el presente trabajo con documentación amplia y acorde a la necesidad (Roy, 2016).

- **Técnica de campo:** En este punto se realizó visitas in-situ con el objeto de establecer el muestreo, identificar el área de estudio, tomar datos para un posterior análisis (Roy, 2016).

- **Técnica del fichaje:** Esta técnica consintió la recolección y almacenamiento de datos en campo de acuerdo a los muestreos realizados, para ser analizados en la fase de laboratorio y gabinete (Roy, 2016).

- **Técnica de laboratorio:** Se procesaron los datos recolectados en campo y se analizaron de acuerdo a los métodos y parámetros establecidos DBO, DQO y cromo.

Esto permitió mediante los resultados logrados hacer una comparación de que muestra con las diferentes variables consideradas (distancia, tiempo y amperios) cual fue la que mejor resultado generó (Roy, 2016).

**Área de estudio.** - El presente estudio se realizó en la curtiduría Curtipiel Castro perteneciente a la parroquia Atahualpa, cantón Ambato.

**Figura 4.**

*Ubicación de la curtiduría Curtipiel Castro.*



**Fuente:** google maps, 2022

### **2.3.Procedimiento para toma de muestras**

-Se identificó el área de estudio, en donde se realizó las mediciones de caudal.

-Se diseñaron recipientes para la electrolisis el cual consistió en una caja de vidrio y placas de aluminio en donde se pasará corriente.



-Se registró la producción de efluentes durante la etapa de producción, esta medición se realizó al inicio para verificar la cantidad de contaminante y al final para identificar la eficiencia de la electrolisis.

-Se realizó toma de muestreo de aguas a la entrada (como ingresa a la empresa) y como sale luego del curtido, esto se hace con la finalidad de tener una referencia de parámetros.

-En referencia a los datos obtenidos, se realiza el dimensionamiento de los tanques para tratamiento, en donde se diseña un tanque de material de vidrio cuya medición es 5 dm de largo \* 2 dm de ancho \* 1 dm de alto, valor calculado en referencia prototipo al 10 %., Ver Anexo 1.

-Posterior se coloca una batería de 12 voltios con corriente continua de 2 y 10 A, se usa dos electrodos de cobre que van sumergidos en el agua, en los extremos superiores se conectan los terminales positivo y negativo de muestra fuente de poder, es importante indicar que con el pasar de las horas el electrodo con el terminal positivo deposita partículas de cromo, sólidos y otros elementos, mientras que en el electrodo con el terminal negativo fue el material de sacrificio, es decir el electrodo que se desgastó por el proceso propio de electrolisis.

-Se realizaron pruebas de inicio de agua en que calidad entra y como sale luego del proceso productivo.

-Se realizaron 4 pruebas escogiendo como variables la corriente entre 2 y 10 A, además se modificó también la separación de los electrodos, como también el tiempo de electrolisis, es importante indicar que a mayor separación existe más atracción de contaminantes en conjunto con los amperios a mayor corriente mayor atracción de contaminantes, a continuación, en la tabla 1 se describe la fecha de toma de muestreos con las distintas variables.

**Tabla 1.***Variables de muestreos para electrolisis*

Nro. de muestra	Fecha de experimento	Amperios	Distancia de separación	Tiempo de electrólisis
1	31-09.-2022	10	15 cm	24horas
2	02-10-2022	10	30cm	24horas
3	11-10-2022	2	10cm	48 horas
4	25-09-2022	2	15	48 horas

**Fuente:** Investigadora, 2022

Es importante indicar que por cada una de las variables detalladas en la tabla 1 se realizó muestreos de agua residual, además con el fin de asegurar la calidad de la muestra, se siguieron los protocolos dictados por el laboratorio Acreditado , también acorde a la normativa ambiental vigente Reglamento al Código Orgánico del Ambiente y Acuerdo Ministerial 097 A – Anexo 1-Tabla 9 , cabe indicar que se tomó una muestra homogénea del proceso de producción, en la descarga a la alcantarilla. El envase fue sellado cuidadosamente con el fin de que no ingrese material extraño ni aire excesivo. La muestra fue inmediatamente llevada a laboratorio y entregada para su análisis. Este procedimiento se llevó a cabo luego de la realización de la electrolisis.

### **2.3.1. Instrumentos**

**Ficha de medición.** - Facultó la recolección de datos observables en campo.

**Fotografías:** Conforman los anexos que demuestran el desarrollo de la investigación.

### **2.3.2. Herramientas**

**Porta electrodos.** - placa de plástico para colocar varillas cobre.

**Placa.** -es realizada de cobre y es utilizada para atraer contaminantes.

**Tanque de vidrio.** -utilizado para realizar la electrolisis.

## CAPÍTULO III.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En lo que respecta al diagnóstico de los niveles de contaminación por cromo a continuación se encuentran los resultados de los valores obtenidos en el laboratorio analizado, con sus límites permisibles según la normativa nacional Acuerdo Ministerial 097 A- Anexo 1, Tabla 9, considerando que se realiza muestreo de aguas antes, durante y después del proceso de electrolisis (Anexo 2: Resultados de Monitoreo de Agua de Ingreso), por lo que en la tabla 2 se obtiene lo siguiente:

**Tabla 2.**

*Resultados obtenidos de ingreso de agua para realizar los procesos*

<b>Resultados de Análisis</b>				
<b>Fecha de Muestreo :08-08-2022</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Límites Permisibles</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Cromo Total</b>	mg/l	<0.05	0.5	No cumple
<b>DQO</b>	mg/l	1065	500	No cumple
<b>DBO5*</b>	mg/l	606.45	250	No cumple
<b>pH</b>	U pH	7.79	6-9	Cumple
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	mg/l	18	220	Cumple
<b>Temperatura</b>	0C	15.3	---	-----

**Fuente:** Lacquanalisis S.A, 2022

En la presente tabla 2 se obtiene resultados del agua que va hacer utilizado para el proceso de curtido, sin embargo, al comparar los resultados con la normativa ambiental se evidencia que DQO, DBO5 no cumplen con los límites permisibles aún sin ser utilizados para el proceso productivo (Anexo 3: Resultados de Monitoreo de Agua luego de curtido de pieles).

Esto evidencia que el agua de ingreso, utilizada para el proceso de curtición ya se encuentra contaminada, razón por la que ciertos parámetros se encuentran fuera de norma.

De Acuerdo a Vásconez (2021), el agua proveniente del canal Latacunga-Ambato se encuentra con gran cantidad de contaminantes producto de las descargas de efluentes generadas por las industrias.

**Tabla 3**

*Resultados obtenidos luego de curtido de pieles*

<b>Resultados de Análisis</b>				
<b>Fecha muestreo: 08-08-2022</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Límites Permisibles</b>	<b>Observación</b>
<b>Cromo Total</b>	mg/l	1.38	0.5	No cumple
<b>DQO</b>	mg/l	7924	500	No cumple
<b>DBO5*</b>	mg/l	4143.90	250	No cumple
<b>pH</b>	U pH	<4	6-9	No cumple
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	mg/l	608	220	No cumple
<b>Temperatura</b>	°C	20.2	<40	Cumple

**Fuente:** Lacquanalisis S.A, 2022

En la presente tabla 3 se obtiene los resultados de efluentes de descarga luego del proceso productivo del curtido, por lo que se evidencia como los parámetros cromo total, DQO, DBO5, pH, Sólidos Suspendidos Totales se han incrementado en los

valores por lo que, haciendo una comparación con la normativa ambiental, estos no cumplen (Anexo 4: Resultados de Monitoreo de Agua luego de electrolisis muestra 1).

La utilización de cromo en el proceso de curtición genera efluentes con gran cantidad contaminante, estos generan toxicidad que forman impactos ambientales.

De Acuerdo Abril (2018), el cromo es un metal altamente contaminante que por lo general se puede encontrar en aguas residuales, durante el proceso de curtición únicamente se adhiere el 50 % de la cantidad utilizada, el otro 50 % es descargado como efluente contaminante.

A continuación, se detalla los resultados del proceso de disminución de cromo por electrolisis inversa:

**Tabla 4.**

*Resultados Obtenidos luego de la electrólisis*

Resultados de Análisis				
Fecha muestreo: 27-09-2022				
Parámetro	Unidad	Resultado	Límites Permisibles	Observación
<b>Cromo Total</b>	mg/l	0.98	0.5	No cumple
<b>DQO</b>	mg/l	5668	500	No cumple
<b>DBO5</b>	mg/l	3027.08	250	No cumple
<b>pH</b>	U pH	5.94	6-9	No cumple
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	mg/l	1368	220	No cumple
<b>Temperatura</b>	°C	19.9	<40	Cumple

Fuente: Lacquanalisis S.A, 2022

Para la realización de la electrolisis se consideró como variables 2 amperios con 15 centímetros y se dejó como tiempo de electrolisis 48 horas, es importante indicar que se evidencia que los parámetros luego del proceso han bajado considerablemente los valores obtenidos, sin embargo, no hasta el cumplimiento de la norma.

