



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA LA
RECUPERACIÓN DE CROMO PROVENIENTE DE LOS LODOS DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
EMPRESA CURTIDURÍA SERRANO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: GONZALO RIGOBERTO CAMACHO BORJA

DIRECTOR: ING. HANNIBAL BRITO MOLINA

RIOBAMBA-ECUADOR

2017

© 2017 Gonzalo Rigoberto Camacho Borja

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

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que el trabajo de titulación “ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA LA RECUPERACIÓN DE CROMO PROVENIENTE DE LOS LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA CURTIDURÍA SERRANO” de responsabilidad del Señor Gonzalo Rigoberto Camacho Borja, ha sido revisado por los miembros del tribunal, quedando autorizado su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Hannibal Brito M. PhD
DIRECTOR DEL TRABAJO
De TITULACIÓN

Ing. Cesar Puente
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

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

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

Riobamba, 18 de agosto del 2017

.....
Gonzalo Rigoberto Camacho Borja
Cedula de identidad: 020236839-5

Yo, Gonzalo Rigoberto Camacho Borja, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Gonzalo Rigoberto Camacho Borja

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado en primer lugar a Dios por haberme dado salud y sabiduría para culminar este proyecto.

A mis padres Lautaro Camacho y Yolanda Borja que me han sabido educar correctamente con buenos valores lo cual me ayudado a ser una persona de bien.

A mis hermanos Darwin y Cristian por estar siempre a mi lado, a mi hermana Marcela que siempre ha estado junto a mi brindándome su apoyo muchas veces poniéndose el papel de madre.

Gonzalo Camacho Borja

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar mi camino y darme fuerzas y valor necesario para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres por haberme apoyado económicamente para culminar mis estudios

A mis hermanos por estar siempre pendiente de mí y su apoyo incondicional.

A la Escuela de Ingeniería Química, especialmente a mi director de trabajo de titulación el Ing. Hannibal Brito y a mi asesor el Ing. Cesar Puente quienes con su conocimiento y sabiduría han logrado que pueda concluir con éxito el presente trabajo de investigación.

A la empresa Curtiduría Serrano auspiciarme con mi tema de investigación.

Al Ing. Eduardo Serrano por el apoyo y colaboración brindada durante la realización de este proyecto.

Gonzalo Camacho Borja

TABLA DE CONTENIDOS

	Páginas
RESUMEN.....	xvii
SUMARY	xviii
CAPÍTULO I	
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Identificación del problema	1
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
CAPÍTULO II	
2 MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes de la investigación.....	4
2.2 Marco conceptual.....	6
2.2.1 El cromo	6
2.2.1.1 Usos y aplicaciones del cromo.....	6
2.2.1.2 Toxicidad del cromo.....	7
2.2.2 Curtido de pieles	8
2.2.2.1 Proceso de producción del cuero.....	8
2.2.2.1.1 Etapa de ribera	8
2.2.2.1.2 Etapa de curtido	9
2.2.2.1.2.1 Curtido mineral	9
2.2.2.1.2.2 Curtido vegetal.....	10
2.2.2.1.3 Etapa de acabados	10
2.2.3 Residuos que se generan en las curtiembres	10
2.2.3.1 Residuos líquidos	11
2.2.3.2 Residuos sólidos	12
2.2.3.2.1 Residuos sin curtir.....	12

2.2.3.2.2	<i>Residuos curtidos</i>	13
2.2.3.2.3	<i>Lodos que se generan en las plantas depuradoras</i>	13
2.2.3.2.3.1	<i>Lodos de cromo</i>	14
2.2.4	<i>Impacto ambiental que produce la industria de curtiembre</i>	15
2.2.4.1	<i>Impactos sobre la calidad del aire</i>	16
2.2.4.2	<i>Impactos sobre la calidad del agua</i>	16
2.2.4.3	<i>Impactos sobre la calidad del suelo</i>	16
2.2.5	<i>Métodos de recuperación de cromo de los lodos de curtiduría</i>	17
2.2.5.1	<i>Lixiviación</i>	17
2.2.5.1.1	<i>Factores que influyen en la eficiencia de lixiviación</i>	17
2.2.5.1.2	<i>Reactivos de lixiviación</i>	18
2.2.5.1.3	<i>Aplicaciones industriales de la lixiviación</i>	19
2.2.5.2	<i>Calcinación</i>	20
2.2.5.2.1	<i>Horno mufla</i>	20
2.2.6	<i>Base legal</i>	21
2.2.6.1	<i>Normas Nacionales</i>	21
2.2.6.2	<i>Normas internacionales</i>	23
CAPÍTULO III		
3	METODOLOGÍA	25
3.1	Hipótesis y especificación de las variables	25
3.1.1	<i>Hipótesis general</i>	25
3.1.2	<i>Hipótesis específicas</i>	25
3.1.3	<i>Especificación de las variables</i>	26
3.1.3.1	<i>Variables de la hipótesis específica 1</i>	26
3.1.3.2	<i>Variables de la hipótesis específica 2</i>	26
3.1.3.3	<i>Variables de la hipótesis específica 3</i>	26
3.1.3.4	<i>Variables de la hipótesis específica 4</i>	26
3.1.3.5	<i>Variables de la hipótesis específica 5</i>	26
3.1.4	<i>Matriz de consistencia</i>	27
3.2	Tipo y diseño de la investigación	29

3.2.1	<i>Tipo de investigación</i>	29
3.2.2	<i>Diseño de la investigación</i>	29
3.3	Unidad de análisis	29
3.4	Población de estudio	29
3.5	Tamaño de muestra	30
3.6	Selección de muestra	30
3.7	Técnicas de recolección de datos	30
3.8	Desarrollo experimental	31
3.8.1	<i>Análisis del agua provenientes del proceso del curtido</i>	31
3.8.2	<i>Tratamiento actual que reciben el agua de curtido en la empresa</i>	31
3.8.3	<i>Precipitación de las aguas de curtido a nivel de laboratorio</i>	33
3.8.3.1	<i>Procedimiento</i>	33
3.8.3.2	<i>Diagrama de flujo del proceso de precipitación de las aguas de curtido</i>	35
3.8.4	<i>Análisis fisicoquímico de los lodos</i>	36
3.8.4.1	<i>Comparación de la concentración de cromo con una normativa técnica</i>	36
3.8.5	<i>Pruebas de laboratorio</i>	36
3.8.5.1	<i>Prueba de lixiviación</i>	36
3.8.5.1.1	<i>Procedimiento</i>	37
3.8.5.1.2	<i>Diagrama de flujo del proceso de recuperación de cromo de los lodos por lixiviación</i>	38
3.8.5.2	<i>Prueba de calcinación/disolución</i>	39
3.8.5.2.1	<i>Procedimiento</i>	39
3.8.5.2.2	<i>Diagrama de flujo del proceso de recuperación de cromo de los lodos por calcinación/disolución</i>	42
CAPITULO IV		
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1	Resultados	43
4.1.1	<i>Resultados del análisis del agua proveniente del curtido</i>	43
4.2.2	<i>Resultados de la precipitación de las aguas de curtido</i>	44
4.2.3	<i>Resultados del análisis del lodo generado en la PTAR</i>	45

4.2.4	<i>Resultados obtenidos de la lixiviación con ácido sulfúrico</i>	46
4.2.5	<i>Resultados obtenidos de la calcinación y disolución con ácido sulfúrico</i>	46
4.2.6	<i>Comparación de los resultados obtenido por los métodos de estudio</i>	48
4.2.7	<i>Caracterización del sulfato de cromo III obtenido por dos métodos</i>	49
4.2.7.1	<i>Sulfato de cromo III obtenido por el método de lixiviación</i>	49
4.2.7.2	<i>Sulfato de cromo III obtenido por el método de calcinación/disolución</i>	50
4.2	Prueba de Hipótesis	51
4.2.1	<i>Hipótesis 1</i>	51
4.2.2	<i>Hipótesis 2</i>	51
4.2.3	<i>Hipótesis 3</i>	52
4.2.4	<i>Hipótesis 4</i>	52
4.2.5	<i>Hipótesis 5</i>	53
4.3	Discusión de resultados	53
CAPÍTULO V		
5	IMPLEMENTACION DEL PROYECTO	55
5.1	Propuesta para la solución del problema	55
5.2	Costos implementación de la propuesta	55
5.2.1	<i>Implementación del método de lixiviación</i>	55
2.5.1.1	<i>Costos de inversión</i>	57
5.2.2	<i>Implementación del método de calcinación/disolución</i>	57
5.2.2.1	<i>Costos de inversión</i>	58
CONCLUSIONES		59
RECOMENDACIONES		61
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1-2: Dermatitis causada por la exposición al cromo.....	8
Figura 2-2: Distribución de especies de Cr(III) en función del pH	15
Figura 3-2: Proceso de lixiviación	17
Figura 4-2: Calcinación de una muestra	20
Figura 5-2: Horno mufla	21
Figura 1-3: Tanque de almacenamiento.....	32
Figura 2-3: Deshidratación de los lodos	32
Figura 3-3: Ensacado de lodos.....	33
Figura 4-3: Precipitación de las aguas de curtido	34
Figura 5-3: Filtrado de los lodos de cromo.....	35
Figura 1-4: Sulfato de cromo III obtenido por lixiviación.....	50
Figura 2-4: Sulfato de cromo III obtenido por calcinación/disolución.....	51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Páginas
Gráfico 1-2: Residuos que se generan en las curtiembres.....	11
Gráfico 1-3: Diagrama de flujo del proceso de precipitación de las aguas de curtido.....	35
Gráfico 2-3: Diagrama de flujo del proceso de recuperación de cromo de los lodos por el método de lixiviación.....	38
Gráfico 3-3: Diagrama de flujo del proceso de recuperación de cromo de los lodos por el método de calcinación/disolución.....	42
Gráfico 1-4: Curva pH vs gramos de cal.....	44
Gráfico 2-4: Cantidad de cromo reciclable en los lodos.....	45
Gráfico 3-4: Comparativo de la concentración de cromo obtenida con cada método.....	49
Gráfico 4-4: Concentración de cromo en el lodo.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Páginas

Tabla 1-2: Usos de los compuestos del cromo en lo la industria	7
Tabla 2-2: Productos químicos utilizados en la etapa de curtido.....	9
Tabla 3-2: Reactivos de lixiviación de usos común.....	19
Tabla 4-2: Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos.....	24
Tabla 1-3: Matriz de consistencia	27
Tabla 2-3: Materiales, productos químicos y equipos utilizados en la precipitación de las aguas de curtido.....	33
Tabla 3-3: Cantidad de cal necesaria para precipitar 1Kg de agua de curtido	34
Tabla 4-3: Materiales, productos químicos y equipos utilizados en la prueba de lixiviación....	37
Tabla 5-3: Cantidad de H ₂ SO ₄ empleado en la prueba de lixiviación.....	37
Tabla 6-3: Materiales, productos químicos y equipos utilizados en la prueba de calcinación/disolución.....	39
Tabla 7-3: Pesos del lodo húmedo y calcinado.....	39
Tabla 8-3: Cantidad de H ₂ SO ₄ empleado en el proceso disolución del lodo calcinado.	40
Tabla 1-4: Análisis del agua proveniente del curtido.....	43
Tabla 2-4: Análisis de los lodos generados en la PTAR.....	45
Tabla 3-4: Resultados de la prueba de lixiviación con ácido sulfúrico.....	46
Tabla 4-4: Resultados de la prueba de calcinación y disolución con ácido sulfúrico	48
Tabla 5-4: Concentración de cromo obtenido con cada método de estudio.....	48
Tabla 6-4: Características físicas del sulfato de cromo III obtenido por lixiviación	49
Tabla 7-4: Características químicas del sulfato de cromo III obtenido por lixiviación	50
Tabla 8-4: Características físicas del sulfato de cromo obtenido por calcinación/ disolución...	50
Tabla 9-4: Características químicas del sulfato de cromo III obtenido por calcinación/disolución.....	51
Tabla 10-4: Características fisicoquímicas del sulfato básico de cromo III comercial.....	52
Tabla 1-5: Insumos requeridos para recuperar el cromo por lixiviación	55
Tabla 2-5: Materiales y equipo requeridos recuperar el cromo por lixiviación	56
Tabla 3-5: Equipos de protección requeridos recuperar el cromo	56
Tabla 4-5: Costos de inversión para la implementación del método de lixiviación.....	577
Tabla 5-5: Costos de equipos de calcinación.....	58
Tabla 6-5: Costos insumos para la implementación del método de calcinación/disolución	58
Tabla 7-5: Costos total para la implementación del método de calcinación/disolución	58

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Análisis fisicoquímico del agua residual del proceso de curtido
- ANEXO B:** Análisis físico químico de los lodos
- ANEXO C:** Lixiviación con ácido sulfúrico, parte 1
- ANEXO D:** Lixiviación con ácido sulfúrico, parte 2
- ANEXO E:** Calcinación/disolución del calcinado con ácido sulfúrico, parte 1
- ANEXO F:** Calcinación/disolución del calcinado con ácido sulfúrico, parte 2
- ANEXO G:** Análisis del extracto de la prueba de lixiviación
- ANEXO H:** Análisis del extracto de la prueba de calcinación/disolución
- ANEXO I:** Hoja de seguridad del hidróxido de calcio
- ANEXO J:** Hoja de seguridad del ácido sulfúrico

SIMBOLOGIAS Y ABREVIATURAS

C	Concentración
Ca(OH)₂	Hidróxido de calcio
Cr	Cromo
Cr(OH)₃	Hidróxido de cromo III
Cr₂O₃	Óxido de cromo III
Cr(OH)SO₄	Sulfato básico de cromo III
g	Gramos
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
Kg	Kilogramos
m³	Metros Cúbicos
min	Minutos
mg	Miligramos
mL	Mililitros
L	Litros
PM	Peso molecular
PA	Peso atómico
pH	Potencial de hidrogeno
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
um	Micrómetro
V	Volumen
%	Porcentaje

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue realizar un estudio comparativo de los métodos para recuperar el cromo presente en los lodos que se generan en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Curtiduría Serrano que se encuentra ubicada en el cantón Ambato, debido a que estos lodos poseen un alto contenido de cromo, de acuerdo al análisis fisicoquímico realizado tienen una concentración de cromo de 15050.647mg/Kg, situación que provoca un problema ambiental en su disposición final. Los métodos evaluados para recuperar el cromo de los lodos fueron: lixiviación y calcinación/disolución. El primer método consistió en acidular a los lodos con ácido sulfúrico concentrado hasta alcanzar un pH de 2.5 y así obtener el sulfato básico de cromo III. El segundo método consistió en calcinar los lodos a 250°C para luego disolverlo con ácido sulfúrico diluido al 10%, hasta alcanzar un pH de 2.5 y de la misma manera obtener el sulfato básico de cromo III. Con el método de lixiviación se obtuvo un licor de color verde oscuro con una concentración de cromo de 7315.776 mg/L, mientras que con el método de calcinación/disolución el resultado fue un licor verde azulado con una concentración de cromo de 9693.396 mg/L. En conclusión, la forma del lodo (calcinado o húmedo), tiene mucha influencia en los resultados debido a que el lodo al ser calcinado elimina toda la cantidad de agua y parte de materia orgánica por lo que al adicionar el ácido reacciona directamente con el cromo. De acuerdo con el análisis financiero realizado el método de lixiviación es el más factible para recuperar el cromo de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales debido a que su metodología empleada es simple económica y ecológica.

Palabra clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <CALIDAD DEL AGUA>, <LIXIVIACIÓN>, <CALCINACIÓN/DISOLUCIÓN>, <CROMO (Cr)>, <LODOS DE CROMO>, <ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO>, <CONCENTRACIÓN DE CROMO>, <ÁCIDO SULFÚRICO >, <SULFATO BÁSICO DE CROMO III >

SUMMARY

The objective of this research was to carry out a comparative study of methods in order to recover the chromium in the sludge from wastewater treatment plant of Serrano Tannery Company which is located in Ambato canton, due to these sludge contains a high chromium content. The Physico-chemical analysis shows a chromium concentration of 15050.647 mg/Kg, this situation causes an environmental problem in its final disposal. The methods assessed to recover the chromium in the sludge were: leaching, calcination/dilution. The first method was to acidify the sludge with concentrated sulfuric acid until the pH 2.5 has been reached and thus obtain the basic sulfate of chromium III. The second method was to calcine the sludge to 250 degrees centigrade and then to dissolve with dilute sulphuric acid to 10% until a pH 2.5 has been reached and in the same way to obtain the basic sulfate of chromium III. With leaching method it was obtained a dark green-coloured liqueur with a chromium concentration of 7315.776 mg/L, while with the calcination/dilution method it was obtained a blue-green coloured liqueur with a chromium concentration of 9693.396 mg/L. It is concluded that the form of sludge (calcined or wet) has great influence on the results due to the sludge to be calcined removes all amount of water and part of organic matter so that adding acid, this reacts directly with chromium. The financial analysis shows that the leaching method is the most feasible to recover the chromium in the sludge from wastewater treatment plant thanks to the methodology used is simple, economic and ecologic.

Key words: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <WATER QUALITY>, <LEACHING>, <CALCINATION/DILUTION>, <CHROMIUM>, <SLUDGE OF CHROMIUM>, <PHYSICO-CHEMICAL ANALYSIS>, <CHROMIUM CONCENTRATION>, <SULPHURIC ACID>, <BASIC SULFATE OF CHROMIUM III>

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Identificación del problema

En la actualidad el crecimiento de la industria de curtiembre está generando grandes problemas de contaminación en el agua, suelo y aire esto se debe a la cantidad de residuos que se produce, uno de estos son los lodos, que provienen del tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido. Estas aguas poseen una alta concentración de cromo debido a que solo un 65 % del sulfato básico de cromo III (Cr(OH)SO_4) que se utiliza se queda en el cuero y un 35 % sale a los vertidos de los baños de curtido.

En la empresa Curtiduría Serrano se genera de 200 a 300Kg de lodo al mes, aproximadamente 3 Toneladas por año, debido a esta gran cantidad de lodos que se produce se hace difícil almacenarlos dentro de la empresa por mucho tiempo, por lo que son enviados a terrenos baldíos o al relleno sanitario, sin haber recibido un manejo adecuado, provocando así un impacto negativo en el ambiente.

Estos lodos con alta concentración de cromo al ser desechados en el ambiente provocan grandes problemas de contaminación que afecta a la flora, fauna y habitantes de los sectores más aledaños a su disposición final. La acción de la lluvia y el viento provocan que estos desechos se remuevan de su lugar, por lo que la población se expone al cromo de manera directa por la inhalación del aire o el consumo de agua contaminada, y de manera indirecta por el consumo de alimentos que han sido contaminados previamente. El cromo en los seres humanos y en los animales es causante de diversas enfermedades como ulceraciones en la piel, cáncer de pulmón, cáncer en las cavidades nasales leucemia, entre otras patologías.

Otro problema surge al momento de transportar los lodos que contienen cromo al relleno sanitario, debido a que es enviado junto a otros residuos de curtiembre (pelo, grasas, virutas, lodos de los diferentes procesos), estos desechos suelen modificar las condiciones del medio, lo que puede provocar que el cromo trivalente se oxide en cromo hexavalente lo cual hace que aumente la peligrosidad de este residuo.

En la empresa Curtiduría Serrano no se ha realizado ninguna investigación al respecto para resolver estos problemas de contaminación, por tal razón no se tiene claro el método o procedimiento adecuado que sea efectivo y económico para recuperar el cromo contenido en los lodos, debido a que no existen métodos estándares, es por ello que se desea establecer un estudio comparativo entre los métodos de lixiviación y calcinación/disolución.

1.2 Justificación del proyecto

Debido a que en la empresa Curtiduría Serrano no tiene implementado ningún método que permita recuperar y reutilizar el cromo contenido en los lodos que se generan en la PTAR del proceso de curtido, se ha visto conveniente intervenir con nuestro conocimiento para realizar un estudio comparativo entre el método de lixiviación utilizando como agente lixivante el ácido sulfúrico y el método de calcinación/disolución, de esa manera dar a conocer a la empresa la mejor alternativa que pueda aplicar e implementar para recuperar el cromo contenido en los lodos.

Esta investigación para la empresa resulta viable desde el punto de vista ambiental y económico, debido a que, al ser recuperado el cromo de los lodos se disminuye el impacto ambiental que se produce al desechar este residuo, por otra parte, se obtiene un ahorro económico por el costo de adquisición de este insumo, debido a que puede ser reutilizado nuevamente el cromo recuperado en el proceso de curtido.

Este estudio será una fuente de información accesible para todas las empresas curtidoras del país que les permitirá conocer, varias alternativas para recuperar el cromo contenido en los lodos, promoviendo así el reciclaje al máximo de este insumo, reducido así la cantidad de cromo desechado al ambiente.

La disminución de los niveles de contaminación a causa del cromo producirá un impacto positivo, debido a que los lodos que se desechan en los terrenos no tendrán ningún efecto nocivo en el ambiente. Es por tal motivo que esta investigación tiene gran importancia, debido a que se conocerá la posible solución al problema de contaminación que causa la empresa. Además, proporcionará conocimientos que servirá de información para futuras investigaciones.

Por otra parte, si no se realiza nada al respecto la empresa continuaría desechando los lodos con alta concentración de cromo al ambiente, por lo tanto, los problemas contaminación no cesarían y la salud de las personas y animales del sector estaría en riesgo.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

- Realizar un estudio comparativo de los métodos para recuperar el cromo que proviene de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Curtiduría Serrano.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar el diagnóstico de la gestión actual que recibe los lodos procedentes de la planta de tratamiento de agua residual, basándose en las normas técnicas internas de la empresa.
- Determinar la concentración de cromo presente en los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Realizar las pruebas de recuperación de cromo a nivel de laboratorio, con los métodos de lixiviación y calcinación/disolución, utilizando como medio lixivante y disolvente el ácido sulfúrico.
- Caracterizar el sulfato de cromo III obtenido mediante los dos métodos de estudio (lixiviación y calcinación/disolución)
- Comparar los resultados obtenidos de los métodos de lixiviación y calcinación/disolución, en la recuperación de cromo contenido en los lodos.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Curtiduría Serrano es una empresa, que se encuentra ubicada en la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, parroquia Atahualpa, en las calles Alberto Rosero y Batallón Montecristi, tiene una extensión de 3080m², su Gerente y propietario es el Sr. Washington Serrano, esta industria se dedica hace 22 años a la conversión y comercialización de cueros.

Para obtener este producto debe pasar por diferentes procesos, en donde uno de estos es el curtido mineral, en el cual tiene como su insumo principal el Cr(OH)SO₄. Como consecuencia de este proceso se genera una gran cantidad de efluentes líquidos, con alto contenido de cromo trivalente.

En la empresa para cumplir con los requerimientos de los organismos de control con los efluentes líquidos que proceden del proceso de curtido se tratan en la PTAR, en donde se adiciona hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) con el fin de elevar el pH y precipitar el cromo. El precipitado formado se deja en reposo por un lapso de dos días, hasta que se sedimente por completo. La fase líquida obtenida (agua) es desechada por el alcantarillado, y los lodos resultantes son deshidratados y colocados en costales, para luego ser enviados al relleno sanitario o en lotes de terrenos baldíos del sector, debido a que no existe ningún tratamiento posterior implementado.

En muchos países de Latinoamérica, tienen los mismos problemas, con los lodos generados por las curtiembres, debido a que gran parte de estas industrias son de producción artesanal, con escasa tecnificación y baja educación ambiental. En Europa cuentan con mayor control ambiental, a pesar de ello no es suficiente para evitar la contaminación que produce la industria curtidoras. (Ortiz, 2013, p. 18)

Por lo general las curtiembres que cuentan con PTAR no eliminan el problema de contaminación a causa de los efluentes líquidos que contienen cromo, simplemente transfieren este inconveniente de un estado líquido a sólido. En cambio, las industrias que no cuentan con PTAR simplemente tratan el agua con hidróxido de calcio para cumplir con los requerimientos de los organismos de control y tanto el agua como el lodo generado son desechados, y no se recicla el cromo debido a

que las tecnologías implementadas en no son más avanzadas, además no cuentan con el personal capacitado.

Gran parte de los estudios que se han realizado para recuperar metales pesados de lodos generados por las plantas de tratamiento de las diferentes industrias, se han basado especialmente en procesos hidrometalúrgicos (lixiviación), pirometalúrgicos (calcinación) y electrometalúrgicos obteniendo muy buenos resultados en la recuperación de metales. A continuación, se resumen algunas investigaciones referentes al tema de investigación.

Pantazopouloa, Zebiliadou, Mitrakas & Zouboulis (2014), estos autores, realizaron un estudio destinado a la recuperación del cromo contenido en lodos de curtiduría. En dicha investigación se basaron en procesos hidrometalúrgicos, (lixiviación) en donde utilizan como agente lixivante agua desmineralizada obteniendo eficiencias hasta del 72.3% de recuperación bajo las siguientes condiciones: tiempo de contacto 180 minutos, temperatura 60°C y un pH de 2, el mismo que fue ajustado con la adición de ácido sulfúrico.

Silva, Soares, Paiva, Labrincha & Castro (2005), en el artículo titulado “*Leaching behaviour of a galvanic sludge in sulphuric acid and amoniacal media*” muestran los resultados obtenidos de una investigación realizada con el fin de determinar el mejor agente lixivante para extraer los metales contenido en los lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales del recubrimiento metálico de cromo y níquel. Los reactivos estudiados fueron, el ácido sulfúrico y el amoniaco. Con el ácido sulfúrico se obtuvieron recuperaciones del 88% para cobre, 98% para el níquel y 99,2 para el zinc, en cambio con el amoniaco los porcentajes de recuperación fueron solo del 50% para el níquel y 70% para el cobre. Las condiciones de operación fueron las siguientes: relación líquido sólido 5 a 1, tamaño de partícula 1mm, tiempo de contacto de 24 horas, y una velocidad de agitación de 700rpm, a temperatura ambiente y presión atmosférica.

Świerk, Bielicka, Bojanowska, & Maćkiewicz (2005), estos autores realizaron una investigación con el fin de determinar la influencia que tienen diferentes parámetros para la extracción de los metales contenido en lodos de galvanoplastia. Los parámetros evaluados fueron: tipo y concentración del agente lixivante (ácido nítrico a una concentración de 0,02M, 1M, 8M, y el hidróxido de sodio a 0,1M, 1M), la forma del lodo (seco al aire libre y calcinado a 550°C), otros parámetros evaluados fueron, el tamaño de partícula (0.1 y 0.5 mm), la relación sólida/líquido (50 a 1), y el tiempo de contacto (1 hora, 1 día, 1 semana, 1 mes, 6 meses y 12 meses). El rendimiento de extracción vario entre 0.07% y 99%, obteniendo los mejores resultados con el ácido nítrico a 1M y 8M, teniendo gran influencia la forma del lodo seco al aire libre o calcinado.

Estas investigaciones son un gran aporte para la presente investigación, debido a que nos da como referencia las mejores condiciones para obtener la eficiencia más alta en la recuperación de cromo contenido en el lodo de curtiduría, además nos indica la incidencia que tiene la forma del lodo ya sea seco o húmedo, lo cual lo comprobaremos realizando las pruebas pilotos respectivas.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 El cromo

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

Las formas más comunes y estables del cromo en el ambiente son el cromo trivalente Cr (III) y el cromo hexavalente Cr (VI) las cuales poseen propiedades químicas distintas. El Cr(VI), considerado la forma más tóxica, se encuentra usualmente asociado al oxígeno en forma de cromatos y dicromatos, que debido a su gran solubilidad son altamente móviles en el suelo y en ambiente acuáticos. Por otra parte, el Cr (III) se encuentra en forma de óxidos, hidróxidos o sulfatos. (Gutiérrez, et al., 2010, p. 48)

2.2.1.1 Usos y aplicaciones del cromo

El cromo y los compuestos de cromo se utilizan en el curtido de cuero, preservación de la madera, en la elaboración de la cerámica, la electrónica, la pirotecnia, y en la fabricación de aleaciones metálicas. En la industria química se utiliza para la elaboración de colorantes, plaguicidas, en el cromado electrolítico, además es utilizado como mordientes en teñido de telas. Otros usos menores de los compuestos de cromo se utilizan como fotograbado, en la fabricación de cerillos, explosivos y linóleo. (Guevara, 2010) En la **tabla 1-2** se muestran más aplicaciones de los compuestos del cromo.

Tabla 1-2: Usos de los compuestos del cromo en la industria

TIPO DE COMPUESTO	USOS
Acido Crómico	Galvanoplastia
Dicromato Sódico	Curtido de pieles
Trifluoruro de Cromo Cloruro Crómico	Mordiente para teñidos
Sulfato Crómico	Colorante de gemas sintéticas
Fluoruro de Cromo Dicromato de Sódico	Tinción de telas
Dicromato de Sodio	Mordiente
Acetato de Cromo	Estampados de textiles
Ion trivalente (Cr^{3+}) Ion hexavalente (Cr^{6+}), (CrO_4^{2-})	Colorante de vidrio

Fuente: (Guevara, 2010, p.8)

2.2.1.2 Toxicidad del cromo

Los efectos adversos del cromo para la salud dependen, especialmente, del grado de oxidación que se encuentre este elemento en el momento de la exposición. Las únicas formas de importancia toxicológica son el cromo VI y el cromo III. Una exposición de corta duración al Cr III puede causar irritación mecánica en los ojos y en el tacto respiratorio. Si presenta inhalación presenta tos. (Molina, et al., 2010, p. 83)

Las afectaciones de la salud a causa del Cr VI dependen de la vía de exposición que el individuo experimente en ese momento. Por inhalación produce irritación nasal, perforaciones y ulceraciones en el septo nasal, bronquitis, neumonía y cáncer, por vía oral provoca dolor abdominal, vómitos, úlceras, hemorragias y diarrea, por contacto con la piel produce quemaduras, irritación, dermatitis y hasta la muerte. (Alessandrello, 2015, p. 7)

Por el contrario, el cromo metálico carece de toxicidad es por tal motivo que se usa en la fabricación de utensilios de cocina y equipos de cirugía, esto no sucede con los compuestos del cromo VI y III estos compuestos son muy tóxicos para los seres vivos, por tal motivo para preservar la salud de las personas, se requiere tener un estricto control en las descargas al ambiente. (Martínez, 2013, p. 7)



Figura 1-2: Dermatitis causada por la exposición al cromo

Fuente: <http://www.clinicasubiza.com/es-es/figuras/e62.aspx>

2.2.2 Curtido de pieles

Es el proceso de someter a las pieles de animales, especialmente vacunos y caprinos, a una serie de tratamientos con diversas sustancias llamadas curtientes en diversas operaciones, destinadas a producir modificaciones químicas y físicas en las pieles, con el fin de convertirlas en material duradero, casi imputrescible, apenas permeable en el agua y a la vez suave, elástico y flexible. (Tellez, et al., 2004, pp. 54-55)

2.2.2.1 Proceso de producción del cuero

Las operaciones y procesos de producción del cuero se agrupan en tres etapas importantes que son: ribera, curtido y terminado o acabados, de la cual existen algunas variaciones según el tipo de piel la tecnología disponible y las características finales a conseguir en el cuero. Las principales sub-etapas de ribera y curtido se realizan en grandes recipientes cilíndricos de madera denominados fulones, a estos recipientes se ingresan los cueros, el agua y los reactivos químicos necesarios, mientras que las sub-etapas de terminado ocupan equipos de acondicionamiento físico en seco. (Tayupanda, 2010, p. 15)

2.2.2.1.1 Etapa de ribera

Es el conjunto de operaciones mecánicas y tratamientos químicos que tiene por objeto limpiar las pieles, aislar la dermis y dejarla lista para absorber los materiales curtientes. Esta fase empieza en la *recepción* de las pieles provenientes de los mataderos, continúa el *desorillo* que consiste en retirar las orejas, colas y extremidades, el *remojo* que tiene por objeto retirar de la piel las impurezas mediante el uso de agua, agentes humectantes o tensoactivos. El *pelambre* consiste en remover el pelo de la piel, el *descarnado* tiene por objeto remover de la piel los residuos de carne

y grasa, por último, el *dividido* que consiste en la separación mecánica de la capa superior de la inferior de la piel. (Tellez, et al., 2004)

2.2.2.1.2 Etapa de curtido

En esta fase de curtido las pieles reaccionan con productos químicos, estabilizando su composición orgánica, evitando de esa manera procesos de descomposición y putrefacción. Las actividades de la etapa de curtido son: el desenchalado, purgado, piquelado y curtido propiamente dicho, este último proceso puede darse de dos formas mediante el uso de curtientes minerales o vegetales.