La electrolisis permite disminuir el contaminante de cromo debido a la generación de electricidad y transferencia de electrones, sin embargo para lograr una disminución de contaminantes es indispensable se separe las placas de ánodo y cátodo.

De acuerdo Abril (2018), la transferencia de electrones se realiza por óxido -reducción por lo que a mayor distancia se genera disminución de concentración de contaminantes.

**Tabla 5.**

*Resultados Obtenidos luego de la electrolisis*

<b>Resultados de Análisis</b>				
Fecha muestreo: 03-10-2022				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Límites Permisibles</b>	<b>Observación</b>
Cromo Total	mg/l	0.76	0.5	No cumple
DQO	mg/l	4617	500	No cumple
DBO5*	mg/l	2323.85	250	No cumple
pH	U pH	5..82	6-9	No cumple
Solidos Suspendidos Totales	mg/l	1881	220	No cumple
Temperatura	°C	19.4	<40	Cumple

**Fuente:** Lacquanalisis S.A, 2022

Para la realización de la electrolisis se consideró como variables 10 amperios con 30 centímetros y se dejó como tiempo de electrolisis 24 horas, es así que se verificó como las partículas se unían a la placa positiva, dando como resultado lo indicado en la tabla 6 en donde se evidencia que los parámetros luego del proceso han bajado los límites permisibles, sin embargo, no hasta el cumplimiento de la norma (Anexo 5: Resultados de Monitoreo de Agua luego de electrolisis muestra 2).

Durante la electrolisis se genera una descomposición del agua en los gases oxígeno y nitrógeno, es importante mencionar que a más se aleja la placa, más transferencia de electrones y contaminantes se produce.

Como indica Abril (2018), los contaminantes se adhieren a la placa negativa y a más distancia existe mayor porcentaje de disminución de concentraciones.

**Tabla 6.**

*Resultados Obtenidos luego de la electrolisis*

<b>Resultados de Análisis</b>				
<b>Fecha muestreo: 11-10-2022</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Límites Permisibles</b>	<b>Observación</b>
<b>Cromo Total</b>	mg/l	1,08	0.5	No cumple
<b>DQO</b>	mg/l	7909	500	No cumple
<b>DBO5*</b>	mg/l	3958,64	250	No cumple
<b>pH</b>	U pH	6,10	6-9	No cumple
<b>Solidos Suspendidos Totales</b>	mg/l	1217	220	No cumple
<b>Temperatura</b>	°C	23.2	<40	Cumple

**Fuente:** Lacquanalisis S.A, 2022

Para la electrolisis se consideró como variables 2 amperios con 10 centímetros y se dejó como tiempo de electrolisis 48 horas, se evidencia que los parámetros luego del proceso han bajado los límites permisibles, sin embargo, no hasta el cumplimiento de la norma (Anexo 6: Resultados de Monitoreo de Agua luego de electrolisis muestra 3).

La electrolisis permite descomposición de moléculas, sin embargo al no existir unas variables adecuadas en donde se separe a más de 30cm las placas, la carga contaminante no va a tener un buen proceso de óxido-reducción.

De Acuerdo a Vásconez (2021), durante el proceso de electrolisis se produce una reacción química que ocurre entre una sustancia oxidante y una sustancia reductora. Durante la reacción, la sustancia oxidante pierde electrones y la sustancia reductora gana electrones.

**Tabla 7.***Resultados Obtenidos luego de la electrolisis*

<b>Resultados de Análisis</b>				
<b>Fecha muestreo: 31-10-2022</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Límites Permisibles</b>	<b>Observación</b>
<b>Cromo Total</b>	mg/l	<0.05	0.5	No cumple
<b>DQO</b>	mg/l	7220	500	No cumple
<b>DBO5*</b>	mg/l	3801.42	250	No cumple
<b>pH</b>	U pH	5.65	6-9	No cumple
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	mg/l	1262	220	No cumple
<b>Temperatura</b>	°C	21.7	<40	Cumple

**Fuente:** Lacquanalisis S.A, 2022

Para la electrolisis se consideró como variables 10 amperios con 15 centímetros y se dejó como tiempo de electrolisis 24 horas, se evidencia que el parámetro luego del proceso ha bajado los límites permisibles, sin embargo, no cumple con los límites permisibles (Anexo 7: Resultados de Monitoreo de Agua luego de electrolisis muestra 6).

Para el cumplimiento de los límites permisibles es muy difícil disminuir la cantidad de cromo generada, sin embargo al implementar la electrolisis permite una disminución considerable de concentración de contaminantes, los sólidos totales se alteran debido a la formación de moléculas y que estas deben ser eliminadas por medio de un sistema de rejillas, con la finalidad de disminuir los niveles contaminantes.

De Acuerdo a Roy (2016) indica que a mayor separación de placas, existe mayor transferencia de electrones.



**Tabla 8.**

*Resultados Obtenidos de lodos luego de electrolisis*

Resultados de Análisis				
<b>Fecha muestreo: 31-10-2022</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Límites Permisibles</b>	<b>Observación</b>
<b>Cromo Total</b>	mg/kg	46527.3	0.5	

**Fuente:** Lacquanalisis S.A, 2022

Se realiza análisis de lodo con la finalidad de conocer si las partículas sumergidas luego de la electrolisis contenían cromo, de acuerdo a los resultados obtenido se evidencia gran cantidad de concentración de cromo.

De Acuerdo a Roy (2016) manifiesta que los lodos son producto de la descomposición de moléculas y que sin embargo al existir la generación de corriente existe la presencia de sólidos.

A continuación, en la siguiente tabla 9 se realiza una comparación general de los resultados obtenidos en el laboratorio de parámetros: de ingreso (antes del proceso productivo), efluentes luego del proceso productivo de curtido y también luego de la aplicación de electrolisis (Anexo 8: Resultados de Monitoreo de Lodos).

**Tabla 9.***Resultados Obtenidos Totales*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado Agua Ingreso</b>	<b>Resultados de Descarga Curtido Sin Tratamiento</b>	<b>Resultados Obtenidos del Proceso de Electrolisis</b>				<b>Límites Permisibles</b>
			<b>Resultado Efluente Salida 08/08/2022</b>	<b>Resultado 27/09/2022 Muestra 1</b>	<b>Resultado 02/10/2022 Muestra 2</b>	<b>Resultado 11/10/2022 Muestra 3</b>	<b>Resultado 31/10/2022 Muestra 4</b>	
<b>Cromo Total</b>	mg/l	<0.05	1.38	0.98	0.76	1,08	<0.05	0.5
<b>DQO</b>	mg/l	1065	7924	5668	4617	7909	7220	500
<b>DBO5*</b>	mg/l	606.45	4143.90	3027.08	2323.85	3958,64	3801.42	250
<b>pH</b>	U pH	7.79	<4	5.94	5.82	6,10	5.65	6-9
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	mg/l	18	608	1368	1881	1217	1262	220
<b>Temperatura</b>	°C	15.3	20.2	19.9	19.4	23.2	21.7	<40

**Fuente:** Lacquanalisis S.A, 2022

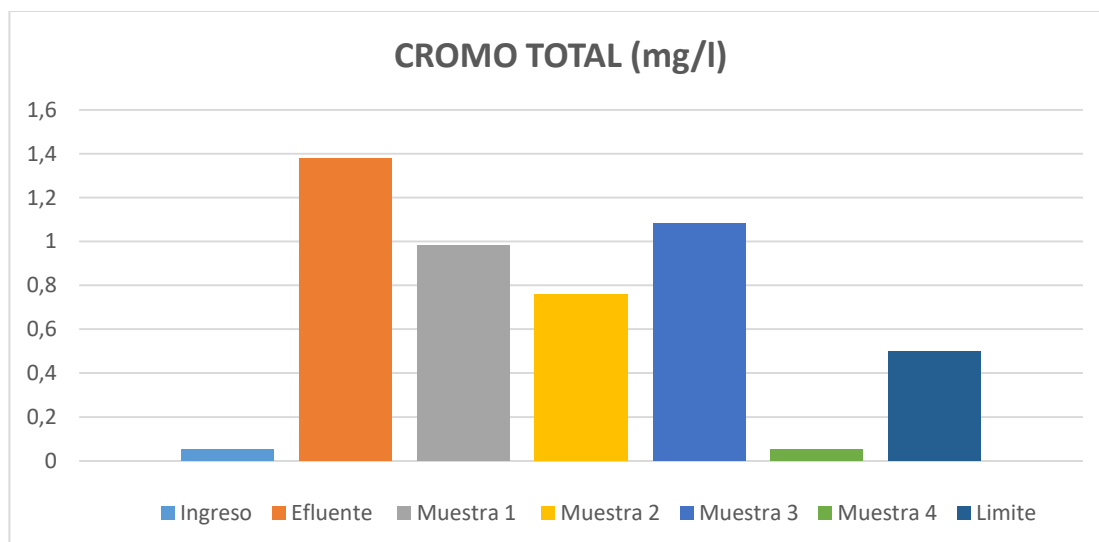
Se realiza una comparación de cada uno de los resultados obtenidos luego de la electrolisis.

Es importante mencionar que en los límites permisibles tabla 9 existe el limite permisible cromo hexavalente por lo que se considera el valor requerido considerando que el cromo total abarca al hexavalente.

La muestra 2, es la que más disminución de concentración de contaminantes de cromo tiene, debido a la separación de las placas, por lo que se considera que con una distancia considerable existe mayor transferencia y disminución de contaminantes.

**Figura 5.**

*Comparación Cromo Total*

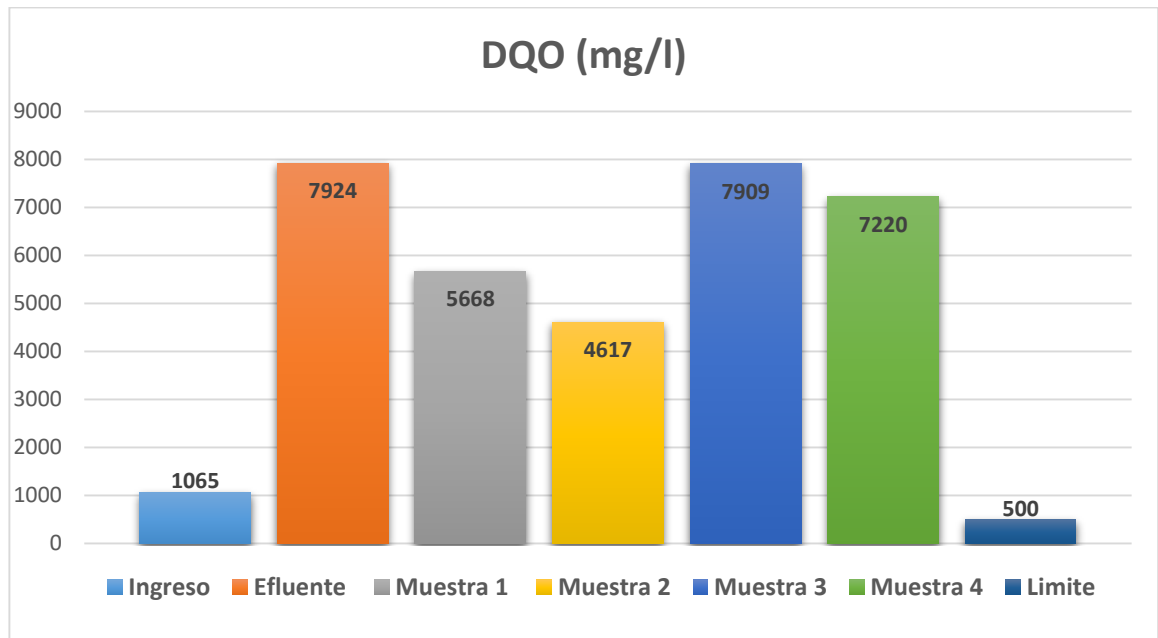


**Fuente:** Investigadora, 2022

Como se puede observar el valor más bajo producto de la electrolisis es el realiza el 31 de octubre del 2022, esto se debe a que a menor separación de las placas las partículas contaminadas tienden adherirse más a la placa, en el electrodo positivo se depositaran partículas de cromo, mientras que en el electrodo con el terminal negativo se desgastó por el proceso propio de electrolisis.

**Figura 6.**

*Comparación DQO (mg/l)*

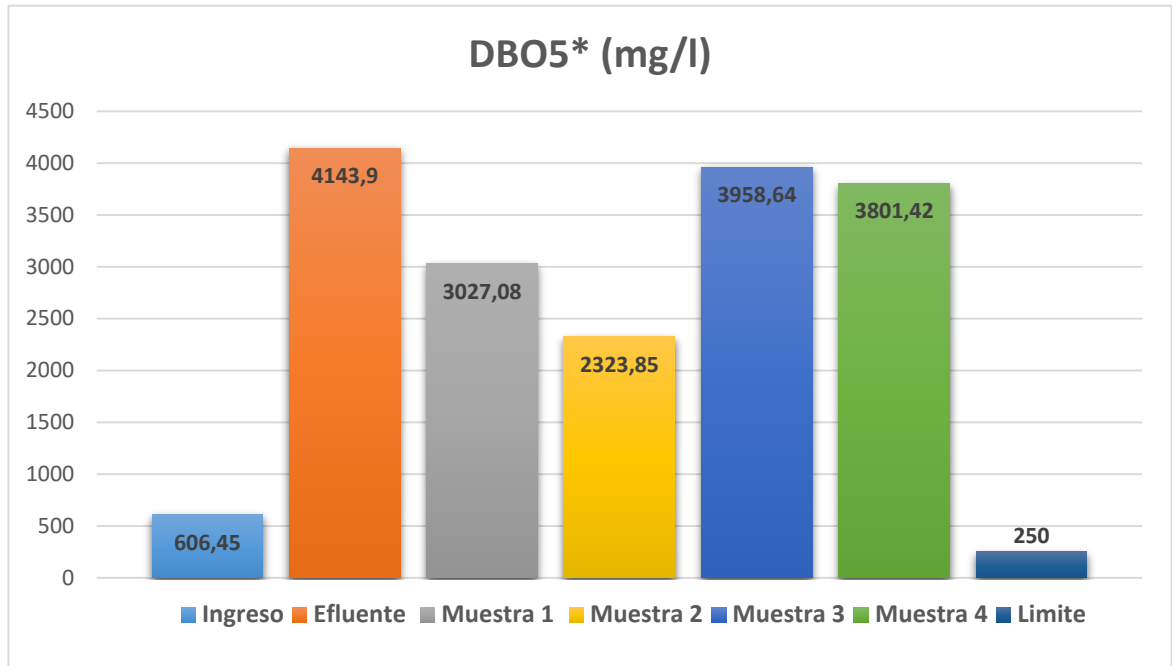


**Fuente:** Investigadora, 2022

En el parámetro DQO el que más disminuyó es la muestra realizada el 03 de octubre del 2022, se obtiene un valor de 4617 mg/l se puede evidenciar que disminuye el valor considerablemente al disminuir la carga contaminante la disminución se realiza en un 45%, a mayor separación se disminuye el DQO es decir los elementos del agua (Hidrógeno y Oxígeno) se separan.

**Figura 7.**

*Comparación DBO5 (mg/l)*

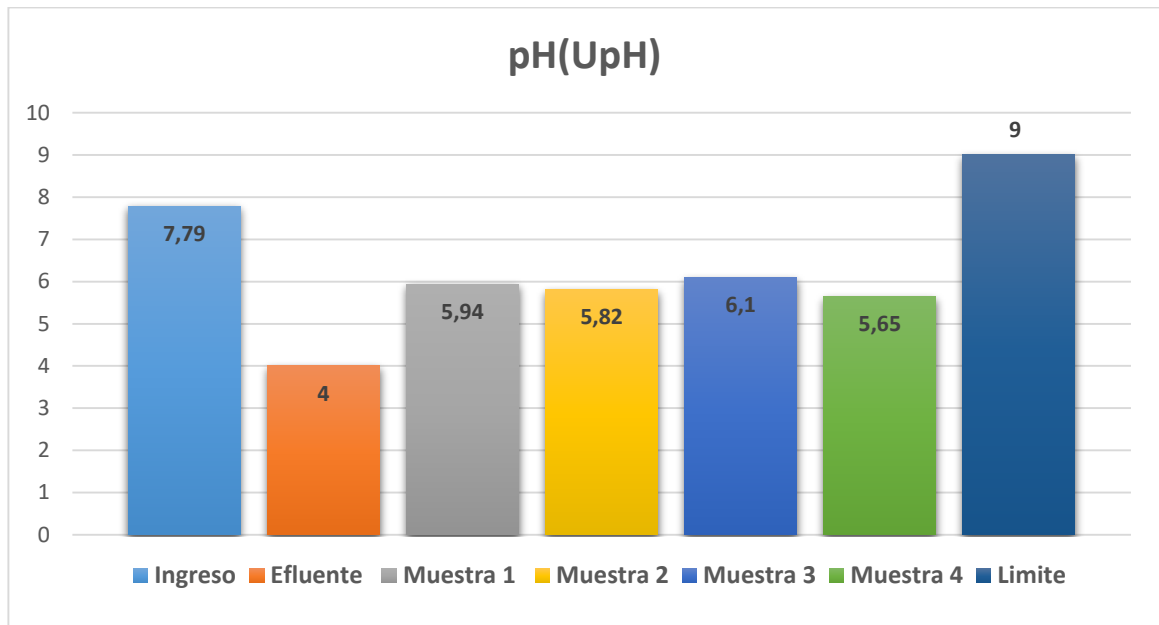


**Fuente:** Investigadora, 2022

El parámetro DBO5 (mg/l) disminuye el realizado con fecha 31 de octubre del 2022 se encuentran similar con DQO debido a que tienen una estrecha relación. La DBO5 es la demanda bioquímica de oxígeno que tiene un agua y la DQO es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra.

**Figura 8.**

*Comparación pH*



**Fuente:** Investigadora, 2022

El que más se asemeja al cumplimiento de la norma es el realizado el 11 de octubre del 2022, en donde de acuerdo a la comparación con los límites permisibles se verifica el cumplimiento de la norma es decir que el pH a más tiempo de exposición a electrolisis el pH cumple con los límites permisibles.