2.2.2.1.2.1 Curtido mineral

Se aplica cuando se desea obtener cueros finos y muy flexibles, suaves y calibre delgado para la fabricación de calzado. Dentro de los curtientes minerales que más utilizan están los productos fabricados basándose en cromo, siendo el principal el sulfato básico de cromo III. (Jordán, 2011, p. 10) El proceso de curtido con sales de cromo trivalente representa una grave afectación al medio ambiente debido a que el cromo que se fija en el cuero se encuentra entre un 60 a 80% y el resto del cromo queda en el efluente líquido. (Portilla, 2013, p. 25)

Tabla 2-2: Productos químicos utilizados en la etapa de curtido

ETAPA	PRODUCTO QUÍMICO
Curtido	Ácido fórmico
	Ácido sulfúrico
	Bicarbonato de sodio
	Bisulfito de sodio
	Cloruro de sodio
	Croapon, enzilon (productos enzimáticos)
	Delgras (Productos desengrasantes)
	Formiato de sodio
	Sintatos
	Solventes
	Sulfato de amonio
	Sulfato de cromo
	Tensoactivos

Fuente: (Portilla, 2013)

2.2.2.1.2.2 Curtido vegetal

El curtido vegetal produce un cuero grueso resistente y poco flexible utilizado en la industria del calzado. Se aprovecha las propiedades curtientes de ciertos vegetales como el castaño, el quebracho y a mimosa, estas sustancias se obtienen a partir de las cortezas de árboles que poseen alto contenido de componentes tánicos orgánicos. (Corredor, 2006)

2.2.2.1.3 Etapa de acabados

Esta fase comprende varios subprocesos como el recurtido, engrase, teñido, engrase y terminado. En el *recurtido* el cuero es nuevamente sometido a agentes curtientes, el *teñido* y *engrase* tiene por objeto darle al cuero el color deseado, y restituirle las grasas perdidas mediante la aplicación de engrasantes dándole al cuero mayor elasticidad y brillo. El *terminado* que consiste en mejorar la textura del cuero mediante la aplicación de lacas y pinturas. (Tellez, et al., 2004)

2.2.3 Residuos que se generan en las curtiembres

En la industria de curtiembre se generan gran cantidad de desechos, cabe destacar que el 60% del peso de las pieles que se procesa son eliminados como residuo ya sea en las aguas residuales o con los residuos sólidos. (Tayupanda, 2010, p. 25)

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 1993) en industria de curtiembre se generan residuos líquidos y sólidos, que se distinguen por su elevada carga orgánica y presencia de agentes químicos que pueden tener efectos tóxicos, como es el caso del sulfuro y el cromo. Las variaciones en cuanto al volumen de los residuos y concentración de la carga contaminante dependen de la calidad de materia prima procesada y la tecnología empleada.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, 1999), al momento de descargar al ambiente los residuos pueden estar en estado gaseoso, sólido o líquido, siendo los desechos líquidos de mayor significación debido a que son más contaminantes, sin embargo, los materiales gaseosos y sólidos no dejan de ser importantes y se debe tener mucho cuidado con su disposición final.

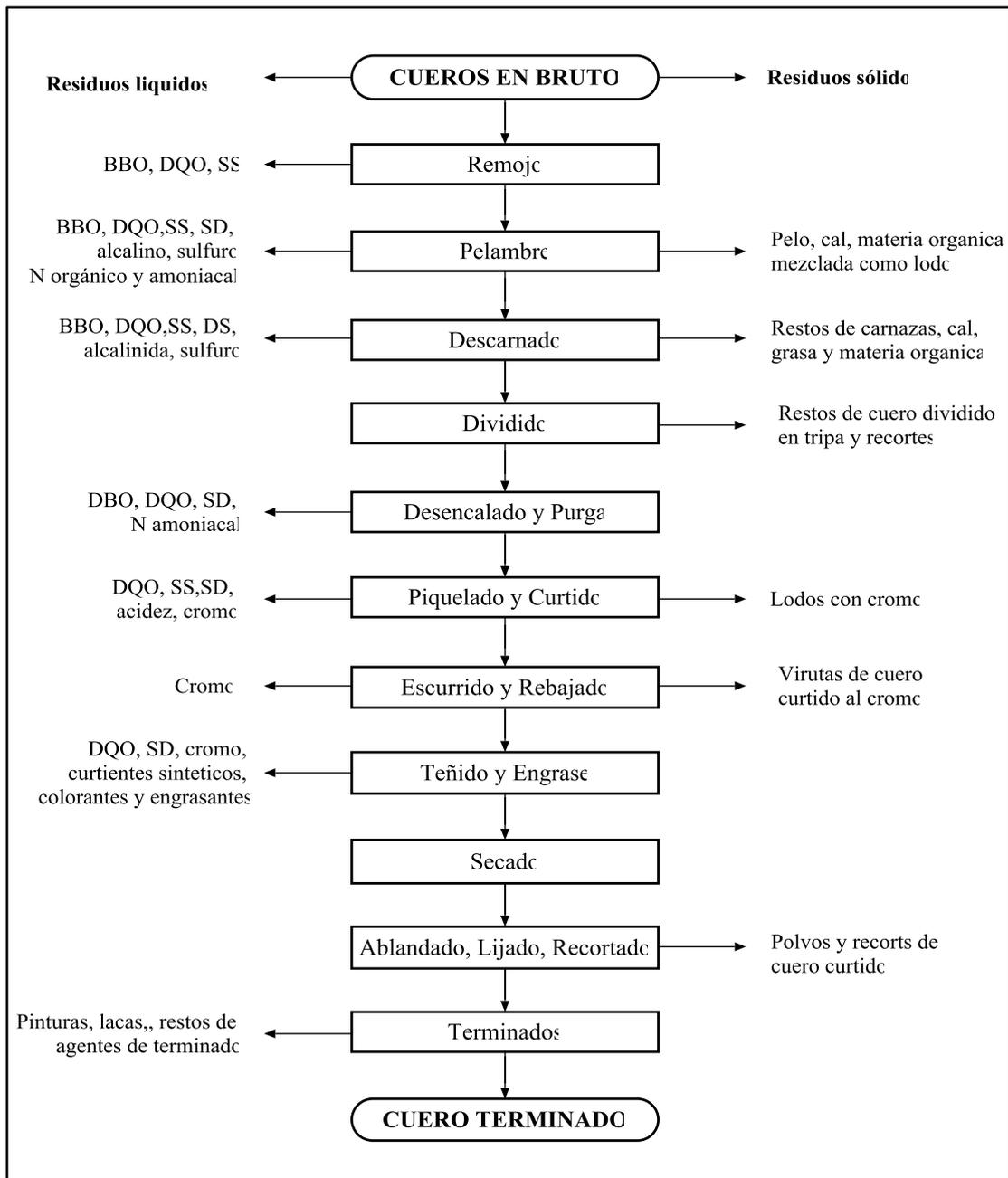


Gráfico 1-2: Residuos que se generan en las curtiembres

Fuente: (CONAMA, 1999)

Adaptado por: Camacho, Gonzalo

2.2.3.1 Residuos líquidos

Los procesos más importantes para transformar la piel en cuero se realizan en medios acuosos, por lo que en cada proceso se genera residuos industriales líquidos con distintos grados de contaminación. (CONAMA, 1999)

En general la carga de material contaminante de los efluentes líquidos de las curtiembres es producto de la materia prima utilizada y de los insumos químicos. Además, a lo anterior se suma el hecho que el proceso de una curtiembre es intensivo el uso del agua, estimándose que el consumo de agua puede variar entre 25 y 80 litros por kilogramo de piel. (Tayupanda, 2010, p. 25)

Los parámetros más importantes de contaminación de los residuos líquidos son: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, sulfuros, alcalinidad y salinidad. La fuerte carga de contaminante en los residuos líquidos es debido a la suciedad de las pieles, a los componentes de la piel y a los insumos que se adiciona para obtener el cuero como: cal, ácido sulfúrico, amoníaco, bicarbonato de sodio, sales de cromo, tensoactivos, entre otros. (CONAMA, 1999)

2.2.3.2 Residuos sólidos

En el proceso de curtición del cuero, el producto final representa apenas un 50% del producto inicial, por lo que gran parte del producto inicial queda en el camino como residuo sólido. (CONAMA, 1999, p. 14) Los residuos sólidos se generan principalmente en los procesos de descarnado, recortes de pieles, rapado y lijado de pieles, los residuos del descarnado son principalmente grasas y tejidos. Los residuos sólidos de los otros procesos son principalmente, pedazos de cuero curtido, virutas y polvo. (Tayupanda, 2010, p. 29)

Según CONAMA (1999) los residuos sólidos se dividen en tres grupos:

- Residuos sin curtir
- Residuos curtidos al cromo y vegetal
- Lodos de plantas depuradoras

2.2.3.2.1 Residuos sin curtir

Los residuos sin curtir proceden principalmente de etapa de rivera en donde se destacan, recortes de piel en bruto, carnaza, pelo, recortes de descarnado, entre otros. A continuación, se detallan los residuos más importantes.

- Pelo

Procedente de la etapa de pelambre, se caracteriza por ser una estructura con escaso contenido de grasa y baja relación carbono nitrógeno. (Rojas, 2010, p. 36)

- Recortes de piel en bruto

Cuando la piel de los animales llega a la industria se procede al recorte de las partes correspondientes al cuello, cola y extremidades. Los restos de piel que se desechan contienen carnazas, grasas, sangre y excrementos que aportan carga orgánica a los residuos de curtiembre. (CONAMA, 1999, p. 14)

- Carnazas

La carnaza procede de la máquina de descarnar, que arranca de la piel parte del tejido subcutáneo, formado por tejido conjuntivo adiposo y muscular que ha quedado adherido a la piel del animal. (CONAMA, 1999, p. 15)

2.2.3.2.2 Residuos curtidos

Los residuos curtidos se generan principalmente en las etapas de curtido y acabado del cuero dentro de los cuales se encuentran, las virutas o rebajadoras, recortes de cuero curtido, polvos de esmerilados, entre otros.

- Recortes de cuero y polvos esmerilados

Son pedazos de cuero que han sido cortados para mejorar presentación del producto final, mientras que el polvo de esmerilado resulta del lijado del cuero.

- Virutas o rebajadoras

Para que los cueros puedan quedar con un grosor uniforme en toda la superficie son sometidos al proceso de rebajado, realizado por una máquina denominada rebajadora la cual da lugar a las virutas o rebajadoras de cuero. (Rojas, 2010, p. 37)

2.2.3.2.3 Lodos que se generan en las plantas depuradoras

Son los residuos que se obtiene del tratamiento de los efluentes líquidos de las curtiembres. (Rojas, 2010) Los lodos que se generan en las plantas de tratamiento de aguas residuales de las industrias de curtiembre, están formados por productos orgánicos e inorgánicos. Los productos orgánicos provienen de los materiales empleados en la curtición del cuero y de la piel del animal como son, las grasas y las proteínas. Los productos inorgánicos que más frecuentan en los lodos son, las

sales de calcio, el cromo que puede estar en forma de hidróxidos, y otros metales pesados. (CONAMA, 1999)

Según CONAMA (1999) los lodos que se generan en la industria de curtiembre presentan las siguientes alternativas de tratamiento o aplicación:

- Incineración

De las cenizas resultantes de la incineración de los lodos es posible recuperar el contenido de cromo.

- Disposición en vertederos

Para esta opción se debe considerar la toxicidad de los lodos, para que no existe ningún problema de contaminación al desecharlos.

- Producción de pastas cerámica

Los lodos se pueden mezclar con pastas cerámicas para la producción de las mismas. La desventaja es que se generan muchos gases.

- Abono orgánico

Dependiendo del contenido de cromo, se puede agregar a los suelos, donde este actúa como un reactor biodegradando e inmovilizando a los constituyentes del lodo.

- Producción de biogás

Este tratamiento está condicionado, desde el punto de vista económico, debido a que no hay un adecuado aprovechamiento del biogás.

2.2.3.2.3.1 Lodos de cromo

Los lodos de cromo son el producto del tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido donde se encuentra el cromo como Cr(III). En las PTAR los baños agotados de cromo son precipitados con un álcali para formar el Cr(OH)_3 que son los lodos propiamente dichos. El cromo

III dependiendo del pH del medio, se puede encontrar formando varias especies con el ion $(OH)^-$, entre los que están: Cr^{3+} , $CrOH^2$, $Cr(OH)_2^+$, $Cr(OH)_3^0$, $Cr(OH)_4^-$

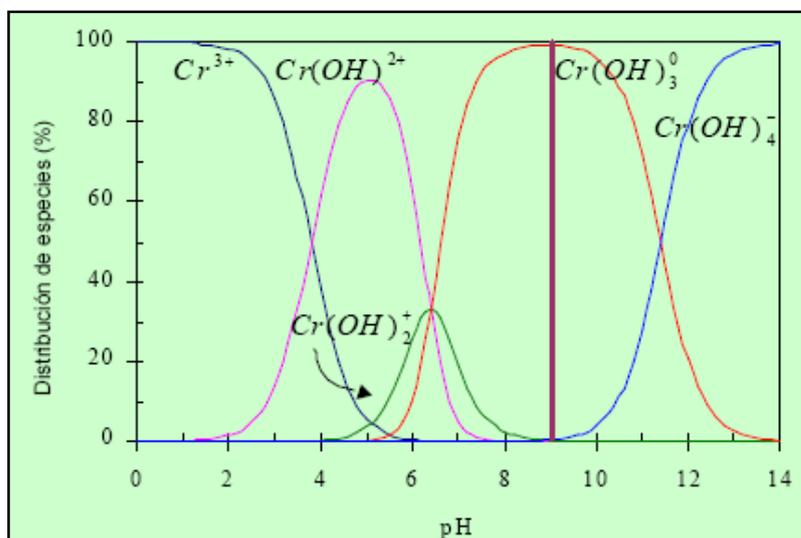


Figura 2-2: Distribución de especies de Cr(III) en función del pH

Fuente: Instituto Bolivariano de Ciencia y Tecnología Nuclear

El rango de precipitación del $Cr(OH)_3$ es de 8 a 10, siendo el valor óptimo 9. A pH menores a 7 y mayores a 10 empiezan a predominar especies solubles, de ahí que en el proceso de precipitación debe tenerse cuidado en realizar la precipitación en el rango indicado, el precipitado de $Cr(OH)_3$ es de forma gelatinoso, voluminoso y de estructura amorfa que retiene grandes cantidades de agua. (Puente, 2010)

2.2.4 Impacto ambiental que produce la industria de curtiembre

Las curtiembres se han convertido en un desafío ambiental debido que durante el proceso productivo son manipuladas numerosas sustancias químicas con potenciales de riesgos tóxicos que posteriormente son introducidas a los ríos, en algunos casos sin un tratamiento. Las aguas residuales drenadas por las curtiembres terminan vertiendo una alta cantidad de materia orgánica extraída de las pieles tales como: grasa y pelo, junto con sustancias químicas usadas durante el procesamiento del cuero, tales como: cromo, sulfatos, cal, anilinas, entre otros. (Arias, 2013, p. 8)

A nivel mundial se conoce a esta industria como altamente contaminante produciendo degradación muchas veces de carácter irreversible independientemente del tamaño de la industria. Los residuos que se generan en las curtiembres causan efectos negativos en ambiente al ser descargados el agua, suelo y el aire. (Corredor, 2006, p. 24)

2.2.4.1 Impactos sobre la calidad del aire

La calidad de aire se ve afectado por la producción de malos olores, esto se debe a los bajos controles en los procesos de curtido, debido a la falta de limpieza de los recipientes de los canales de drenaje, pozos de sedimentación, residuos acumulados y materia orgánica en descomposición. (García & Gutiérrez, 2006, p. 35)

Otros factores que afecta a la calidad del aire son las emisiones de sulfuro que provienen del proceso de pelambre y de las aguas residuales, las emisiones de amoníaco y vapores de solventes provenientes del desencalado y de la etapa de acabado, así como las carnazas y grasas del descarte son fuente importante de producción de olores que pueden eliminarse mediante un buen control de las operaciones de producción de la curtiembre. (CEPIS, 1993, p. 18)

2.2.4.2 Impactos sobre la calidad del agua

La calidad del agua es afectada debido a las descargas líquidas del proceso, las cuales están dispuestas en un cuerpo de agua receptor, lo cual ocasiona efectos negativos en la vida acuática y en los posteriores usos pecuarios. (Gordillo & Toledo, 2010, p. 22)

El agua contaminada disminuye su valor debido a que no es apta para el consumo humano además no se puede usar para usos industriales y agrícolas. La vida acuática se ve afectada debido a la disminución de oxígeno disuelto lo que provoca que los peces mueran. Por otra parte, la contaminación de las aguas subterráneas es un problema aún más grave, porque su autodepuración es lenta debido a que el agua no posee una adecuada aireación. (CEPIS, 1993)

2.2.4.3 Impactos sobre la calidad del suelo

La descarga de los residuos de curtiembre en los terrenos agrícolas en ocasiones puede ser beneficioso debido a que el suelo tiene cierta capacidad de neutralizar la carga contaminante, pero si no sucede esto, puede causar daños en la estructura del suelo disminuyendo así la producción agrícola y acelerando la erosión. (CEPIS, 1993)

En la mayoría de los casos la calidad del suelo es afectado debido al manejo inadecuado de los residuos que se genera dentro de la curtiembre ya que dentro de su composición contienen alto porcentaje de materia orgánica contaminada con cal, sulfuros, aminos, cromo III y productos de la curtición. Además, se encuentran los lodos generados por la precipitación de las sales insolubles que se forman en las trampas de sólidos. (Gordillo & Toledo, 2010, p. 23)

2.2.5 Métodos de recuperación de cromo de los lodos de curtiduría

Los métodos más ampliamente utilizados en la recuperación de cromo de los lodos que se generan en las curtiembres son: calcinación o incineración, tratamiento termoquímico y lixiviación. En esta investigación se basa en un estudio comparativo en donde se evalúan dos de estos métodos: el método de lixiviación y el método es la calcinación.

2.2.5.1 Lixiviación

Según Treybal (1980), “la lixiviación es la disolución de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto de un disolvente líquido”. (p.792) Es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido. (González, 2010, p. 21)



Figura 3-2: Proceso de lixiviación

Fuente: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/lixiv_introd.pdf

Dicho en otros términos la lixiviación es un proceso de transferencia de masa sólido- líquido, que puede ser llevada a cabo en condiciones ambientales o a temperaturas elevadas y/o bajo presión. Las condiciones del proceso dependerán de las reacciones químicas que están teniendo lugar. El objetivo en todo el caso es obtener iones metálicos o complejos que puedan ser extraídos selectivamente desde la solución. (Ruiz, 2013, pp. 5-6)

2.2.5.1.1 Factores que influyen en la eficiencia de lixiviación

Para acelerar y optimizar la cinética de disolución en la lixiviación se puede aplicar algunos factores como son, el uso de diferentes reactivos, o variación de su concentración, introducción de agitación, temperatura y presión. El factor tiempo es un factor decisivo al momento de

selección de un método de lixiviación al igual que el tamaño del mineral a utilizar. (Hernández, 2013, p. 30)

Según Coulson y Richardson (1991), los factores que influyen en la velocidad de lixiviación son cuatro que se describen a continuación:

- La temperatura

En la mayoría de los casos, la solubilidad del material que se está extrayendo aumenta con la temperatura ocasionando una mayor velocidad de extracción.

- El disolvente

El líquido escogido debe ser un buen disolvente selectivo. La velocidad de lixiviación dependerá del grado de concentración del disolvente, es decir a mayor concentración mayor velocidad de extracción.

- Tamaño de partícula

El tamaño de partícula afecta a la velocidad de extracción de diversas maneras. mientras más pequeño es el tamaño, mayor es el área de contacto entre sólido y líquido, por lo tanto, más elevada es la velocidad.

- La agitación del fluido

La solubilidad del material que se está extrayendo aumenta con la temperatura ocasionando una mayor velocidad de extracción

2.2.5.1.2 Reactivos de lixiviación

Los reactivos químicos para poder ser empleados en el proceso de lixiviación deben reunir muchas características como: tener bajo costo, facilidad para recuperarlos, y ser bastantes selectivos para disolver solo determinados compuestos. Los ácidos y los agentes oxidantes se utilizan generalmente para efectuar la disolución de minerales metálicos de manera económica y rápida. (Tiscareño, 2016)

Tabla 3-2: Reactivos de lixiviación de usos común

ÁCIDOS	Ácido Sulfúrico Ácido Clorhídrico Ácido Nítrico
BASES	Cal Hidróxido de Sodio Hidróxido de Amonio
AGENTES COMPLEJANTES	Amoníaco Sales de Cianuro Sales de Cloruro Sales de Carbonato
AGENTES OXIDANTES	Oxígeno Sales Férricas Peróxido de Sodio Peróxido de Hidrogeno Permanganato Dióxido de Manganeso
AGENTES REDUCTORES	Gas CO, Gas SO ₂ Gas H ₂

Fuente: (Ruiz, 2013, p. 6)

El ácido sulfúrico es el disolvente que más se usa, por su agresividad, precio y disponibilidad, pero tiene poca selectividad. Los ácidos nítrico y clorhídrico son buenos disolventes, pero su aplicación es muy limitada debido al ataque que tiene en el equipo, su falta de selectividad y su elevado costo. En cambio, el amoníaco se utiliza en ciertas aplicaciones, pero debido a su alto costo, es necesario que se recupere, y reutilice nuevamente. (Cobba, 2011). En la **tabla 4-2** se detallan los reactivos más utilizados en los procesos de lixiviación.

2.2.5.1.3 Aplicaciones industriales de la lixiviación

Las industrias metalúrgicas son las que más utilizan las operaciones de lixiviación. Los minerales de cobre se disuelven por lixiviación con ácido sulfúrico o soluciones amoniacaes, en el caso del oro se separa de sus minerales con la ayuda de soluciones de cianuro de sodio. En forma similar la lixiviación juega un papel importante en el procesamiento metalúrgico de algunos metales como es el caso del aluminio, cobalto manganeso, níquel y zinc.

Muchos productos orgánicos se separan de sus estructuras mediante procesos de lixiviación. El azúcar se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente, los aceites vegetales se recuperan de semillas con disolventes orgánicos, de la misma manera muchos productos farmacéuticos se recuperan a partir de raíces y hojas de plantas. El té y el café se preparan domésticamente e industrialmente por operaciones de lixiviación. (Treybal, 1980, p. 792.793)

2.2.5.2 Calcínación

La calcínación es el proceso por el cual se calienta una sustancia a temperatura elevada (temperatura de descomposición), para provocar la descomposición térmica o un cambio de estado de su constitución física o química. (Frisbie, 2014)



Figura 4-2: Calcínación de una muestra

Fuente: <http://calcinaciondeunamuestrapractica.blogspot.com>

El objetivo principal de la calcínación es eliminar compuestos como el agua, dióxido de carbono y otros gases. Se caracteriza por presentar procesos endotérmicos que rompen enlaces y destruyen la estructura cristalina. Bajo este proceso se puede tratar algunos minerales como, por ejemplo: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, FeCO_3 , CaCO_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), Zn entre otros. (Castañeda, 2013, p. 12) a nivel de laboratorio las calcinaciones o incineraciones se puede realizar mediante un horno mufla.

2.2.5.2.1 Horno mufla

Es un horno de laboratorio que alcanza temperaturas muy altas desde unos 200°C a 1500°C , este equipo se utiliza para realizar pruebas de calcinamiento de muestras, incineración y tratamientos térmicos en general. (Casado, et al., 2012, p. 53)

Existen dos tipos de muflas, la de combustible y la eléctrica. Las muflas de combustible alcanzan temperaturas muy elevadas, debido a que su fuente de calor está separada totalmente de la cámara de cocción, así la muestra no puede ser contaminada con los gases de combustión. Las muflas eléctricas, poseen por lo general hornos pequeños con resistencias calefactoras ocultas, estas se utilizan en los laboratorios, talleres pequeños y consultorios dentales. (Falcon, 2016)



Figura 5-2: Horno mufla

Fuente: <https://www.tplaboratorioquimico.com>

2.2.6 Base legal

Para conocer acerca de las normativas técnicas y leyes que regulan las actividades productivas para la preservación del medio ambiente se ha considerado la siguiente base legal que se describe a continuación:

2.2.6.1 Normas Nacionales

Acuerdo Ministerial No 061

REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, TÍTULO I, Disposiciones preliminares.

Art. 3 Glosario: Los términos, más importantes en esta investigación se describen a continuación de acuerdo a la definición establecido por este Libro

Contaminante: Cualquier elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, que causa un efecto adverso al aire, agua, suelo, flora, fauna, seres humanos, a su interrelación o al ambiente en general.

Desechos: Son las sustancias (sólidas, semi-sólidas, líquidas, o gaseosas), resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo, cuya eliminación o disposición final procede conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental nacional e internacional aplicable.

Disposición final: Es la última de las fases de manejo de los desechos y/o residuos sólidos, en la cual son dispuestos en forma definitiva y sanitaria mediante procesos de aislamiento y confinación de manera definitiva los desechos y/o residuos sólidos no aprovechables o desechos peligrosos y especiales con tratamiento previo, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, daños o riesgos a la salud humana o al ambiente.

Reciclaje: Proceso mediante el cual, previa una separación y clasificación selectiva de los residuos sólidos, desechos peligrosos y especiales, se los aprovecha, transforma y se devuelve a los materiales su potencialidad de reincorporación como energía o materia prima para la fabricación de nuevos productos.

SECCIÓN II, GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS PELIGROSOS Y/O ESPECIALES.

Art. 79 Desechos peligrosos: A efectos del presente Libro se considerarán como desechos peligrosos, los siguientes:

a.) Los desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, extracción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan alguna sustancia que tenga características corrosivas, reactivas, tóxicas, inflamables, biológico infecciosas y/o radioactivas, que representen un riesgo para la salud humana y el ambiente.

b.) Aquellos que se encuentran determinados en los listados nacionales de desechos peligrosos.

Para determinar si un desecho debe o no ser considerado como peligroso, la caracterización del mismo deberá realizarse conforme las normas técnicas establecidas por la Autoridad Ambiental Nacional y/o la Autoridad Nacional de Normalización o en su defecto por normas técnicas aceptadas a nivel internacional, acogidas de forma expresa por la Autoridad Ambiental Nacional

Art. 83 Fases. - El sistema de gestión integral de los desechos peligrosos y/o especiales tiene las siguientes fases:

- a.) Generación
- b.) Almacenamiento
- c.) Recolección
- d.) Transporte
- e.) Aprovechamiento y/o valorización, y/o tratamiento, incluye reciclaje
- f.) Disposición final.

LEY DE PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL

CAPITULO II, De la prevención y control de la contaminación de las aguas

Art. 6: Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.

CAPITULO III, De la prevención y control de la contaminación de los suelos

Art. 10: Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo, afectar la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes.

Art. 11: Para los efectos de esta Ley, serán consideradas como fuentes potenciales de contaminación, las sustancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica.

2.2.6.2 Normas internacionales

Norma NOM-004-SEMARNAT-2002

NORMA OFICIAL MEXICANA, PROTECCION AMBIENTAL. - LODOS Y BIOSOLIDOS.
Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

- Objetivo y campo de aplicación

Objetivo: Esta Norma Mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes de los sistemas de alcantarillado urbano, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

Campo de aplicación: Es de observancia obligatoria para todas las personas físicas y morales que generen lodos y biosólidos provenientes de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

- Definiciones

Aguas residuales: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios y domésticos.

Lodos: Son sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

- Límites máximos permisibles de metales pesados

Tabla 4-2: Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos

CONTAMINANTE	EXELENTE (mg/Kg)	BUENOS (mg/Kg)
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Fuente: (Norma NOM-004-SEMARNAT-2002)

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA

3.1 Hipótesis y especificación de las variables

3.1.1 *Hipótesis general*

- Mediante el estudio comparativo de los métodos para recuperar el cromo se podrá conocer el método más factible para extraer el contenido de cromo presente en los lodos procedentes de la planta de tratamiento de agua residual.

3.1.2 *Hipótesis específicas*

- Mediante un diagnóstico exhaustivo se podrá conocer la gestión actual que reciben los lodos que se generan en la planta de tratamiento de agua residual del proceso de curtido.
- Los lodos que se generan en la planta de tratamiento de aguas residuales tienen una alta concentración de cromo III
- Al realizar las pruebas de recuperación de cromo con los métodos de lixiviación y calcinación/disolución se conocerá el método más factible que pueda implementar la empresa
- La característica del sulfato de cromo III obtenido por los métodos de lixiviación y calcinación/disolución es similar a las características del sulfato de cromo III comercial.
- Se obtiene mejores resultados en la recuperación de cromo con el método de calcinación/disolución.

3.1.3 Especificación de las variables

3.1.3.1 Variables de la hipótesis específica 1

- Variable Independiente: Diagnostico exhaustivo
- Variable Dependiente: Gestión actual que reciben los lodos

3.1.3.2 Variables de la hipótesis específica 2

- Variable Independiente: Lodos de la PTAR
- Variable Dependiente: Concentración de cromo

3.1.3.3 Variables de la hipótesis específica 3

- Variable Independiente: Recuperación de cromo
- Variable Dependiente: Factibilidad del método

3.1.3.4 Variables de la hipótesis específica 4

- Variable Independiente: Características del sulfato de cromo III obtenido
- Variable Dependiente: Pureza del sulfato de cromo III obtenido

3.1.3.5 Variables de la hipótesis específica 5

- Variable Independiente: Métodos de recuperación de cromo
- Variable Dependiente: Resultado en la recuperación de cromo

3.1.4 Matriz de consistencia

Tabla 1-3: Matriz de consistencia

TEMA: ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PARA LA RECUPERACIÓN DE CROMO PROVENIENTE DE LOS LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA CURTIDURÍA SERRANO			
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	
¿Cómo se puede saber la forma más eficiente para recuperar el cromo presente en los lodos de la planta de tratamiento de agua residual?	Realizar estudios comparativos de los métodos para recuperar el cromo que proviene de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Curtiduría Serrano.	Mediante el estudio comparativo de los métodos para recuperar el cromo se podrá conocer el método más factible para extraer el contenido de cromo presente en los lodos procedentes de la planta de tratamiento de agua residual.	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES ESPECÍFICAS
1.- ¿Qué hace la empresa con los lodos que se generan en la planta de tratamiento de agua residual del proceso de curtido?	1.- Realizar el diagnóstico de la gestión actual que recibe los lodos que se generan en la planta de tratamiento de agua residual del proceso de curtido	1.- Mediante un diagnóstico exhaustivo se podrá conocer la gestión actual que reciben los lodos procedentes de la planta de tratamiento de agua residual del proceso de curtido.	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico exhaustivo • Gestión actual que reciben los lodos

Continuará: ...

Continúa: ...

<p>2.- ¿Cuál es la concentración cromo que poseen los lodos que se generan en la planta de tratamiento de aguas residuales?</p> <p>3.- Entre el método de lixiviación y calcinación/disolución ¿Cuál es el método más factible y sencillo para recupera el contenido de cromo de los lodos que se generan en la PTAR?</p> <p>4.- ¿Cuáles son las características del sulfato de cromo III recuperado?</p> <p>5.- Entre el método de lixiviación y calcinación/disolución ¿Con cuál de estos métodos se obtiene mejores resultados en la recuperación del cromo?</p>	<p>2.- Determinar la concentración de cromo presente en los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales.</p> <p>3.- Realizar las pruebas de recuperación de cromo a nivel de laboratorio, con los métodos de lixiviación y calcinación/disolución, utilizando como medio lixivante y disolvente el ácido sulfúrico.</p> <p>4.- Caracterizar el sulfato de cromo III obtenido mediante los dos métodos de estudio (lixiviación y calcinación/disolución)</p> <p>5.- Comparar los resultados obtenidos de los métodos de lixiviación y calcinación/disolución, en la recuperación de cromo contenido en los lodos.</p>	<p>2.- Los lodos que se generan en la planta de tratamiento de aguas residuales tienen una alta concentración de cromo III.</p> <p>3.- Al realizar las pruebas de recuperación de cromo con los métodos de lixiviación y calcinación/disolución se conocerá el método más factible que pueda implementar la empresa</p> <p>4.- Las características del sulfato de cromo III obtenido por los métodos de lixiviación y calcinación/disolución es similar a las características del sulfato de cromo III comercial</p> <p>5.- Se obtiene mejores resultados en la recuperación de cromo con el método de calcinación/disolución.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lodos de la PTAR • Concentración de cromo • Recuperación de cromo • Factibilidad del método • Características del sulfato de cromo III • Pureza del sulfato de cromo III • Método de recuperación de cromo • Resultado en la recuperación de cromo
---	--	--	---

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo, 2016

3.2 Tipo y diseño de la investigación

3.2.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo *exploratoria*, debido a que es un tema poco investigado. Además, es de tipo *descriptiva*, puesto que se trabaja con variables en condiciones controladas con el fin de poder describir y comparar los métodos, estableciendo las ventajas y desventajas que tiene cada uno de estos, identificando así el procedimiento más efectivo y adecuado para recuperar el cromo contenido en los lodos.

3.2.2 Diseño de la investigación

La investigación por su diseño es de tipo *cuasi experimental* debido a que se realiza pruebas a nivel de laboratorio con cada uno de los métodos de recuperación de cromo (lixiviación y calcinación) de esa manera mediante el análisis de los resultados obtenidos comprobar o rechazar las hipótesis propuestas.