**Tabla 10.***Porcentaje de disminución de parámetros -electrolisis*

<b>Parámetros</b>	<b>Detalle</b>	<b>Resultado Obtenido Efluente</b>	<b>Resultado Muestra 2</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Observaciones</b>
Cromo Total	Muestra 2	1,38	0,76	55,07%	Baja el Valor
DQO		7924	4617	58,26%	Baja el Valor
DBO5		4143,9	2323,85	56,07%	Baja el Valor
pH		4	5,82	45,5%	Baja el Valor
Sólidos Suspendidos Totales	Muestra 3	608	1217	50%	Sube Valor
Temperatura	Muestra 2	20.2	19.4	.....	No aplica

**Fuente:** la investigadora, 2022

En la tabla 10 se evidencia el porcentaje de eficiencia luego de realizar electrolisis a los efluentes producto del proceso de curtido en la curtiembre.

### **3.1.Discusión**

Como se puede observar el agua de ingreso antes del proceso productivo incumple con los límites permisibles en lo que corresponde a DQO, DBO5, es decir que el agua ya ingresa con algunos parámetros con valores altos antes del proceso productivo.

En los resultados obtenidos luego de la descarga de efluentes del proceso de curtido se puede evidenciar que los parámetros de cromo total, DQO, DBO5, pH, Sólidos suspendidos totales se disparan en valores y por obvias razones incumple con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente.

Se diseña la electrolisis en donde por medio de una fuente de energía eléctrica se conecta a dos electrodos, los cuales son puestos en el agua, el hidrógeno aparece el cátodo (el electrodo negativamente cargado) y el oxígeno aparece en el ánodo (el electrodo positivamente cargado).

Durante la realización de electrolisis se observa el cambio de coloración, generación de espumas y formación de lodos esto es debido a que las placas con corriente oxidan y producen burbujas conforme el proceso.

Se realiza 4 muestreos con distintas variables con la finalidad de conocer cuál de las variables propuestas es la que más disminuye los valores de parámetros, se consideró amperios (cantidad de energía eléctrica), distancia y tiempo debido a que son factores muy importantes para la disminución de contaminantes.

Los electrodos que fueron utilizados durante el proceso, por efecto del contacto con el electrolito, durante las condiciones de operación de las diferentes pruebas realizadas , tienen modificaciones en la superficie (adherencia de un lodo que se genera durante el proceso), con la finalidad de conocer la cantidad de cromo del lodo se realiza un análisis CRETIB en donde se verifica 46527.3 mg/kg es decir gran cantidad de concentración de cromo en forma de lodo producto de la electrolisis en donde parte de la carga contaminante se unieron moléculas.

En las pruebas experimentales realizadas con las diferentes variables se evidencia que la segunda muestra reduce la mayor cantidad de carga contaminante es así que DBO5 se disminuye en un 56.07%, DQO en un 58.26% , cromo total en un 55.07%, el pH ha permitido disminuir la cantidad de acidez presente en el agua considerando que como valor inicial se ha tenido un valor de 4 que con esa cantidad de acidez del agua es imposible que ha ciertos organismos les permita vivir, sin embargo con el proceso de electrolisis sube a un valor de 5.82 lo que por lo menos disminuye la cantidad de acidez y le permitiera que ciertos organismos aguanten esta cantidad de acidez.

En la segunda muestra se aplicado las variables 10 amperios con 30 centímetros y se deja como tiempo de electrolisis 24 horas esto permitió que la superficie de los electrodos se sature por una acumulación del mismo en el electrolito.

De acuerdo a este análisis realizado se puede indicar que, a mayor tiempo de electrolisis y mayor separación, el cromo contaminante se adhiere a la placa disminuyendo la cantidad de cromo en el agua y por ende otros parámetros como el DBO5 y DQO.



Sin embargo, es importante mencionar que sube el valor del parámetro de sólidos suspendidos totales, debido a la generación de burbujas y constante movimiento que se encuentra el proceso de electrolisis y que por ende los restos de electrodos se mezclan con el efluente, razón por la que luego de realizar el proceso de electrolisis es indispensable implementar un sistema de rejillas para disminuir la cantidad de sólidos suspendidos.

En referencia a la presente investigación realizada se evidencia que la eficiencia de reducción de carga contaminante de cromo, DBO5 y DQO reduce más del 50% de contaminantes lo que significa un aporte muy importante para la industria de la curtiembre, sin embargo es importante indicar que no permite cumplir con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente Acuerdo Ministerial 097-Anexo 1, pero implementando medidas de recirculación de cromo, sistemas de rejillas y realizando pruebas e investigaciones con electrolisis a mayor tiempo de 24 horas y otra variables (distancia ,amperios) se podría evidenciar un mayor porcentaje de disminución de cromo, DBO5 y DQO e incluso el cumplimiento de los límites permisibles.

De acuerdo a Salvador Manuel (2005), considera que el tratamiento del cromo hexavalente a través de la reducción electrolítica es viable técnicamente y ambientalmente, en el cual existe una eficiencia hasta el 98.89%, con un tiempo mayor a siete horas en donde menciona la disminución en gran cantidad de contaminantes.

### **3.2.Propuesta para recuperación de cromo**

#### **Introducción**

Las curtiembres son industrias consideradas como un sector con un alto potencial de impacto ambiental y de seguridad laboral. Esto es provocado principalmente por la implementación de productos químicos para la transformación de pieles de animales, estos pueden generar efectos en los cauces de agua y suelos de donde se descargan estos vertimientos.

Durante el proceso de transformación de la piel en cuero se suelen generar diferentes corrientes de aguas residuales que presentan diferentes características. Aunque la

segregación de las mismas podría facilitar el tratamiento y la reutilización, sin embargo, en el sector cutidero de la provincia de Tungurahua no existe métodos ni tecnologías para la disminución de contaminantes como el cromo que es uno de los insumos más utilizados para el proceso de curtido y en donde las curtiembres más sobrepasan los límites permisibles, es así que se ha diseñado una propuesta para recuperar y reducir el Cr por ende DBO5 y DQO.

### ***3.2.1. Recuperación de cromo***

#### **Objetivo General:**

Establecer una propuesta de recuperación de cromo en aguas residuales de curtiembres.

#### **Ventajas**

- Con el medio Ambiente el cromo puede ser nuevamente reutilizado en las partidas posteriores minimizando el contenido en las aguas residuales de curtido.
- Ahorros considerables en los ácidos en el cromo
- No requiere de alta tecnología
- Ahorro de Agua
- Impactos positivos al ambiente:
- Disminución de efluentes a descargar
- Prevención y Mitigación de Contaminación del Suelo
- Prevención y Mitigación de Contaminación del Aire

#### **Desventajas**

Al recircular el cromo permite el aumento de concentración de sustancias orgánicas, lo que reduce la concentración de cromo que puede tener efectos muy negativos sobre el efecto curtiente del cromo (Duque, 2019).

## **Desarrollo de la propuesta**

La recuperación de cromo es una técnica que requiere de un mayor control operativo, ya que la cantidad de impurezas y reactivos presentes puede aumentar y afectar negativamente la calidad del cuero, en caso de que este sea utilizado en el curtido.

Esta recirculación consiste básicamente en un procedimiento de curtido de baño residual que se recupera, se utiliza químicos de refuerzo para un nuevo proceso como ácido sulfúrico, hidróxido de sodio.

La cantidad de cromo que debe añadirse al proceso de recirculación es el porcentaje usado normalmente menos la cantidad que existe en el baño residual, para lo cual es indispensable contar con un medio de análisis del contenido de cromo con la finalidad de compensar el cromo que se ha incorporado en las pieles (Pilatuña,2018).

Además, se debe controlar el pH, fuerza iónica y pérdidas de agua.

Estos son recuperados y reconstituidos a su volumen de agua y composición química original, sin más tratamiento que una simple eliminación de sólidos y su almacenamiento.

La recirculación se debe realizar hasta tres veces, para que posterior sea enviado al proceso de electrolisis.

### **La recuperación de cromo se realiza con los siguientes pasos:**

- **Precipitación:**

Adicionar hidróxido de sodio o de calcio que permita que se eleve rápidamente el pH, lo que ocasiona una rápida precipitación del hidróxido de cromo y la formación de un lodo voluminoso.

Incluir un filtro para separar lodos.

Incluir agentes floculantes (polielectrolitos), con la ventaja de que la separación del precipitado requiera un simple drenado del agua.

El hidróxido de sodio es una base fuerte que favorece la reacción con el ion cromo III para formar el hidróxido de cromo (Ortiz, 2013).

- **Regeneración y reutilización de cromo**

Luego de precipitar el cromo, como hidróxido de sodio, es indispensable volver a disolverlo para introducirlo nuevamente al proceso de curtido (Pilatuña, 2018).

Para volver a disolver se requiere de precipitado filtrado de óxido de cromo con ácido sulfúrico que se requiere de 1.93 kg de ácido sulfúrico por cada kg, al añadir el ácido debe realizarse con agitación permanente hasta obtener un pH de 2.5.