3.3 Unidad de análisis

La unidad de análisis en esta investigación se centró en los *lodos con alta concentración de cromo* generados en la planta de tratamiento de aguas residuales del proceso curtido de la empresa Curtiduría Serrano, en donde para recuperar el cromo presente en el lodo se aplicó 2 tipos de métodos: lixiviación con H_2SO_4 y calcinación, en donde para la disolución del lodo calcinado se utilizó el H_2SO_4

3.4 Población de estudio

La población de estudio de esta investigación corresponde a la cantidad de lodos de cromo que produce la planta de tratamiento de aguas residuales del proceso de curtido, de acuerdo con la información proporcionada por la empresa, esta genera 100 Kg de lodo por cada parada, cuyo proceso se realiza 2 a 3 veces al mes, es decir se producen aproximadamente 300 Kg de lodos en dicho tiempo.

3.5 Tamaño de muestra

La muestra de lodo se tomó del precipitado procedente de tres lotes de agua tratada (1000 litros por paradas esto es 3000 litros), de la cual se utilizó 100g para el análisis fisicoquímico de los lodos y 1Kg para las pruebas de lixiviación y calcinación. La toma de muestra se realizó directamente desde el sistema de desaguado o deshidratador de lodos. Las muestras fueron tomadas en fundas de polietileno para evitar contaminar.

3.6 Selección de muestra

Para la selección de muestra de esta investigación se realizó un muestreo aleatorio simple a los lodos procedentes de la PTAR de la empresa Curtiduría Serrano, debido a que son lodos homogéneos por lo tanto cualquier cantidad de la muestra tomada es representativa.

3.7 Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos de la presente investigación se llevó a cabo en la empresa Curtiduría Serrano, ubicada en la ciudad de Ambato, inicialmente se acudió a las técnicas que nos permitieron tener una idea más profunda de la problemática como son: la revisión bibliográfica y análisis de documentos relacionado al problema a resolver.

Además, se efectuó un trabajo de campo acudiendo a técnicas como la entrevista y la observación directa de los hechos; la entrevista se lo realizó a los responsables de la empresa, encargados de realizar el proceso donde se genera los lodos y a conocedores del tema con la finalidad de obtener más información referente a problemática de esta investigación.

La observación directa de los hechos se llevó a cabo, durante a las visitas a las instalaciones de la empresa donde se conoció el proceso donde se genera los lodos que contiene cromo y por último se optó por llevar registro con los datos experimentales obtenidos de los análisis del laboratorio y pruebas pilotos, para posteriormente analizar los resultados obtenidos.

Para comprobación de la hipótesis propuesta se utilizó como herramienta estadística un diagrama de barras que se realizó utilizando los datos obtenidos en las diferentes pruebas.

3.8 Desarrollo experimental

Este trabajo de investigación se enfoca principalmente en encontrar cuál de los métodos reduce al máximo la peligrosidad de los lodos y cual nos genera un mayor provecho de los mismos, cabe recalcar que había muchas alternativas a seguir, cada una con sus pros y contras, por tal motivo se trató de elegir teniendo en cuenta las limitaciones económicas, técnicas y el tiempo.

3.8.1 Análisis del agua provenientes del proceso del curtido

El efluente líquido que resulta del proceso de curtido, se realizó un análisis químico donde se determinó la concentración de cromo trivalente y potencial de hidrogeno(pH) el primer parámetro se desarrolló en el Laboratorio del Departamento de Petróleos Energía y Contaminación (DPEC) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, el cual se determinó mediante el técnicas de espectrometría de absorción atómica, dando un valor del 341, 056 mg de cromo por litro de agua residual. (**Ver anexo A**)

La determinación del pH se realizó dentro de las instalaciones de la empresa “Curtiduría Serrano” con la ayuda de un PH-metro, en la cual se mostró un valor de pH igual a 4 es decir estas aguas tienen características acidas debido a los compuestos químicos que contiene.

Para determinar la concentración de cromo presente en el agua de curtido se tomó una muestra de un litro del tanque de almacenamiento, el cual contenía los efluentes líquidos procedentes de tres paradas de curtido (1000m³ de agua residual por cada parada). Esta muestra de agua se llevó al laboratorio DPEC de la Universidad Central del Ecuador, para su análisis respectivo.

3.8.2 Tratamiento actual que reciben el agua de curtido en la empresa

En las visitas a la empresa se evidencio el tratamiento que reciben las aguas residuales del proceso de curtido y cual la gestión que reciben los lodos que se generan en este tratamiento. A continuación, se menciona detalladamente el tratamiento que reciben las aguas residuales del proceso de curtido.

Una vez terminado el proceso de curtido, en los fulones o bombos del curtido son colocados una tubería hasta un tanque de capacidad de 3m³, en la cual se envía toda el agua residual de este proceso, y se almacena. Luego se agrega Ca(OH)₂ con el objetivo de estabilizar y precipitar el cromo III, luego se adiciona un floculante para formar flóculos y sedimentar los lodos formados.



Figura 1-3: Tanque de almacenamiento

Fuente: CAMACHO, Gonzalo

El precipitado formado se mantiene en reposo por cinco días, hasta que se sedimente por completo. De la fase líquida obtenida se mide el pH y se desecha por el alcantarillado, y los lodos resultantes son enviados a un sistema de desaguado (deshidratación) donde se disminuye hasta 85% la cantidad de agua, hay permanecen por un lapso de 7 días. Este último procedimiento se realiza con el fin de reducir la producción de lixiviados en la disposición final de los lodos.



Figura 2-3: Deshidratación de los lodos

Fuente: CAMACHO, Gonzalo

Los lodos deshidratados son colocados en sacos de 45 Kg para luego ser almacenados dentro de la empresa junto a otros residuos sólidos que se generan en el proceso productivo. En la empresa estos residuos permanecen, por unos 15 días hasta que el camión recolector de desechos los lleve al relleno sanitario autorizado de la provincia de Tungurahua.



Figura 3-3: Ensacado de lodos

Fuente: CAMACHO, Gonzalo

3.8.3 Precipitación de las aguas de curtido a nivel de laboratorio

Con el fin de calcular las cantidades exactas precipitante para precipitar el cromo III presente el agua residual del proceso de curtido, se ha realizado este procedimiento a nivel de laboratorio. El agente precipitante utilizado fue el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal) debido a que es muy económico y se encuentra fácilmente en el mercado. En la **tabla 2-3** se detallan los materiales, productos químicos y equipos utilizados en la precipitación de las aguas de curtido.

Tabla 2-3: Materiales, productos químicos y equipos utilizados en la precipitación de las aguas de curtido.

MATERIALES	PRODUCTOS QUÍMICOS	EQUIPOS
Envase de plástico de 1L	Cal P-24	Balanza
Embudo	Floculante	pH-metro
Tela filtrante		
Barrilla de agitación		
Matraz		
Trípode		

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

3.8.3.1 Procedimiento

Para realizar esta prueba se tomó una muestra de agua de 1Kg del tanque de almacenamiento, el cual contenía los efluentes líquidos procedentes de tres paradas de curtido (mismo lugar donde se tomó la muestra de agua para determinar la concentración de cromo III). Se midió el pH el cual mostró un valor de 4.

Se añadió pequeñas cantidades de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hasta alcanzar un pH de 9.4. (El rango de pH para formar el hidróxido de cromo es de 8 a 10 según bibliografía) En la **tabla 3-3** indica la cantidad de cal añadida para elevar el pH de un Kg agua residual del proceso de curtido.

Tabla 3-3: Cantidad de cal necesaria para precipitar 1Kg de agua de curtido

CANTIDAD DE CAL (g)	VALOR DE PH
0	4
5	5.2
10	6.6
12	8.4
14	8.9
15	9.4

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

Una vez alcanzado el pH deseado (9.4) se añadió 10g de floculante de nombre comercial Floc 6 disuelto en agua caliente debido a que este compuesto es sólido. Se dejó decantar por 10 horas en la cual se observó la formación de dos fases; una líquida que corresponde al agua tratada y una fase semi-sólida que corresponde a los lodos de cromo (hidróxido de cromo III).



Figura 4-3: Precipitación de las aguas de curtido

Fuente: CAMACHO, Gonzalo

Para separar el agua de los lodos, se filtró mediante una tela filtrante, del cual al agua se midió el pH y a los lodos se los almacenó para su posterior análisis fisicoquímico.



Figura 5-3: Filtrado de los lodos de cromo

Fuente: CAMACHO, Gonzalo

3.8.3.2 Diagrama de flujo del proceso de precipitación de las aguas de curtido

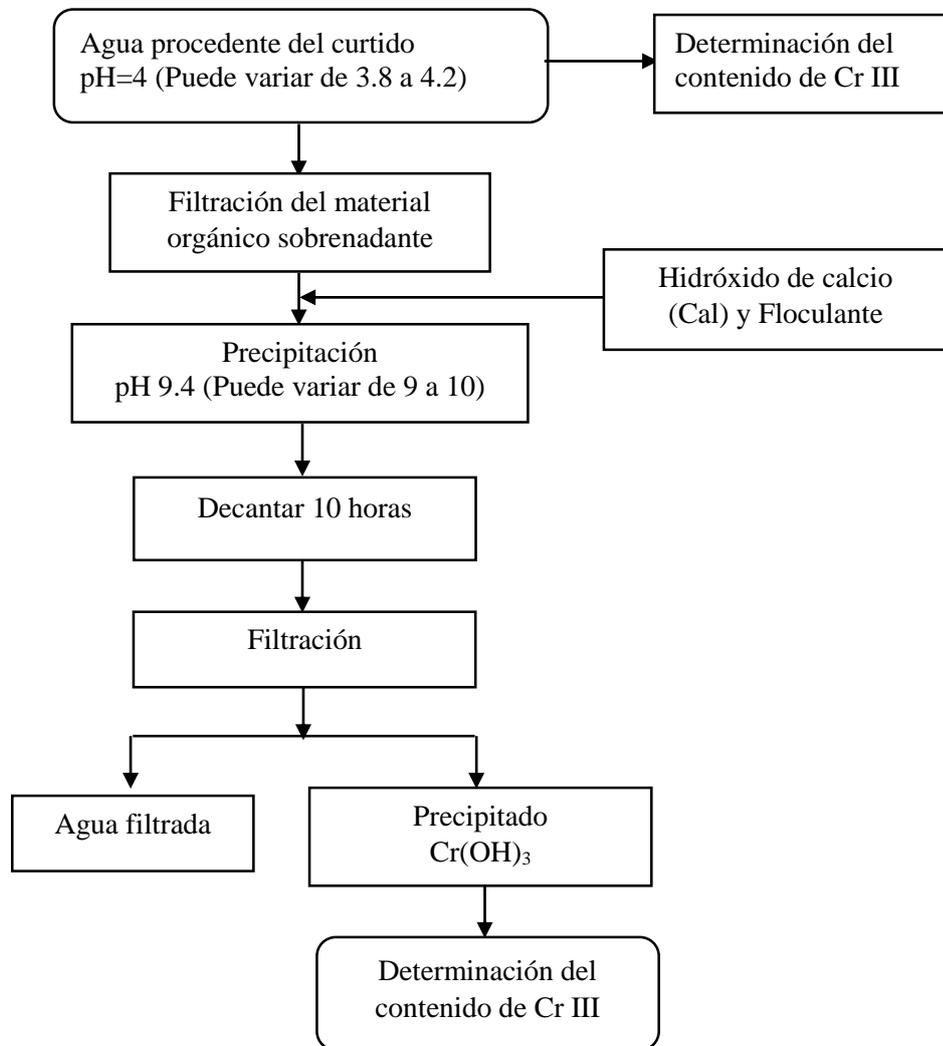


Gráfico 1-3: Diagrama de flujo del proceso de precipitación de las aguas de curtido

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

3.8.4 Análisis fisicoquímico de los lodos

Para realizar el análisis fisicoquímico de los lodos se tomó una muestra un 100g procedente del precipitado de tres lotes de agua tratada (tres paradas de curtido) luego se trasladó al Laboratorio DPEC de la Universidad Central del Ecuador, para su respectivo análisis donde se determinó la concentración de cromo trivalente mediante, el método PNE/DEPEC/A/SM 3111B dando un valor de 15050,647 mg/Kg (**Ver anexo B**)

3.8.4.1 Comparación de la concentración de cromo con una normativa técnica

En Ecuador no existe una norma técnica donde especifique la concentración máxima permitida de cromo que deben contener los lodos que se generan en las PTAR, por lo que se ha tomado como referencia una norma mexicana debido a que dicho país posee un clima similar.

La norma tomada como referencia es la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. -Lodos y biosólidos. – Especificaciones y límites máximos permisibles para su aprovechamiento y disposición final.

De acuerdo con esta normativa técnica el límite máximo permitido de Cr que deben poseer los lodos es de 3000 mg/Kg (**Ver tabla 4-2**) es decir que el lodo que se genera en la PTAR del proceso de curtido de la empresa Curtiduría Serrano sobrepasa estos límites debido a que poseen una concentración de 15050,647 mg/Kg.

3.8.5 Pruebas de laboratorio

Con el propósito de determinar la eficiencia de recuperación de cromo que tienen cada uno de los métodos de estudio se desarrollaron varias pruebas a nivel de laboratorio, en las que consta la lixiviación con ácido sulfúrico y la calcinación/disolución.

3.8.5.1 Prueba de lixiviación

Esta prueba se realizó dentro de las instalaciones de la empresa Curtiduría Serrano, la misma se efectuó utilizando como agentes lixiviante el H₂SO₄. A continuación, se detalla los materiales, productos químicos, equipos y procedimiento seguido en estas pruebas.

Tabla 4-3: Materiales, productos químicos y equipos utilizados en la prueba de lixiviación

MATERIALES	PRODUCTOS QUÍMICOS	EQUIPOS
Vasos de precipitación	Lodos de cromo	Balanza
Varilla de agitación	Ácido sulfúrico	PH-metro
Pipeta		
Papel filtro		
Matraz		
Embudo		

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

3.8.5.1.1 Procedimiento

Se pesó 300g de lodo procedente del precipitado de tres lotes de agua tratada (tres paradas de curtido) y se agregó lentamente H_2SO_4 , hasta que alcanzar un pH de 2.5 (el rango óptimo de pH es de 2.5 a 3). La mezcla se dejó en reposo durante 24 horas y se midió el pH, el cual mostró incremento, por lo que se adiciono nuevamente pequeñas cantidades de H_2SO_4 hasta alcanzar el pH de 2.5. Este procedimiento se repetido por 5 días en la cual el pH de la mezcla (ácido-lodo) permanecía estable. En la **tabla 5-3** indica las cantidades de H_2SO_4 añadido para estabilizar el pH de la mezcla (ácido-lodo) al pasar de los días.

El procedimiento de acidulación de los lodos se realizó en agitación constante para que el ácido entre en contacto con todo el lodo. La reacción efectuada fue de tipo exotérmica debido la generación de calor y efervescencia.

Tabla 5-3: Cantidad de H_2SO_4 empleado en la prueba de lixiviación

ÁCIDO SULFÚRICO AL 98% (g)	TIEMPO (Días)
25.5	1
2	2
1.5	3
0.5	4
0.5	5
Total: 30gramos	Total: 5 días

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

Una vez estabilizado el pH de la mezcla (ácido-lodo) se dejó en reposo durante 10 horas, lo que permitió que se forme dos fases: una sólida de color blanco que corresponde al $CaSO_4$ el cual es

insoluble con el ácido sulfúrico y una fase líquida de color verde oscuro que corresponde al $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$. (Ver anexo C)

Para separar la fase líquida ($\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$) de la sólida (CaSO_4) se filtró mediante un papel filtro de 11 μm . El líquido obtenido fue recolectado y etiquetado en un envase de plástico, y se llevó al Laboratorio DPEC de la Universidad Central del Ecuador para determinar la concentración de cromo III, y el residuo sólido generado fue secado y desechado. (Ver anexo D)

Los procedimientos de decantación y filtración no son necesario realizarlos debido a que el CaSO_4 presente en la mezcla ácido-lodo es insoluble, por lo que no afecta en la calidad de cuero al momento de reutilizarlo el $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ recuperado.