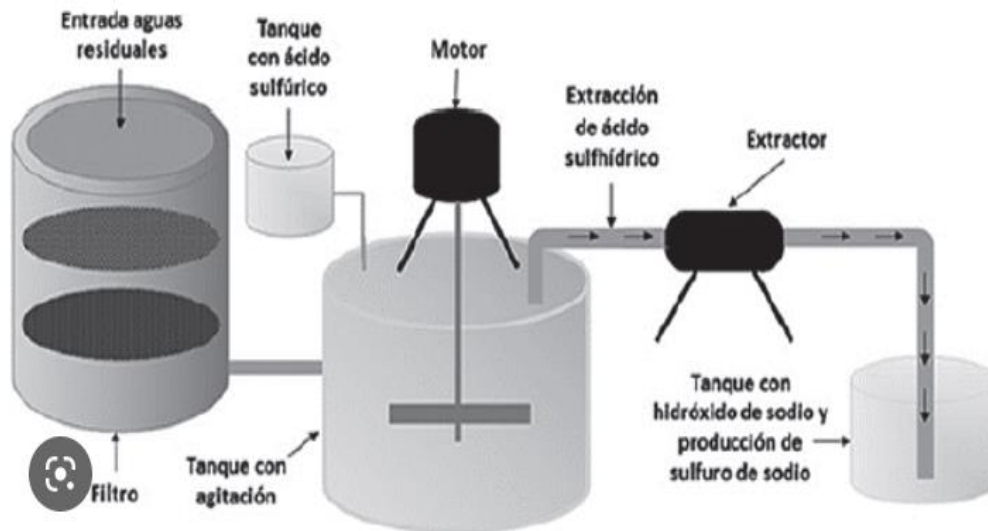
Es necesario re disolver el residuo lo más pronto posible, ya que éste se vuelve cada vez menos soluble conforme pasa el tiempo.

La solución de sulfato de cromo obtenida puede ser reciclada en el proceso del curtido, reemplazando hasta un 40% de las sales de cromo fresca. (Pinilla, 2014).

A continuación, en la figura 9 se describe el proceso de recuperación de cromo.

**Figura 9.**

*Proceso de recuperación de cromo*



**Fuente:** Pinilla, 2014

Una vez finalizado la recuperación de cromo, se puede realizar únicamente hasta por 3 ocasiones, lo cual para lograr el cumplimiento de la normativa ambiental vigente se requiere realizar el proceso de electrolisis.

### **3.2.2. *Electrolisis***

Propuesta: Diseñar un proceso de electrolisis con la finalidad de disminuir la concentración de contaminantes de cromo, DQO5, DBO y cumplir con los límites permisibles dentro de la normativa ambiental vigente.

**Objetivo:** Disminuir la concentración de cromo, DQO5, DBO.

**Ventajas:**

Disminución de la cantidad de cromado y DQO.

Prevención y Mitigación de Contaminación del Agua, Aire, Suelo.

**Desarrollo:**

La electrolisis es un proceso que se realiza por medio de la electricidad con la finalidad de disminuir la cantidad de contaminantes presentes en el agua.

La metodología consiste en introducir corriente eléctrica en el agua contaminada con presencia de cromo, utilizando placas metálicas que estas pueden ser de material de hierro y/o aluminio.

Es importante indicar que la fuerza electromotriz que provoca reacciones químicas desestabiliza la manera en que los contaminantes están presente, es así que los contaminantes presentes en medios acuosos forman agregados que producen partículas sólidas.

**Para realizar la electrolisis se requiere:**

Diseñar un tanque de electrolisis el cual puede ser fijo de material de hormigón, acrílico o plástico, vidrio o de cualquier material dieléctrico, en donde las dimensiones se realizarán acorde al volumen generado de efluentes.

Para la dimensión del tanque se aplica la fórmula:

$V=Q (0,0082 \text{ m}^3 / \text{min}) * T$  (tiempo retención 28 minutos)

Es decir que el volumen del tanque deberá ser con una capacidad de 246.96 lt.

Se hace una relación de 1:30 por lo que el tanque debe medir 15m x 6m x 3m.

Entre el tanque se incluirá placas que en el ánodo deben ser dimensionalmente estables como el acero que usa en los reactores para la recuperación de metales y en cambio el cátodo puede ser de metal, grafito, fibras de carbón o titanio.

Las placas deberán medir 6mx2.5 m , que van sumergidos de manera vertical en el agua, en los extremos superiores se conectan los terminales positivo y negativo de muestra fuente de poder y se debe conectar a una fuente eléctrica, es importante indicar que con el pasar de las horas el electrodo con el terminal positivo deposita partículas de cromo, sólidos y otros elementos, mientras que en el electrodo con el terminal negativo es el material de sacrificio, es decir el electrodo que se desgasta.

Se requiere de una fuente directa, con un regulador de densidad de corriente y un multímetro para leer la densidad de corriente.

Aplicar la variable 30 amperios con 3 metros y dejar un tiempo de electrolisis de 72 horas con la finalidad de que la superficie de los electrodos se sature, es importante considerar que a mayor tiempo de electrolisis y menor separación el cromo contaminante se adhiere a la placa disminuyendo la cantidad de cromo en el agua y por ende la disminución de los otros parámetros como el DBO5 y DQO.

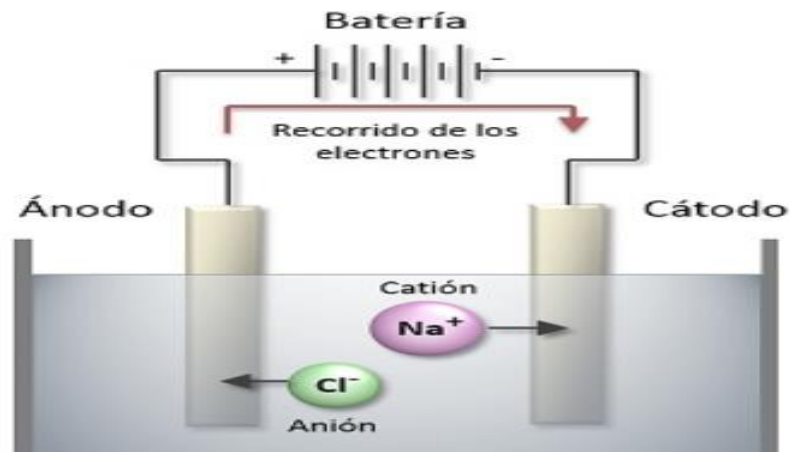
Es necesario que se considere que a mayor densidad de corriente existiría una disminución significativa de eficacia.

Una vez culminada la electrolisis se recomienda implementar un sistema de rejillas con la finalidad de disminuir la cantidad de sólidos.

A continuación, en la figura 10 se describe el diseño del tanque de electrolisis.

**Figura 10.**

*Diseño tanque de electrolisis*



**Fuente:** Duque., 2019

La electrolisis es una herramienta muy beneficiosa para disminuir la contaminación y recuperación de cromo (VI), obteniendo una remoción de hasta más del 80%.

A continuación, en la tabla 11 se describe el presupuesto que se necesita para la implementación de electrolisis en la curtiduría Curtipiel Castro.

**Tabla 11.**

*Presupuesto para el proyecto*

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Diseño e Implementación del tanque de electrolisis	Cuadrado	1	700	700
Implementación de placas	Unidad	2	150	300
Instalación de fuente de energía	Unidad	1	100	100
Materiales Químicos	Kg	Mensual	100	1000
<b>TOTAL</b>			<b>3000</b>	

**Fuente:** Investigadora, 2023

## **RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.**

**¿Las descargas de efluentes de curtiembres de la provincia de Tungurahua incumplen con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental cromo, DBO, DQO los cuales son vertidos hacia los ríos, quebradas?**

- Se ha comprobado que las curtiembres de la provincia de Tungurahua descargan sus efluentes con incumplimiento en los límites permisibles, especialmente con altas concentraciones de DBO5, DQO y cromo, debido a la falta de tratamientos adecuados para disminuir la concentración de contaminantes, la mayoría de estas descargas son vertidas en fuentes hídricas lo que ha promovido una pérdida de flora y fauna y a su vez existe la presencia de enfermedades mortales como el cáncer al estómago por la presencia de cromo en alimentos contaminados.
- Luego de culminar el proceso de curtido en las aguas residuales, el agente con mayor presencia, es decir el cromo, en su forma trivalente  $Cr^3$ , que es menos tóxica pero que se puede a su vez transformar en  $Cr^6$  conocido como un elemento de mucha inestabilidad y 1000 veces más tóxico, es importante indicar que las aguas residuales con cromo de las curtidurías en Tungurahua son una de las mayores fuentes de contaminación como los Ríos Ambato y Pachanlica, siendo principales fuentes hídricas de la región contienen alta concentración de cromo proveniente de las aguas residuales de curtiembres.
- El 80% de las curtiembres efectúa actividades en la provincia de Tungurahua y al considerarse gran economía se convierte en un foco generador de contaminación ambiental por sus descargas con incumplimientos a los límites permisibles.