3.8.5.1.2 Diagrama de flujo del proceso de recuperación de cromo de los lodos por lixiviación

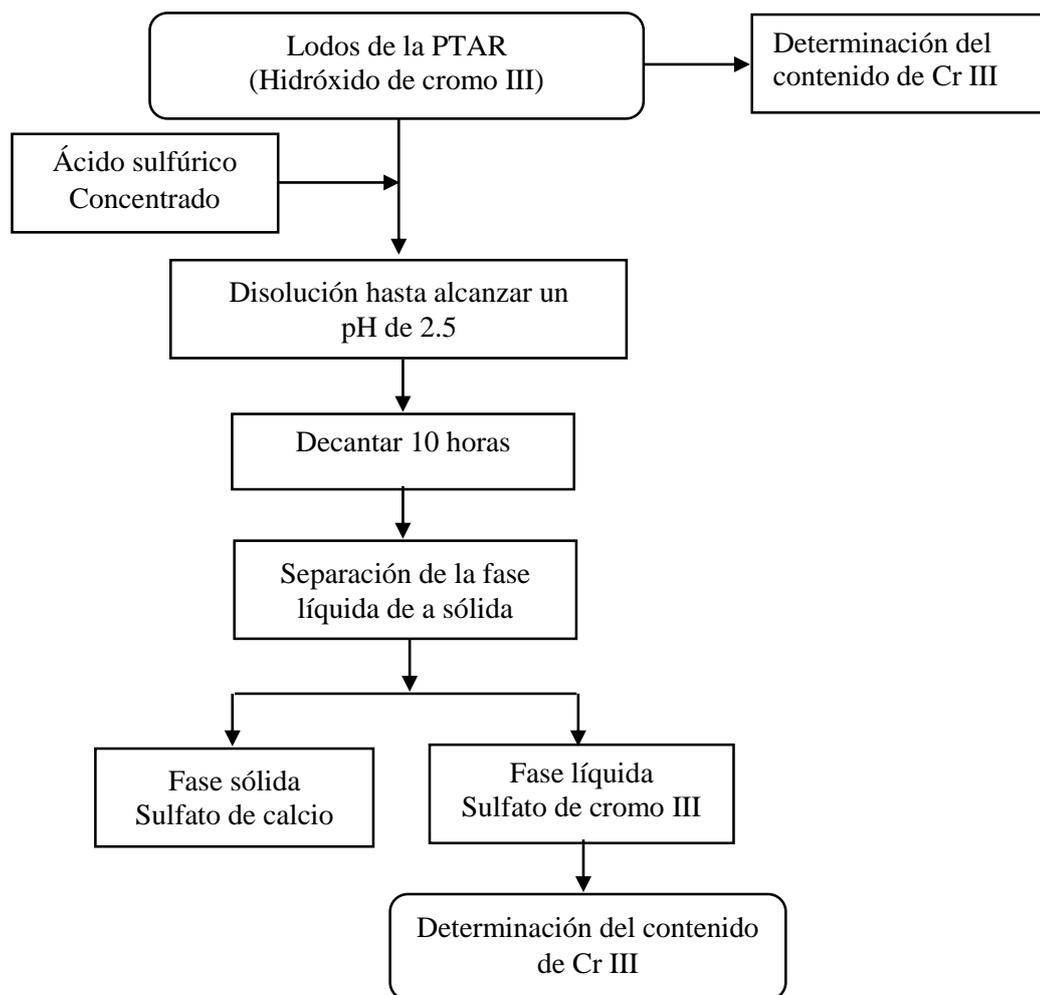


Gráfico 2-3: Diagrama de flujo del proceso de recuperación de cromo de los lodos por el método de lixiviación

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

3.8.5.2 Prueba de calcinación/disolución

Esta prueba se realizó en el laboratorio de química de alimentos la facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. A continuación, se detalla los materiales, productos químicos, equipos y procedimiento seguido en esta prueba.

Tabla 6-3: Materiales, productos químicos y equipos utilizados en la prueba de calcinación/disolución

MATERIALES	PRODUCTOS QUÍMICOS	EQUIPOS
Vasos de precipitación Pipeta Varilla de agitación Papel filtro Matraz	Lodos de cromo Ácido sulfúrico	Balanza Horno mufla PH-metro

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

3.8.5.2.1 Procedimiento

Se pesó 300g de muestra de lodo procedente del precipitado de tres lotes de agua tratada (tres paradas de curtido). Se colocó en un crisol de porcelana y se llevó al horno mufla a 250° C, por un lapso de 2 horas en condiciones controladas. Una vez calcinado el lodo se tomó el peso para evidenciar la cantidad de agua evaporada. En el proceso de calcinación del lodo se observó un cambio de coloración en la muestra debido a la presencia del óxido de cromo (III) (**Ver anexo E**).

Tabla 7-3: Pesos del lodo húmedo y calcinado

PESO DEL LODO HÚMEDO (g)	PESO DEL LODO CALCINADO (g)
300	90

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

El lodo calcinado se colocó en un vaso de precipitación y se adicionó lentamente H₂SO₄ al 10 % de concentración, para ajustar el pH a 2.5 en la cual se pudo evidenciar la generación de calor y un intenso burbujeo. La mezcla se dejó en reposo durante 24 horas y se midió el pH, el cual mostró incremento, por lo que se adicionó nuevamente pequeñas cantidades de H₂SO₄ al 10 % de concentración hasta alcanzar el pH de 2.5. Este procedimiento se repitió por 7 días en la cual el pH de la mezcla (ácido-lodo calcinado) permanecía estable. En la **tabla 8-3** muestra las cantidades de H₂SO₄ añadido para estabilizar el pH de la mezcla (ácido-lodo calcinado) al pasar de los días.

El procedimiento de acidulación de los lodos se realizó en agitación constante para que el ácido entre en contacto con todo el lodo. La reacción efectuada fue de tipo exotérmica debido la generación de calor y efervescencia. Se utilizó ácido sulfúrico diluido para facilitar la medición del pH.

Tabla 8-3: Cantidad de H₂SO₄ empleado en el proceso disolución del lodo calcinado.

ÁCIDO SULFÚRICO AL 10% (g)	TIEMPO (Días)
75	1
8.5	2
3	3
1.5	4
1	5
0.5	6
0.5	7
Total: 90gramos	Total: 7 días

Fuente: CAMACHO, Gonzalo

Una vez estabilizado el pH de la mezcla (ácido-lodo/calcinado) se dejó en reposo durante 10 horas, lo que permitió que se forme dos fases, una sólida de color café que corresponde impurezas insolubles en el ácido y una fase líquida de color verde que corresponde Cr(OH)SO₄ recuperado. **(Ver anexo E)**

Para separar la fase líquida (Cr(OH)SO₄) de la sólida (impurezas) se filtró mediante un papel filtro de 11 um. El líquido obtenido fue recolectado y etiquetado en un envase de plástico, y se llevó al Laboratorio DPEC de la Universidad Central del Ecuador para determinar la concentración de cromo III. **(Ver anexo F)**

Los procedimientos de decantación y filtración no son necesario realizarlos debido a que el CaSO₄ presente en la mezcla ácido-lodo calcinado es insoluble, por lo que no afecta en la calidad de cuero al momento de reutilizarlo el Cr(OH)SO₄ recuperado.

- Preparación de la solución de H₂SO₄ al 10%

Debido a que con el H₂SO₄ que se contaba tenía una concentración del 98% fue necesario diluirle aún más hasta llegar a una concentración del 10%. Para ello se siguió el siguiente procedimiento.

1. En un balón aforado de 100mL, añadir una pequeña cantidad de agua destilada, aproximadamente $\frac{1}{2}$ de la capacidad del balón.
2. Con la ayuda de una pipeta se adicionar 10.20 mL de H_2SO_4 y agitar cuidadosamente el balón.
3. Añadir agua hasta llegar a la línea de aforo del balón y se remueve unas 2 0 3 veces más

El volumen del H_2SO_4 utilizado para realizar la solución al 10% fue calculado con siguiente formula.

$$C1 \times V1 = C2 \times V2 \text{ Ecuación 1}$$

Dónde:

C1: Corresponde a concentración inicial del ácido (98%)

V1: Corresponde al volumen del ácido a diluir

C2: Corresponde a la concentración final de la disolución

V2: Corresponde al volumen final de la disolución

$$98\% \times V1 = 10\% \times 100\text{mL}$$

$$V1 = \frac{10 \times 100}{98}$$

$$V1 = 10.20 \text{ mL}$$

3.8.5.2.2 Diagrama de flujo del proceso de recuperación de cromo de los lodos por calcinación/disolución

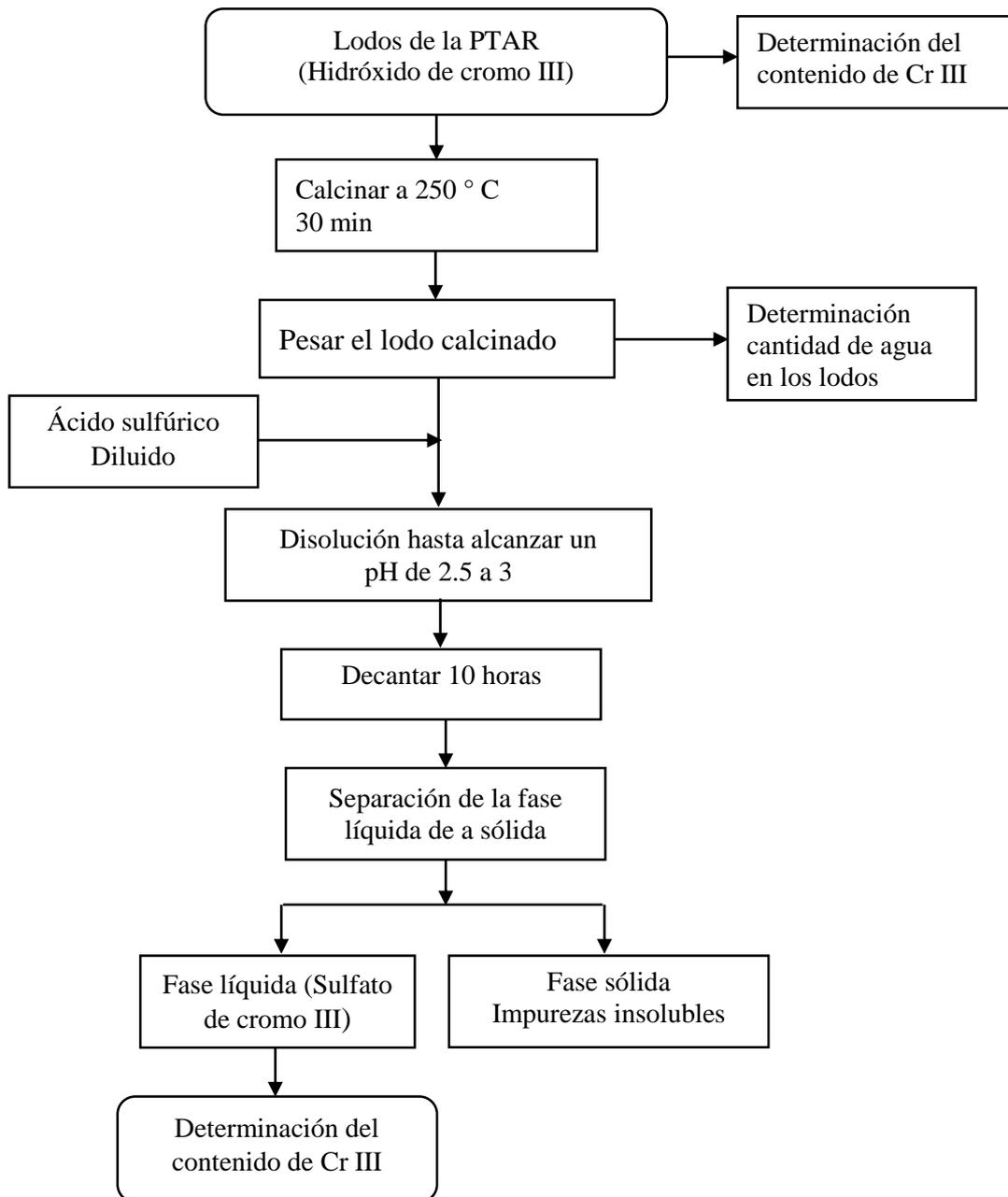


Gráfico 3-3: Diagrama de flujo del proceso de recuperación de cromo de los lodos por el método de calcinación/disolución

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Resultados del análisis del agua proveniente del curtido

Los parámetros evaluados en el análisis fisicoquímico del lodo fueron: pH y concentración de cromo. Se determinó solo estos parámetros debido a que eran los que se requería conocer para realizar las pruebas de lixiviación y calcinación.

Tabla 1-4: Análisis del agua proveniente del curtido

PARAMETROS	UNIDAD	METODO	RESULTADO
Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	Medición en PTAR	4
Cromo III	mg/L	PNE/DEPEC/A/SM3111B	341,056

Fuente: DPEC

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

Si hallamos la cantidad de sal comercial ($\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$) contenida en un metro cubico de agua residual del proceso de curtido, con la concentración de cromo determinada mediante el análisis de laboratorio dada en la tabla 13-4 tenemos:

341,056 mg Cr/L de agua residual, esto es 341,056 g Cr/m³

Para este cálculo necesitaremos de los siguientes datos:

PA del cromo = 52g/mol

PM del Cr_2O_3 = 152 g/mol

PM del $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ = 165g/mol

Contenido de en la sal comercial= 25 % (puede variar entre 24-26%).

Cantidad de sal comercial $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ = $(341,06 \text{ g Cr/m}^3) \times (1 \text{ m}^3) \times [(165\text{g/mol Cr}_2\text{O}_3) / (52 \text{ g/mol Cr})] \times (100\% / 26\%) = 4162,30 \text{ g Cr}(\text{OH})\text{SO}_4/\text{m}^3 = 4,162\text{Kg Cr}(\text{OH})\text{SO}_4/\text{m}^3$

Los baños agotados de cromo tienen una concentración de $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ de 4,162Kg por cada metro cubico de agua residual, es decir, en los 3 m³ de que se trata mensualmente va contener 12,48 Kg de sal comercial.

4.2.2 Resultados de la precipitación de las aguas de curtido

Este ensayo realizado con el fin de determinar la cantidad necesaria de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal) que se requiere para precipitar el contenido de cromo en las aguas residuales del proceso de curtido. En el cual se obtuvo como resultado que para elevar el pH de 4 a 9.4 de 1Kg de agua se requiere 15g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sabiendo que el pH óptimo para precipitar el cromo es de 9 a 10. **Ver gráfico 1-4**

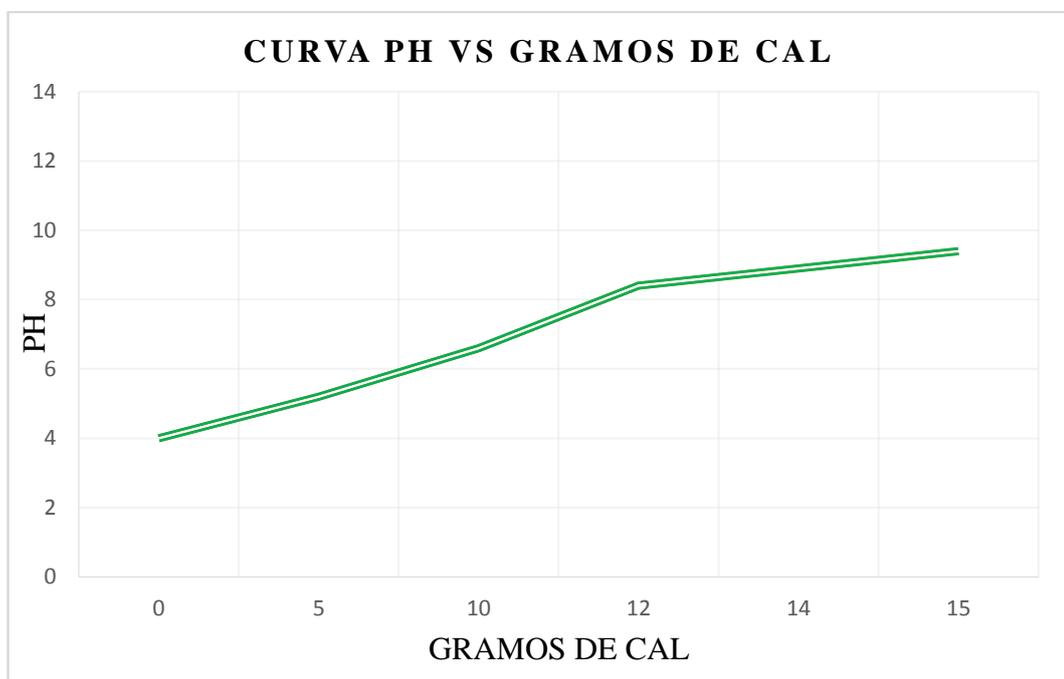
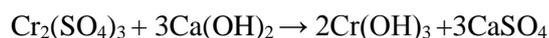


Gráfico 1-4: Curva pH vs gramos de cal

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

En el proceso de precipitación de las aguas de curtido ocurre la siguiente reacción:



Es decir, el sulfato de cromo III presente en el agua residual al adicionar el hidróxido de calcio hasta alcanzar un pH de superior a 8 dan lugar a la formación hidróxido de cromo III, que el componente principal de los lodos que se genera en la PTAR del cual se parte esta investigación.