**¿Se puede disminuir los valores de incumplimiento de la normativa ambiental de cromo, DBO5, DQO mediante el proceso de electrolisis inversa?**

- Si, porque se evidencia que la concentración de contaminantes ha disminuido en más de un 50% con la presencia de electrolisis, debido a procesos de



descomposición de elementos contaminantes, es un proceso por medio del cual se realiza la generación de burbujas de hidrógeno y oxígeno en un cátodo y ánodo; en donde existe una transferencia de electrones desde el ánodo (positivo) hacia el cátodo (negativo), es decir los contaminantes se transportan hacia el cátodo adhiriéndose a la placa y provocando la descomposición y sacrificio del mismo, la eficiencia se determina por el pequeño tamaño de las burbujas generadas, las burbujas pequeñas proporcionan una mayor superficie de contacto para la absorción de partículas, por lo que la remoción de contaminantes es factible, mientras exista mayor separación de placas que permite un mejor transporte.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- Se ha realizado el diagnóstico de los niveles de contaminación de cromo en las curtiembres por medio del análisis de agua de entrada y salida del proceso productivo, en donde se verifica que el agua ya ingresa con algunos parámetros contaminados.
- Se ha desarrollado un proceso de disminución de cromo por electrolisis inversa en donde se utilizaron 4 variables con distintos amperios, distancia de placas y tiempo; se concluyó que a mayor separación de las placas las partículas contaminadas tienden adherirse, en el electrodo positivo se transfieren electrones , mientras que en el electrodo con el terminal negativo se desgasta por el proceso propio y que además recibe los electrones contaminantes, por lo que para una disminución optima de los parámetros de cromo, DBO5 y DQO es necesario considerar mayor tiempo de corriente (amperios) en el agua y separación de las placas. Es importante indicar que durante las pruebas experimentales se evidencia que la de 4 muestras realizadas la segunda muestra en DBO5 disminuye en un 56.07%, DQO en un 58.26% , cromo total en un

55.07%, el pH ha permitido disminuir la cantidad de acidez presente en el agua considerando que como valor inicial se ha obtenido un valor de 4 que con esa cantidad de acidez del agua es imposible que ha ciertos organismos les permita vivir, sin embargo con el proceso de electrolisis la cantidad sube a un valor de 5.82, lo que por lo menos se reduce la cantidad de acidez y le permite que ciertos organismos aguanten la presencia de acidez.

- En lo que respecta a un proceso para recuperación de cromo se debe realizar una recirculación, en donde se utiliza químicos para refuerzo como el cloruro de sodio y ácido sulfúrico y el porcentaje de cromo a utilizar es la diferencia entre el porcentaje normal menos la cantidad existente en el baño residual esa recirculación se realiza durante el proceso de curtido, es necesario indicar que se debe realizar únicamente por tres ocasiones , antes de realizar la descarga a la alcantarillado, se recomienda realizar electrolisis por medio de un tanque con electricidad en donde se utilice variables de 10 amperios, 30 centímetros y tiempo de electrolisis 36 horas con la finalidad de disminuir contaminantes de cromo, pH, DBO5 y DQO, si bien es cierto no llega al cumplimiento de la norma pero si disminuye más del 50% los valores contaminantes.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda al Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica que realice un seguimiento y control ambiental a todas las curtiembres de la provincia de Tungurahua sobre el tratamiento y cumplimiento de los límites permisibles de descargas de efluentes.
- Es indispensable la aplicación de un diseño de planta para recirculación de cromo que contengan tanques para precipitar, rejillas y dosificadores, además realizar una comparación de tratamientos alternativos como la precipitación química, coagulación y floculación, fotocátalisis, biopolímeros, adsorción con desechos agrícolas y realizar una comparación operacional, viabilidad económica con el proceso electroquímico aplicado.

- Es importante el impulso por parte de las autoridades cantonales y de los empresarios que se investigue la realización de la electrólisis con una ampliación de tiempo y distancia, aplicando un sistema de retención de lodos para disminuir la presencia de sólidos y de contaminantes producto del uso de químicos altamente contaminantes como el cromo.

## BIBLIOGRAFIA

- Abril, R. I. (2018). *Análisis de la Cadena Productiva del Sector Industrial de Cuero y sus efectos en la producción de Calzado en la Provincia de Tungurahua*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Arango, Á. (2015). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1).
- Arango, A. (2022). Crisis mundial del agua. *Producción + Limpia* , pp. 7- 8.
- Arango, R. A. (2015). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1).
- Arango, R. Á. (2022). Crisis mundial del agua. *Producción + Limpia* , 8 (2), pp. 7-8.
- Arias, C. W. (2013). *Remoción de cromo (III) y DQO a través de electrocoagulación en aguas residuales de la industria curtiembre haciendo uso racional de la energía*. Bogotá: Universidad Libre.
- Barrera, D. C. (2014). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. Mexico D.F.: Reverté Ediciones, S. A. DE C. V.
- Borda-Prada, O. (2014). Evaluación y reducción de los niveles de cromo en muestras de aguas residuales provenientes de curtiembres. *Revista L'éstrit Ingénieux*, 6-12.
- Centro de Investigaciones Económicas y de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa. (2014). *Boletín mensual de análisis sectorial de MIPYMES - Ropa de vestir de cuero para exportación*. Ambato: FLACSO - MIPRO.
- Chafla, C. (Dic-2011). Estudio de un sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre. *UISRAEL Revista Científica*.

- Cueltan et. al. (2020). *Proceso de curtiembre norma iso 14001:2015*. Belén: EADIAZCA.
- Duque, O. (2019). Diseño de un sistema de recuperación de cromo en el proceso de curtido de cuero al cromo .Recuperado de [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15660/1/DuqueOney\\_2019\\_Dise%C3%B1oSistemaRecuperacion.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15660/1/DuqueOney_2019_Dise%C3%B1oSistemaRecuperacion.pdf)
- Estrada, N. A. (2014). *Remoción de Cr+6 por electrocoagulación en un efluente acuoso proveniente de la industria de galvanoplastia*. Mexico D.F.: Instituto Politécnico Nacional - Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas.
- Gamboa, S. M. (2016). *Electroquímica*. Universidad Politecnica de Chiapas.
- Gil, S. J. (2012). *Tratamiento electroquímico para la remoción de metales pesados en residuos líquidos peligrosos generados en los laboratorios de docencia de la Universidad del Cauca*. Cali: Universidad del Valle.
- GreenPeace. (2022). *Cueros tóxicos. Nueva evidencia de contaminación de curtiembre en la Cuenca Matanza - Riachuelo*. Matanza: GreenPeace.
- Heredia, J. C. (2017). *Proyecto de instalación de una planta de curtiembre en la región de Lambayeque*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo - Escuela de Ingeniería Industrial.
- Higuera et. al. (2005). *Reducción del cromo contenido en efluentes líquidos de la industria del cuero, mediante un proceso adsorción-desorción con algas marinas*. Scientia et Technica.
- Jaramillo, T. E. (2012). *Diseño y construcción de un reactor de electrocoagulación para el estudio de tratamiento de agua residual de tintura y acabado textil*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte - Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

- Jeferson, M. (2020). *Sistema de Gestion por Proceso en la linea de Cuero*. Ambato .
- Masabanda et. al. (2017). Control de la contaminación en aguas residuales de curtiembres, mediante fotocátalisis heterogénea con TiO<sub>2</sub>. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa (Vol. II, No. 1)*, pp. 57-77.
- Mayta, R. &. (2017). Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(3), pp. 331-340.
- Medina, d. l. (2010). *Determinación de cromo hexavalente en descargas de agua residuales de una curtiembre, ubicada en el sector de Izamba, Ambato en la provincia de Tungurahua, mediante espectrofotometría de absorción atómica*. Ambato: Pontificia Universidad Católica .
- Medina, M. (2010). *Determinación de cromo hexavalente en descargas de agua residuales de una curtiembre, ubicada en el sector de Izamba, Ambato en la provincia de Tungurahua, mediante espectrofotometría de absorción atómica*. Ambato: Pontificia Universidad Católica.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Morales, V. (2022). *Remoción de cromo hexavalente en aguas residuales a partir de tratamientos electroquímicos en la empresa Tenería Núñez*. Universidad Técnica de Ambato.
- Moreira et. al. (2016). *Aplicación de electrólisis con adición de sales para remoción de color en potabilización de agua*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Moya, L. M. (2018). *Tecnologías electroquímicas aplicadas en el tratamiento de aguas: Electrocoagulación*. Universidad de Alicante.