4.2.3 Resultados del análisis del lodo generado en la PTAR

Los parámetros evaluados en el análisis del lodo fueron pH y concentración de cromo. Se determinó solo estos parámetros debido a que eran los que se requería conocer para realizar las pruebas de lixiviación y calcinación. Los resultados del análisis se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-4: Análisis de los lodos generados en la PTAR

PARAMETROS	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO
Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	Medición en la PTAR mediante PH-metro	9.4
Cromo III	mg/Kg	PNE/DEPEC/A/SM 3111B	15050,647

Fuente: DPEC

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

La alta concentración de cromo presente en los lodos se puede evidenciar en el siguiente gráfico:

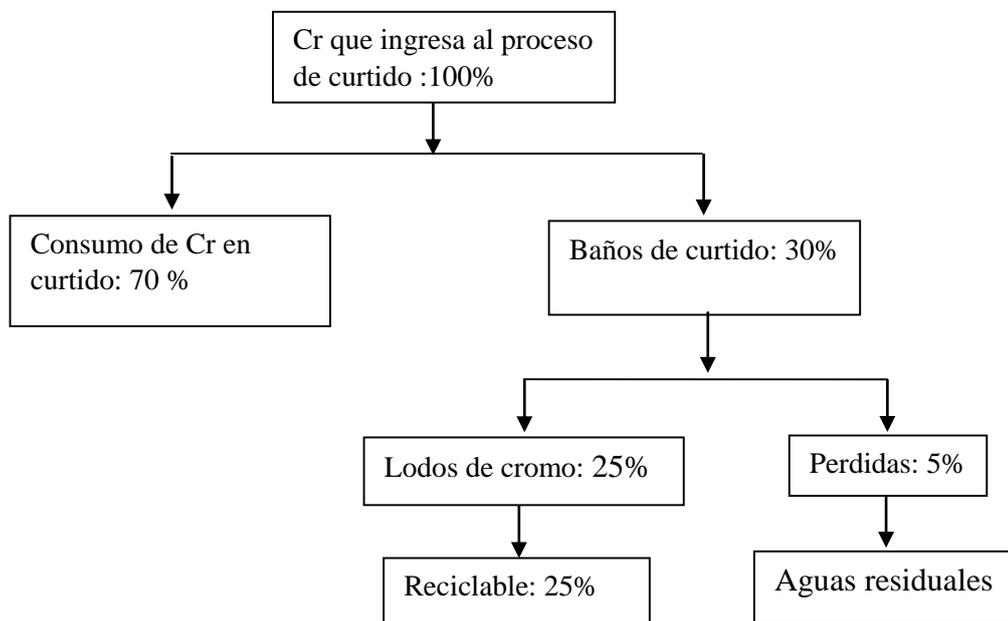


Gráfico 2-4: Cantidad de cromo reciclable en los lodos

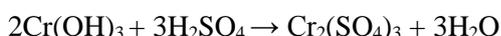
Fuente: Curtiduría Serrano

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

En el **grafico 2-4** se puede evidenciar que del 100% del cromo que ingresa al proceso de curtido un 70% es adsorbido por las pieles, y el 30% se queda en los baños, en el cual el 25% del cromo se queda contenido en los lodos y el 5 % son desechados mediante las aguas residuales.

4.2.4 Resultados obtenidos de la lixiviación con ácido sulfúrico

El hidroxido de cromo III que se encuentra contenido en los lodos que se generan en la PTAR al adicionar ácido sulfúrico reaccionan dando lugar a la formación del sulfato de cromo III, que es el compuesto principal que se utiliza en la curtición de las pieles. El proceso de acidulación de los lodos se da de acuerdo a la siguiente reacción:



En el ensayo realizado a nivel de laboratorio para acidular 300g de lodo húmedo se necesitó de 30g de ácido sulfúrico, con esta cantidad de ácido se logró tener un valor de pH de 2.5, el cual está dentro del rango permitido para volver a reutilizarlo en el proceso de curtición.

Tabla 3-4: Resultados de la prueba de lixiviación con ácido sulfúrico

PARAMETROS	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO
Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	Medición mediante PH-metro	2.5
Cromo III	mg/L	PNE/DEPEC/A/SM 3111B	7315,776

Fuente: DPEC

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

El sulfato de cromo III obtenido es un líquido decolor verde oscuro, característico de este compuesto, y el residuo generado es un sólido de color blanco que se trata del sulfato de calcio, este compuesto es insoluble en el ácido sulfúrico por lo que no interviene en la reacción además no afecta ni disminuye la calidad de cuero en el proceso de curtición.

4.2.5 Resultados obtenidos de la calcinación y disolución con ácido sulfúrico

Mediante la prueba de laboratorio del método de calcinación/disolución el lodo de la PTAR al ser calcinado tuvo una disminución de su peso el cual se muestra a continuación.

- Calculo del peso perdido del lodo calcinado

$$\mathbf{Pp = Pi - Pf \quad Ecuación 2}$$

Dónde:

Pp: Peso perdido por el lodo

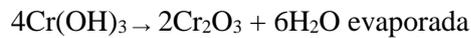
Pi: peso inicial del lodo

Pf: Peso final del lodo

$$\mathbf{Pp = 300g - 90g}$$

$$\mathbf{Pp = 210g}$$

De los 300g de lodo húmedo ingresados en el horno mufla se obtuvo 90 gramos de lodo calcinado, es decir tuvo una disminución de 210g de peso debido a que en la calcinación se eliminó toda la cantidad de agua y gases presente en el lodo, por lo que el hidróxido de cromo III presente en el lodo se transformó en óxido de cromo III, el cual se muestra en la siguiente reacción.



En función del porcentaje el peso perdido del lodo por la eliminación del agua y otros componentes se expresa de la siguiente manera.

- Calculo del porcentaje del peso perdido por el lodo calcinado

$$\mathbf{\%Pp = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100 \quad Ecuación 3}$$

Dónde:

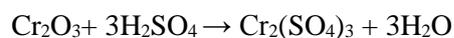
%Pp: Porcentaje del peso perdido por el lodo

$$\%Pp = \frac{300 - 90}{300} \times 100$$

$$\%Pp = 70$$

En términos de porcentaje el peso perdido por el lodo calcinado fue del 70%.

En el proceso de disolución del lodo, para acidularle los 90g de lodo calcinado y llegar a un pH de 2.5 se utilizó 90g ácido sulfúrico diluido al 10% esta cantidad de ácido fue añadido en el laso de 7 días, la reacción de este proceso se describe a continuación:



El óxido de cromo III que se encuentra presente en el lodo calcinado al adicionar ácido sulfúrico reaccionan dando lugar a la formación del sulfato de cromo III. En la tabla 16-4 muestra los resultados obtenidos al haber analizado el extracto obtenido en esta prueba.

Tabla 4-4: Resultados de la prueba de calcinación y disolución con ácido sulfúrico

PARAMETROS	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO
Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	Medición mediante PH-metro	2.5
Cromo III	mg/L	PNE/DEPEC/A/SM 3111B	9693,396

Fuente: DPEC

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

4.2.6 Comparación de los resultados obtenidos por los métodos de estudio

A continuación, se muestran la cantidad de cromo removida por cada uno de los métodos de estudio

Tabla 5-4: Concentración de cromo obtenido con cada método de estudio

MÉTODO DE ESTUDIO	CONCENTRACIÓN (mg/L)
Lixiviación con H ₂ SO ₄	7315,776
Calcinación /disolución con H ₂ SO ₄	9693,396

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

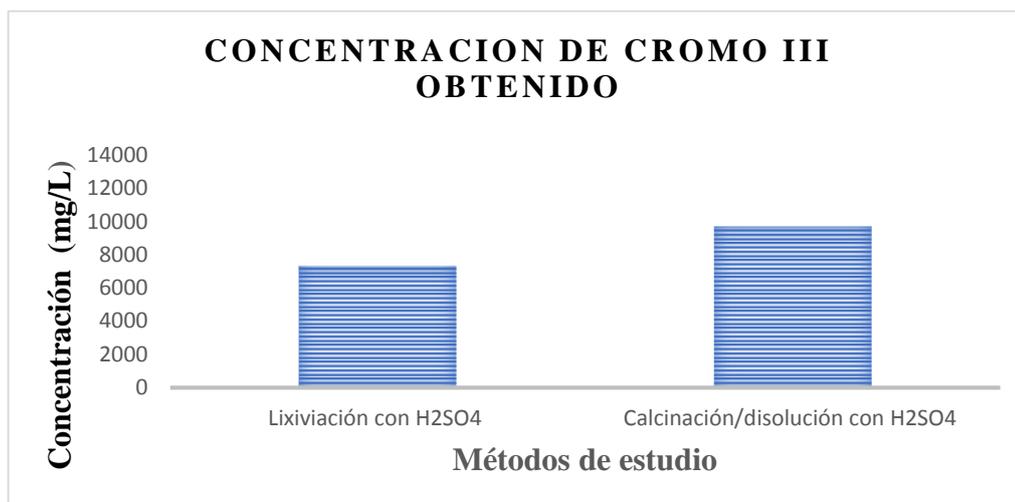


Gráfico 3-4: Comparativo de la concentración de cromo obtenida con cada método

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

Mediante los métodos de lixiviación y calcinación/disolución se obtuvo el sulfato de cromo III, en el cual el mejor resultado se logró con el método de calcinación/disolución debido a que se eliminó toda la cantidad de agua y una parte de la materia orgánica presente en el lodo por lo que el ácido reacciona directamente con el cromo presente en el lodo.

4.2.7 Caracterización del sulfato de cromo III obtenido por dos métodos

Las características físicas y químicas del sulfato de cromo III obtenido por los dos métodos de estudio (lixiviación y calcinación/disolución) se muestran a continuación.

4.2.7.1 Sulfato de cromo III obtenido por el método de lixiviación

El sulfato de cromo III obtenido por el método de lixiviación tiene las siguientes características.

Tabla 6-4: Características físicas del sulfato de cromo III obtenido por lixiviación

COLOR	Verde azulado
ESTADO DE MATERIA	Líquido
OLOR	Acido

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

Las características físicas del sulfato de cromo III obtenido por este método de lixiviación podemos apreciar a continuación en la **Figura 1-4**.



Figura 1-4: Sulfato de cromo III obtenido por lixiviación

Fuente: CAMACHO, Gonzalo

Tabla 7-4: Características químicas del sulfato de cromo III obtenido por lixiviación

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO
Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	2.5
Cromo	mg/L	7315,776

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

4.2.7.2 Sulfato de cromo III obtenido por el método de calcinación/disolución

El sulfato de cromo III obtenido por el método de calcinación/disolución tiene las siguientes características.

Tabla 8-4: Características físicas del sulfato de cromo obtenido por calcinación/ disolución

COLOR	Verde
ESTADO DE MATERIA	Líquido
OLOR	Acido

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

Las características físicas del sulfato de cromo III obtenido por este método de calcinación/ disolución se puede apreciar a continuación en la **Figura 2-4**.



Figura 6-4: Sulfato de cromo III obtenido por calcinación/disolución

Fuente: CAMACHO, Gonzalo

Tabla 5-4: Características químicas del sulfato de cromo III obtenido por calcinación/disolución

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO
Potencial de hidrogeno	Unidades de Ph	2.5
Cromo	mg/L	9693,396

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

4.2 Prueba de Hipótesis

4.2.1 Hipótesis 1

Durante la visitas técnicas a la empresa se realizó un diagnostico exhaustivo de gestión actual que reciben los lodos que se generan en la PTAR del proceso de curtido, donde se observó lo siguiente: en primer lugar el lodo generado es secado mediante un sistema de desaguado durante 48 horas aproximadamente, donde se extrae hasta un 85% del agua lo cual ayuda a la disminución de lixiviados en la disposición final, luego se lo coloca en costales de 45kg y se lo almacena junto a otros desechos dentro de la empresa para posteriormente llevarlos al relleno sanitario correspondiente de la provincia de Tungurahua.

4.2.2 Hipótesis 2

Para verificar esta hipótesis se tomó una muestra de 100g de lodo y fue llevado a un laboratorio certificado (DPEC) de la Universidad Central del Ecuador en la cual fue determinado la concentración de cromo III mediante el método PNE/DEPEC/A/SM3111B obteniendo como resultado, que en un kilogramo de lodo se encuentran contenidos 15050,647 mg de cromo.



Gráfico 4-4: Concentración de cromo en el lodo

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

En el **gráfico 3-4**. Toda la circunferencia corresponde a 1Kg de lodo en el cual está contenido 15050.647 mg de cromo.

4.2.3 Hipótesis 3

Una vez realizado las pruebas de laboratorios de recuperación de cromo con los métodos de lixiviación y calcinación/disolución se observó que el método más factible para recuperar el cromo contenido en los lodos; es el método de lixiviación debido a que su metodología empleada no es complicado y cualquier operador que trabaja en la empresa podría hacerlo, además no se necesita de equipos o maquinaria que no esté a disposición en la empresa, por ende, no necesita realizar una inversión demasiado elevada. En la **tabla 4-5** indica la cantidad exacta de inversión para recuperar el cromo por el método de lixiviación.

4.2.4 Hipótesis 4

Para comprobar esta hipótesis tomamos como referencia las características fisicoquímicas del sulfato básico de cromo III comercial, las mismas que se describen a continuación.

Tabla 10-4: Características fisicoquímicas del sulfato básico de cromo III comercial

COLOR	Verde oscuro
OLOR	Escasamente a acido
ESTADO DE MATERIA	Solido granular
PH	3.0-3.2
PUREZA (COMO % DE CR₂O₃)	24-26%

Fuente: Induquim Gonveg Cía. Ltda

Comparando la tabla 10-4 (características físico-químicas del sulfato básico de cromo III comercial) con las tablas 6-4;7-4; 8-4 y 9-4 (características físicas y químicas del sulfato de cromo III obtenido por los métodos de lixiviación y calcinación/disolución) se concluye que las características del sulfato de cromo III obtenido por los métodos de lixiviación y calcinación/disolución solo difieren en su estado de materia y pureza debido a que el del sulfato básico de cromo III comercial se encuentra en estado sólido con una pureza del 24 a 26% como Cr_2O_3 .

4.2.5 Hipótesis 5

Los resultados obtenidos por los métodos de lixiviación y calcinación/disolución se muestran en la tabla 5-4 (Comparativo de la concentración de cromo obtenida con cada método) en la cual se observa que se obtuvieron mejores resultados de recuperación de cromo con el método de calcinación/disolución. Es decir, este método en cuanto a la eficiencia de recuperación de cromo es mejor

4.3 Discusión de resultados

El objetivo principal de esta investigación fue comparar los métodos de lixiviación utilizando como agente lixivante el ácido sulfúrico y el método de calcinación utilizando como disolventes el ácido sulfúrico.

Los resultados obtenidos del análisis físico-químico realizado a los efluentes líquidos del proceso de curtido mostraron que la cantidad de cromo que se encuentra el agua residual es 341,056 mg por litro, esta concentración es muy elevada debido a que los bombos donde se realiza el proceso de curtido trabajan prácticamente en seco, por lo que la cantidad de agua que se utiliza es muy poca, es por tal motivo que los baños de curtido salen con una concentración de cromo muy elevada.

En la precipitación del cromo se necesitaron de 15g de hidróxido de calcio para elevar el pH de 4 a 9.4 de 1Kg de agua residual del proceso de curtido, esta es una cantidad considerable, por ende, este precipitante genera una cantidad de lodos.

Los resultados obtenidos del análisis físico-químico realizado a los lodos que se genera en la PTAR del proceso de curtido mostraron que la concentración de cromo es de 15050.647 mg por kilogramo de lodo, es decir el cromo se concentra aproximadamente 30 veces al precipitar las

aguas de los baños de curtido. Por tal motivo recuperar el cromo es una muy buena alternativa debido a que trae beneficios económicos a la empresa por los costos de adquisición de este insumo.

Las recuperaciones de cromo se realizaron mediante dos métodos: lixiviación y calcinación/disolución, en la cual se obtuvo el sulfato básico de cromo III. Con el primer método (lixiviación) el sulfato de cromo III obtenido tenía una concentración de cromo de 7315,776 mg/L, mientras que con el segundo método (calcinación/disolución) el sulfato básico de cromo III obtenido tenía una concentración de cromo de 9693,396 mg/L, es decir se obtuvieron mejores resultados con el método de calcinación/disolución, debido a que al ser calcinado el lodo eliminó todo el contenido de agua y parte de la materia orgánica, por lo que al ser acidulado los lodos reaccionan directamente con el cromo.

Con el método de lixiviación se utilizó mayor cantidad de ácido para acidular a los lodos y llegar a un pH de 2.5 debido a que gran parte del ácido sulfúrico que se agrega se consume con la materia orgánica.

El sulfato básico de cromo III obtenido por lixiviación tenía una apariencia líquida de color verde oscuro mientras que sulfato básico de cromo III obtenido por calcinación/ disolución tenía una apariencia líquida de color verde claro esto es debido a que al calcinar el lodo se eliminan las impurezas en el lodo.