- Omar, Q. H. (2017). *Procesos industriales*. Peru: Universidad Nacional Del Altiplano.
- Ordoñez, B. D. (2019). Remoción de cromo trivalente en aguas residuales de curtiembres mediante un proceso biótico-abiótico basado en el uso de *Yarrowia lipolytica* y *Candida fluviatilis*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(4), pp. 945-956.
- Ortiz. (2013). Recuperación y Reutilización de cromo de las aguas residuales del proceso de curtido de curtiembres de San Benito, Mediante un proceso sostenible y viable tecnológicamente (Tesis Maestría). recuperado de [https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/1076/Ortiz\\_Penagos\\_Nidia\\_Elena\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/1076/Ortiz_Penagos_Nidia_Elena_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pamela, T. (2006). *Manual de Buenas Prácticas Ambientales para*. Estados Unidos : a Environmental Protection Agency.
- Parada et. al. (2019). Estudio de las tecnologías para el tratamiento de los efluentes generados por una planta de curtiembres en Ecuador. *Ciencia e Ingeniería*, vol. 40, núm. 2- Universidad de los Andes, pp. 138-147.
- Parada, e. a. (2019). Estudio de las tecnologías para el tratamiento de los efluentes generados por una planta de curtiembres en Ecuador. *Ciencia e Ingeniería*, vol. 40, núm. 2- Universidad de los Andes, pp. 138-147.
- Picazo et. al. (2014). *Remoción de Cromo usando como adsorbente residuos industriales*. Universidad Autónoma de Coahuila.
- Pilatuña, S.(2018). *Recuperación y Reutilización del cromo de los lodos de la curtiduría*. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15510/1/T-UCE-0012-FIG-006.pdf>

- Pinilla, E. (2014). Precipitación de cromo y reutilización del agua de vertimientos de curtiembres de San Benito (Bogotá). Facultad de Ing. Ambiental – Universidad Santo Tomás. 60 p.
- Ramos, J. M. (2015). *Evaluación de metodologías para disminuir la contaminación existente en los efluentes líquidos generados en el proceso de producción de la curtiduría Aldás*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería en Alimentos.
- Restrepo et. al. (2016). La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción + Limpia*. Vol. 1 No. 2, 61-67.
- Salinas, V. V. (2014). *El cuero. Producción industrial y artesanal en el Ecuador*. Cuenca: Universidad del Azuay - Facultad de Diseño.
- Silva, M. J., & Salinas, M. D. (2022). La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. *Uisrael - Revista Científica*, pp. 2631 - 2786.
- Valle, B. J. (2018). *Desarrollo de una ingeniería conceptual para el tratamiento de aguas residuales, provenientes de curtiembres de tipo artesanal e industrial de la provincia de Tungurahua*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Vásconez, O. R. (2021). *Reducción en la demanda bioquímica y química de oxígeno en las aguas residuales de la Tenería Núñez aplicando tratamiento de electrólisis del agua residual*. Universidad Técnica de Ambato.
- Villacis, P. A. (2011). *Estudio de un Sistema de Depuración de Aguas Residuales para reducir la contaminación de Río Ambato y los sectores aledaños, en el sector de Pisocucho, de la parroquia Izamba, del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

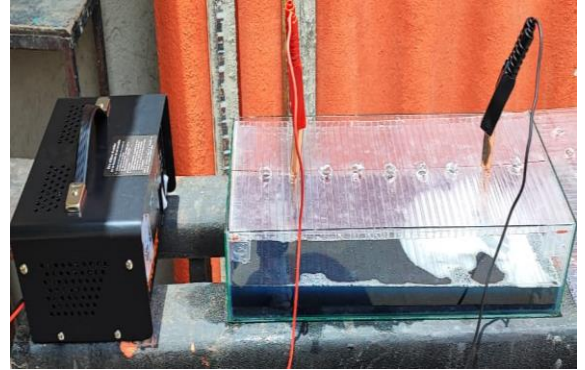


## ANEXOS

### ANEXO 1 FOTOGRAFÍAS DE ELECTROLISIS



Fotografía 1. Diseño del tanque para electrolisis



Fotografía 2.-Efluente liquido antes de inicio de proceso de electrolisis



Fotografía 3.Efluente tratado luego del proceso de electrolisis muestra 1



Fotografía 4 .- Efluente tratado luego del proceso de electrolisis muestra 2



Fotografía 5. Efluente tratado luego del proceso de electrolisis muestra 3



Fotografía 6.- Efluente tratado luego del proceso de electrolisis muestra 4



Fotografía 7.-Lodos generados durante la electrolisis



Fotografía 8:Placas consumidas luego de la electrolisis



Anexo 9. Bateria utilizada para electrolisis



Anexo 10. Placas consumidas luego de la electrolisis



## ANEXO 2

# RESULTADOS DE MONITOREO DE AGUA DE INGRESO AL ÁREA PRODUCTIVA



### INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3897



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	CURTIPEL CASTRO	N/D	
Atención a	Ing. Adriana Morales		
Dirección	Ambato - Macasto		
Teléfonos	096 025 6186		
e-mail	---		
Procedencia	Salida bombo - Curtido	Contenido declarado	6000 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	08-ago.-22	Fecha de análisis	Del 08 al 18 de agosto de 2022	Código Muestra	A-3637
Fecha Ingreso al Laboratorio	08-ago.-22	Fecha emisión informe	18 de agosto de 2022	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanalisis			Coord. Análisis	17M 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	45,3	Temperatura amb. (°C):	18,1	

### RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Cromo Total	mg/l	1,38	PRO TEC 040 / HACH 8024, Ed. 10, 2018	± 8,12 %
DQO	mg/l	7924	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 23. 2017, 5220 D	± 25,26 %
DBOS*	mg/l	4143,90	PRO TEC 066 / HACH 8043, Ed. 10, 2017	± 3,72 %
pH	UpH	<4	PRO TEC 011 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500 H+ B	± 4,56 %
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	608	PRO TEC 029 / HACH 8006, Ed. 09, 2014	± 3,99 %
Temperatura	°C	20,2	PRO TEC 043 / Standard Methods Ed. 23. 2017, 2550 B	± 2,12 %

#### SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado  
\* Parámetro acreditado fuera del alcance

\*\* Parámetro No acreditado  
\*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado:  
\*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado:

#### Notas:

1. Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
2. Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este analisis
3. Lacquanalisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
4. La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanalisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
5. Lacquanalisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
6. La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en www.lacquanalisis.com
7. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

#### PERSONAL RESPONSABLE:

Ing. Andrés Manzano  
Analista

Lacquanalisis S.A. soluciones ambientales  
Dr. Harold Jiménez  
Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · info@lacquanalisis.com  
Ambato, Ecuador - Sud América

## ANEXO 3

# RESULTADOS DE MONITOREO DE AGUA LUEGO DEL PROCESO PRODUCTIVO



### INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3915



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:
Nombre	CURTIPIEL CASTRO	N/D
Atención a	Ing. Adriana Morales	
Dirección	Ambato - Macasto	
Teléfonos	096 025 6186	
e-mail	---	

Procedencia	Salida bombo - Curtido	Contenido declarado	450 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	27-sep.-22	Fecha de análisis	Del 28 de septiembre al 07 de octubre de 2022	Código Muestra	A-3655
Fecha Ingreso al Laboratorio	28-sep.-22	Fecha emisión informe	07 de octubre de 2022	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos		Laboratorio Lacquanálisis		Coord. Análisis	17M 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	41,3	Temperatura amb. (°C):	20,1	

### RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Cromo Total*	mg/l	0,98	PRO TEC 040 / HACH 8024, Ed. 10, 2018	± 8,12 %
DQO	mg/l	5668	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 23. 2017, 5220 D	± 25,26 %
DBO5*	mg/l	3027,08	PRO TEC 066 / HACH 8043, Ed. 10, 2017	± 3,72 %
pH	UpH	5,94	PRO TEC 011 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500 H+ B	± 4,56 %
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	1368	PRO TEC 029 / HACH 8006, Ed. 09, 2014	± 3,99 %
Temperatura	°C	19,9	PRO TEC 043 / Standard Methods Ed. 23. 2017, 2550 B	± 2,12 %

#### SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado

\* Parámetro acreditado fuera del alcance

\*\* Parámetro No acreditado

\*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado:

\*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado:

#### Notas:

1. Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
2. Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
3. Lacquanálisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
4. La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanálisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
5. Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
6. La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en [www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com)
7. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

#### PERSONAL RESPONSABLE:

Ing. Andrés Manzano  
Analista



Dr. Harold Jiménez  
Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · [info@lacquanalisis.com](mailto:info@lacquanalisis.com)  
Ambato, Ecuador - Sud América

## ANEXO 4

# RESULTADOS DE MONITOREO DE AGUAS MUESTRA 1 (ELECTROLISIS)



### INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3925



Información proporcionada por el cliente			Información adicional:
Nombre	CURTIPEL CASTRO		N/D
Atención a	Ing. Adriana Morales		
Dirección	Ambato - Macasto		
Teléfonos	096 025 6186		
e-mail	=		
Procedencia	Salida bombo - Curtido	Contenido declarado	400 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	03-oct.-22	Fecha de análisis	Del 04 al 14 de octubre de 2022	Código Muestra	A-3663
Fecha ingreso al Laboratorio	04-oct.-22	Fecha emisión informe	14 de octubre de 2022	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanalisis			Coord. Análisis	17M 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	46,3	Temperatura amb. (°C):	20,1	

### RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Cromo Total*	mg/l	0,76	PRO TEC 040 / HACH 8024, Ed. 10, 2018	± 8,12 %
DQO	mg/l	4617	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 23. 2017, 5220 D	± 25,26 %
DBO5*	mg/l	2323,85	PRO TEC 066 / HACH 8043, Ed. 10, 2017	± 3,72 %
pH	UpH	5,82	PRO TEC 011 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500 H+ B	± 4,56 %
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	1881	PRO TEC 029 / HACH 8006, Ed. 09, 2014	± 3,99 %
Temperatura	°C	19,4	PRO TEC 043 / Standard Methods Ed. 23. 2017, 2550 B	± 2,12 %

#### SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado  
\* Parámetro acreditado fuera del alcance

\*\* Parámetro No acreditado  
\*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado:  
\*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado:

#### Notas:

1. Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
2. Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
3. Lacquanalisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
4. La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanalisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
5. Lacquanalisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
6. La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en [www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com)
7. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

#### PERSONAL RESPONSABLE:



  
 Ing. Andrés Manzano  
 Analista  
 Dr. Harold Jiménez  
 Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
 Teléfono: (03) 2420 106 • Móvil: 099-5363620 • [info@lacquanalisis.com](mailto:info@lacquanalisis.com)  
 Ambato, Ecuador - Sud América



## ANEXO 5

# RESULTADOS DE MONITOREO DE AGUAS MUESTRA 2 (ELECTROLISIS)



### INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3915



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	CURTIPEL CASTRO	N/D	
Atención a	Ing. Adriana Morales		
Dirección	Ambato - Macasto		
Teléfonos	096 025 6186		
e-mail	---		
Procedencia	Salida bombo - Curtido	Contenido declarado	450 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:			
Fecha toma muestra	27-sep.-22	Fecha de análisis	Del 28 de septiembre al 07 de octubre de 2022
Fecha ingreso al Laboratorio	28-sep.-22	Fecha emisión informe	07 de octubre de 2022
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanálisis		Coord. Análisis
Condiciones Ambientales:	Humedad (%): 41,3	Temperatura amb. (°C): 20,1	Coord. muestra
			---
			17M 0768539 UTM 9869380

### RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Cromo Total*	mg/l	0,98	PRO TEC 040 / HACH 8024, Ed. 10, 2018	± 8,12 %
DQO	mg/l	5668	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 23. 2017, 5220 D	± 25,26 %
DBO5*	mg/l	3027,08	PRO TEC 066 / HACH 8043, Ed. 10, 2017	± 3,72 %
pH	UpH	5,94	PRO TEC 011 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500 H+ B	± 4,56 %
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	1368	PRO TEC 029 / HACH 8006, Ed. 09, 2014	± 3,99 %
Temperatura	°C	19,9	PRO TEC 043 / Standard Methods Ed. 23. 2017, 2550 B	± 2,12 %

#### SIMBOLOGÍA

\* Parámetro acreditado

\* Parámetro acreditado fuera del alcance

\*\* Parámetro No acreditado

\*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado:

\*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado:

#### Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en este informe
- Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
- Lacquanálisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanálisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en [www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com)
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

#### PERSONAL RESPONSABLE:

Ing. Andrés Manzano  
Analista



Dr. Harold Jiménez  
Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · [info@lacquanalisis.com](mailto:info@lacquanalisis.com)  
Ambato, Ecuador - Sud América

## ANEXO 6

### RESULTADOS DE MONITOREO MUESTRA 3 (ELECTROLISIS)



#### INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3925



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	CURTIPEL CASTRO	N/D	
Atención a	Ing. Adriana Morales		
Dirección	Ambato - Macasto		
Teléfonos	096 025 6186		
e-mail	---		
Procedencia	Salida bombo - Curtido	Contenido declarado	400 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	03-oct-22	Fecha de análisis	Del 04 al 14 de octubre de 2022	Código Muestra	A-3663
Fecha Ingreso al Laboratorio	04-oct-22	Fecha emisión informe	14 de octubre de 2022	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanálisis			Coord. Análisis	17M 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	46,3	Temperatura amb. (°C):	20,1	

#### RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Cromo Total*	mg/l	0,76	PRO TEC 040 / HACH 8024, Ed. 10, 2018	± 8,12 %
DQO	mg/l	4617	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 23, 2017, 5220 D	± 25,26 %
DBO5*	mg/l	2323,85	PRO TEC 066 / HACH 8043, Ed. 10, 2017	± 3,72 %
pH	UpH	5,82	PRO TEC 011 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500 H+ B	± 4,56 %
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	1881	PRO TEC 029 / HACH 8006, Ed. 09, 2014	± 3,99 %
Temperatura	°C	19,4	PRO TEC 043 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 2550 B	± 2,12 %

#### SIMBOLOGÍA

- Parámetro acreditado
- \* Parámetro acreditado fuera del alcance
- \*\* Parámetro No acreditado
- \*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado:
- \*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado:

#### Notas:

1. Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
2. Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
3. Lacquanálisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
4. La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanálisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
5. Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
6. La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en [www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com)
7. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

#### PERSONAL RESPONSABLE:

 Ing. Andrés Manzano Analista		 Dr. Harold Jiménez Director Técnico
-------------------------------------	--	--

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
 Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · [info@lacquanalisis.com](mailto:info@lacquanalisis.com)  
 Ambato, Ecuador - Sud América



## ANEXO 7

# RESULTADOS DE MONITOREOS DE AGUAS MUESTRA 4 (ELECTROLISIS)



### INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3940



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	CURTIPIEL CASTRO	N/D	
Atención a	Ing. Adriana Morales		
Dirección	Ambato - Macasto		
Teléfonos	096 025 6186		
e-mail	---		
Procedencia	Salida bombo - Curtido	Contenido declarado	500 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	31-oct.-22	Fecha de análisis	Del 31 de octubre al 15 de noviembre de 2022	Código Muestra	A-3678
Fecha ingreso al Laboratorio	01-nov.-22	Fecha emisión informe	15 de noviembre de 2022	Coord. muestra	---
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanalisis			Coord. Análisis	17M 0768539 UTM 9869380
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	47,3	Temperatura amb. (°C):	21,1	

### RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Cromo Total	mg/l	<0,05	PRO TEC 040 / HACH 8024, Ed. 10, 2018	± 8,12 %
DQO	mg/l	7220	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 23, 2017, 5220 D	± 25,26 %
DBO5*	mg/l	3801,42	PRO TEC 066 / HACH 8043, Ed. 10, 2017	± 3,72 %
pH	UpH	5,65	PRO TEC 011 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500 H+ B	± 4,56 %
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	1262	PRO TEC 029 / HACH 8006, Ed. 09, 2014	± 3,99 %
Temperatura	°C	21,7	PRO TEC 043 / Standard Methods Ed. 23, 2017, 2550 B	± 2,12 %

#### SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado  
\* Parámetro acreditado fuera del alcance

\*\* Parámetro No acreditado  
\*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado:  
\*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado:

#### Notas:

1. Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en este informe
2. Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
3. Lacquanalisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
4. La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanalisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
5. Lacquanalisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
6. La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en [www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com)
7. Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

#### PERSONAL RESPONSABLE:

 Ing. Gisela Acosta Analista		 Dr. Harold Jiménez Director Técnico
---	---	--

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
Teléfono: (03) 2420 106 - Móvil: 099-5363620 - [info@lacquanalisis.com](mailto:info@lacquanalisis.com)  
Ambato, Ecuador - Sud América

## ANEXO 8

### ANÁLISIS DE LODOS



#### INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 22 - 3916



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	CURTIPIEL CASTRO	N/D	
Atención a	Ing. Adriana Morales		
Dirección	Ambato - Macasto		
Teléfonos	096 025 6186		
e-mail	---		
Procedencia	---	Contenido declarado	89 g
Identificación muestra	Suelo	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Sólido oscuro	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Detos del Análisis:			
Fecha toma muestra	27-sep.-22	Fecha de análisis	Del 28 de septiembre al 13 de octubre de 2022
Fecha ingreso al Laboratorio	28-sep.-22	Fecha emisión informe	13 de octubre de 2022
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanálisis		Coord. Análisis
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	41,3	Temperatura amb. (°C):
			20,1

#### RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Cromo Total***	mg/kg	46527,3	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992; EPA 6010 B, December 1996; Standard Methods Ed. 23, 2017, 3120 B / PA-118.00	± 5,25 mg/kg

#### SIMBOLOGÍA


Parámetro acreditado  
\* Parámetro acreditado fuera del alcance

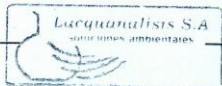

\*\* Parámetro No acreditado  
\*\*\* Parámetro Subcontratado Acreditado: SAE LEN 05-005  
\*\*\*\* Parámetro Subcontratado No Acreditado:

#### Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
- Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
- Lacquanálisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanálisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanálisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en [www.lacquanalisis.com](http://www.lacquanalisis.com)
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

#### PERSONAL RESPONSABLE:

  
 Ing. Andrés Manzano  
 Analista


  
 Dr. Harold Jiménez  
 Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo  
 Teléfono: (03) 2420 106 • Móvil: 099-5363620 • [info@lacquanalisis.com](mailto:info@lacquanalisis.com)  
 Ambato, Ecuador - Sud América