CAPÍTULO V

5 IMPLEMENTACION DEL PROYECTO

5.1 Propuesta para la solución del problema

Este estudio consistía en realizar un estudio comparativo entre el método de lixiviación y calcinación/disolución, para recuperar el cromo presente en el lodo que genera la PTAR. Los resultados muestran que estos dos métodos son muy eficientes a la hora de recuperar el cromo por lo que la implementación quedaría a consideración de la empresa o dependiendo su costo de inversión.

5.2 Costos implementación de la propuesta

A continuación, se detallan los costos de implementación de cada método de estudio

5.2.1 Implementación del método de lixiviación

Para recuperar el cromo presente en los lodos que generan la PTAR mediante el método de lixiviación, se requiere lo siguiente:

- Requerimientos de insumos

Tabla 1-5: Insumos requeridos para recuperar el cromo por lixiviación

INSUMO	FUNCIÓN
H ₂ SO ₄	Acidular los lodos de cromo
Cal P-24	Precipitar las aguas residuales del proceso de curtido
Floculante	Formar flóculos para el filtrado

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

Todos estos insumos necesitarán la empresa adquirir para recuperar el cromo de los lodos por el método de lixiviación.

- Requerimiento de materiales y equipo

Tabla 2-5: Materiales y equipo requeridos recuperar el cromo por lixiviación

MATERIALES Y EQUIPO	FUNCIÓN
Tanque Poliéster 200 litros	Acidular el cromo recuperado
Tanque Poliéster 200 litros	Almacenar el licor de cromo recuperado
Tanque de Poliéster 10 litros	Dosificador de H ₂ SO ₄ concentrado
pH metro	Medir el pH
Balanzas	Pesar productos químicos
Agitador industrial	Agitar la mezcla acido-lodo

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

- Requerimiento de equipos de protección personal

Tabla 3-5: Equipos de protección requeridos recuperar el cromo

EQUIPOS DE PROTECCIÓN	FUNCIÓN
Guantes de goma	Protección de manos
Lentes de seguridad	Protección de ojos
Máscara	Evitar inhalar gases
Overol	Protección del cuerpo
Botas	Protección de los pies

Realizado por: CAMACHO, Gonzalo

- Requerimiento de servicios básicos

Se requiere agua potable, energía eléctrica en este caso de que utilice equipos eléctricos

- Requerimiento de personal

Para la recuperación del cromo mediante este método no se necesita de personal debido a que todos los operarios que trabajan en la empresa tienen ardua experiencia en curtición, simplemente bastara una capacitación previa de la forma como se recupera el cromo mediante este método.

2.5.1.1 Costos de inversión

Para recuperar el cromo contenido en los lodos generados por la PTAR de la empresa Curtiduría Serrano, mediante el método de lixiviación con ácido sulfúrico. No se requiere una inversión elevada debido a que la empresa ya cuenta con gran parte de los materiales y equipos requeridos como son: balanzas, pH-metro, tanques, entre otros. Además, no necesitaría personal adicional debido a que cualquier operador que trabaja en la empresa podría realizar el proceso de recuperación de cromo, ya que cuentan con una ardua experiencia en el proceso de curtición.

La empresa únicamente debe invertir en la compra mensual de insumos que se requiere para el tratamiento de las aguas residuales e insumos para la recuperación del cromo.

Tabla 4-5: Costos de inversión para la implementación del método de lixiviación

INSUMOS	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
Cal P – 24	Kg	50	0,15	7,50
Floculante FLOC 6	Kg	10	0,30	3,00
H ₂ SO ₄	Kg	30	0,95	28,50
			Total	39,00

Fuente: Costos comerciales

Los precios de los insumos fueron tomados de la industria donde la empresa Curtiduría Serrano adquiere estos productos químicos, puesto que la Cal y el ácido sulfúrico también se utilizan en otros procesos productivos.

Con la inversión de 39,00 \$ mensuales se podrá recuperar el cromo presente en 3000 m³ de aguas residuales que se genera cada mes en la empresa. La inversión es sumamente económica por lo que es una alternativa viable, en el cual se obtendrá el sulfato de cromo III con una concentración de cromo de 7315,776 mg/L.

5.2.2 Implementación del método de calcinación/disolución

Para recuperar el cromo presente en el lodo que genera la PTAR mediante el método de calcinación/disolución es necesario los mismos requerimientos de insumos, equipos de protección personal, y de servicios básicos por lo que no hace falta volverlos a citar. En el requerimiento de

materiales y equipos lo único que difiere es que, en este caso hace falta hacer la adquisición de un horno calcinador.

5.2.2.1 Costos de inversión

A continuación, se detalla el costo de inversión que necesitara la empresa para recuperar el cromo mediante este método.

Tabla 5-5: Costos de equipos de calcinación

EQUIPO	COSTO TOTAL \$
Horno calcinador	10.000

Fuente: Costos Comerciales

Tabla 6-5: Costos insumos para la implementación del método de calcinación/disolución

INSUMOS	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
Cal P – 24	Kg	50	0,15	7,50
Floculante FLOC 6	Kg	10	0,30	3,00
H ₂ SO ₄	Kg	10.5	0,95	9,96
Agua	L	90	0,001	0,09
Diesel	Gal	4	1,05	4,20
			Total	24,75

Fuente: Costos Comerciales

Tabla 7-5: Costos total para la implementación del método de calcinación/disolución

INSUMOS	COSTO \$
Horno calcinador	10.000
Insumos	24,75
Total	10.024,75

Fuente: Costos Comerciales

Para recuperar el cromo de los lodos por medio de este método la empresa debería hacer una inversión inicial de 10.024,29 \$, una vez adquirido el horno calcinador el gasto mensual para recuperar el cromo sera de 24,75\$, y asi se obtendra el sulfato de cromo III con una concentración de 9693,396 mg/L

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación y en base a los objetivos e hipótesis se puede concluir lo siguiente:

- Mediante el estudio comparativo de los métodos de lixiviación y calcinación/disolución se conoció la metodología que se emplea en cada método para recuperar el cromo de los lodos, además se estableció los pros y contras que tiene cada método.
- En la empresa Curtiduría Serrano la gestión actual que reciben los lodos que se generan en la PTAR de las aguas de curtido no es el adecuado debido a su procedencia y su alto contenido de cromo, por lo que los lodos al ser desechados generan un impacto negativo en el ambiente, contaminando así los sectores más aledaños a su disposición final.
- Mediante el análisis fisicoquímico realizado a los lodos que se generan en la planta de tratamiento de aguas residuales del proceso del curtido, se determinó la concentración de cromo mediante el método PNE/DEPEC/A/SM 3111B en la cual se obtuvo como resultado, que en un kilogramo de lodo se encuentran contenidos 15050.647 mg de cromo. En base a estos resultados podemos decir que la cantidad de cromo es 4,52 Kg en los 300Kg de lodo que se genera al mes, por lo que desechar toda esta cantidad de cromo al ambiente no es recomendable.
- La recuperación de cromo de los lodos se lo realizó a nivel de laboratorio mediante dos métodos el de lixiviación y calcinación/disolución, en el cual se obtuvo como producto final sulfato de básico de cromo III este es el agente que se utiliza para la curtición de pieles.
- El sulfato de básico de cromo III obtenido mediante los métodos de lixiviación y calcinación/disolución, es de forma líquida de un color verde, con una concentración de cromo de 7315,776 mg/L con el método de lixiviación y 9693,396 mg/L con el método de calcinación/disolución.
- Mediante la comparación de los resultados obtenidos se pudo notar que tiene mucha incidencia la forma del lodo (calcinado y húmedo), debido a que el lodo al ser calcinado elimina toda la cantidad de agua y parte de materia orgánica por lo que al adicionar el ácido

reacciona directamente con el cromo por tal motivo se obtiene mejores resultados en la recuperación del cromo.

- La decantación y filtración de los lodos acidulados no es necesaria realizarlos debido a que el CaSO_4 presente en la mezcla ácido-lodo es insoluble, por lo que no afecta en la calidad de cuero al momento de reutilizarlo el sulfato de cromo III recuperado. Además, filtrar a un pH de 2.5 sería muy peligroso y se necesitaría de un material especial que resista la corrosión.
- El método de lixiviación es el más factible para implementar la empresa, debido a que la metodología empleada es simple así que por lo tanto no se necesita de personal altamente capacitado, además no requiere de una inversión muy elevada, ya que la empresa cuenta con gran parte de los materiales y equipos que se emplea en la recuperación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa Curtiduría Serrano no desechar al ambiente los lodos que se generan en la PTAR del proceso de curtido sin un previo tratamiento por su alto contenido de cromo debido a que este residuo al entrar en contacto con la naturaleza pueda oxidarse el cromo en hexavalente.
- Se recomienda llevar puesto equipos de protección personal al momento de recuperar el
- cromo, debido a que se trabaja con ácidos, y el lodo desprende gran cantidad de gases.
- Se recomienda no calcinar el lodo a temperaturas muy elevadas debido a que el cromo III a partir de los 450 °C puede oxidarse a cromo VI, y por la peligrosidad que este represente es recomendable evitarlo.
- El método de lixiviación es el más recomendable para recuperar el cromo presente en los lodos, debido a que es el más simple económico y ecológico.
- Es recomendable capacitar al personal que labora en la empresa periódicamente para que los procesos productivos sean cada vez más limpios.

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL VELASTEGUÍ, Luisa. Análisis comparativo de la velocidad de degradación de cromo VI aplicando biorremediación en medios físicos diferentes: suelo y agua. (tesis). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Biotecnología Ambiental, Riobamba-Ecuador. 2016. pp. 5-12.

ALESSANDRELLO, Mauricio. Biotransformación de Cr(VI) mediada por las bacterias y su aplicación en sistema de tratamiento de aguas residuales industriales [En línea](tesis). (Doctoral) Universidad Nacional de Sarmiento, Buenos Aires-Argentina. 2015. pp. 14-17. [Consulta: 15 de octubre del 2016]. Disponible en:

http://www.ungs.edu.ar/ms_ungs/wpcontent/uploads/2015/05/Tesis_Alessandrello.pdf

ARIAS CEPEDA, William. Remoción de cromo (III) y de DQO atreves de la electrocoagulación en aguas residuales de la industria de curtiembre haciendo uso racional de la energía [En línea](tesis). (Maestría) Universidad Libre, Bogotá-Colombia. 2013. pp. 8-11. [Consulta: 12 de enero del 2017]. Disponible en:

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

CASADO, M., et al. *Operaciones Básicas de Laboratorio*. 1ª ed. Madrid-España: Ediciones Paraninfo, SA., 2012, pp. 54.

CASTAÑEDA BOCANEGRA, Jhon. Evaluación de los métodos de hidrometalurgia, pirometalurgia y estabilización solidificación en el tratamiento de lodos procedentes de plantas de aguas residuales de proceso de cromado [En línea](tesis). (Maestría) Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá-Colombia. 2015. pp. 8-58. [Consulta: 15 de octubre del 2016]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/52729/7/79832161.2015.pdf>

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANTERÍA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. *Guía técnica para la minimización de residuos en curtiembre*. Lima-Perú. 1993. pp.6-30. [Consulta: 15 de octubre del 2016]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/005340/005340.pdf>

COBBA, Nelson. *Activa química*. [Blog]. Hidrometalurgia: Etapas. [Consulta: 6 de febrero 2017]. Disponible en: <http://nelsoncobba.blogspot.com/2011/09/hidrometalurgia-etapas.html>

CHILE. COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial.* Santiago-Chile. 1999. pp.9-45. [Consulta: 15 de octubre del 2016]. Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-39927_recurso_1.pdf

CORREDOR, J. “El residuo líquido de las curtiembres estudio de caso: cuenca alta río Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadino* [en línea], 2006, (Colombia) 16(2), pp. 17-24. [Consulta: 10 de octubre del 2016]. ISSN 0124-8170. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91116203>

COULSON, J; & RICHARDSON, J. *Ingeniería Química: Operaciones Básicas.* 3ª ed. Barcelona-España: Reverté, S.A., 1991, pp. 481-483.

FALCON SUAREZ, Carlos Iván. *Laboratorista químico.* [Blog]. La mufla [Consulta: 6 de febrero 2017]. Disponible en: <http://estudiantesenlaboratoristaquimico.blogspot.com/2013/12/la-mufla.html>

FRISBIE, Sofia. *Calcinación.* [Blog]. Calcinación [Consulta: 6 de febrero 2017]. Disponible en: <http://calcinacion.blogspot.com>
http://ikee.lib.auth.gr/record/269296/files/C%2064%20Recovery%20Cr%20from%20tan_sludg-e-hydrometallurgy.pdf

GARCIA PANTOJA, Jenny & GUTIERREZ ROJAS, Janneth. Impacto ambiental generado en el proceso productivo de la empresa curtidos del oriente barrio San Benito Bogotá 2006. [En línea](tesis). (Pregrado) Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ciencias Empresariales, Escuela de Administración de Negocios, Bogotá-Colombia. 2006. pp. 19-29. Consulta 10 de diciembre 2016]. Disponible en: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/37857.pdf>

GUEVARA ZUMÁRRAGA, Diana. Biorremoción de cromo (cromo total y cromo VI) en agua sintética por dos inóculos bacterianos nativos compuestos, a escala de laboratorio [En línea](tesis). (Pregrado) Escuela Politécnica del ejército Departamento de Ciencias de la vida, Ingeniería en biotecnología, Sangolquí-Ecuador. 2010. pp. 3-10. [Consulta 5 de diciembre 2016]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2611/1/T-ESPE-030039.pdf>

GONZÁLEZ HIDALGO, Karen. Contenido de taninos presentes en la corteza de pino palo blanco (*pinus maximinoi H.E moore*), en función de dos etapas de crecimiento [En línea](tesis). (Pregrado) Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Guatemala-Guatemala. 2010. pp. 20-28. [Consulta 5 de diciembre 2016]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1167_Q.pdf

GORDILLO MORENO, Gabriel & TOLEDO DUQUE, Carlos. Técnicas Ambientales de producción más limpia en la Industria de Curtiembre. [En línea](tesis). (Pregrado) Universidad Central del Ecuador, Facultad en Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Escuela de Ingeniería Ambiental, Quito-Ecuador. 2013. pp. 6-21. [Consulta: 20 de diciembre del 2016]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1371/1/T-UCE-0012-249.pdf>

GUTIÉRREZ, J., et al. “Mecanismos de interacción con cromo y aplicaciones biotecnológicas en hongos”. *Revista latinoamericana de Biotecnología Ambiental* [en línea], 2010, (México) 1(1), pp. 48-49. [Consulta: 10 de noviembre 2016]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Fernandez22/publication/268576943_Mecanismos_de_interaccion_con_cromo_y_aplicaciones_biotecnologicas_en_hongos/links/5470e9950cf2d67fc034495b.pdf

HERNÁNDEZ AVEDAÑO, Pía. Estudio del equilibrio sólido-líquido de sistemas acuosos de minerales de cobre con agua de mar, aplicando a procesos de lixiviación [En línea](tesis). (Doctoral) Universidad de Antofagasta, Facultad de Ingeniería, Antofagasta-Chile. 2013. pp. 30-32. [Consulta 5 de diciembre 2016]. Disponible en: http://dspace2.conicyt.cl/bitstream/handle/10533/92255/HERNANDEZ_PIA_2622D.pdf?sequence=1

JORDÁN NÚÑEZ, Mario. Obtención de colágeno por hidrólisis alcalina enzimática del residuo de “wet blue” en el proceso de curtición. (tesis). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba-Ecuador. 2011. pp. 8-22

MARTINEZ CARTAGENA, Andrea. Validación de métodos analíticos por espectrometría para determinar sulfatos, cianuros y cromo hexavalente en aguas, suelos y lixiviados [En línea](tesis). (Pregrado) Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Quito-Ecuador. 2013. pp. 24-26. [Consulta: 10 de octubre del 2016]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/890/1/T-UCE-001725.pdf>

MOLINA, N., et al. “Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud”. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*. [en línea], 2010, (Colombia) 8(1), pp. 79-84. [Consulta: 15 noviembre 2016]. ISSN 1692-8415. Disponible en: <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/sv/article/viewFile/831/739>

ORTIZ PENAGOS, Nidia Elena. Recuperación y reutilización de cromo de las aguas residuales del proceso de curtido de curtiembres San Benito (Bogotá), mediante un proceso sostenible y viable tecnológicamente (tesis). (Maestría) Universidad de Manizales, Manizales-Colombia. 2013. pp.14-20

PANTAZOPOULOU, E., et al. *Recovery of chromium from tannery sludge using hydrometallurgy*. [En línea]. 2nd International Conference on Recycling and Reuse. Grecia. 2014. [Consulta: 15 de agosto 2016]. Disponible en: http://www.C64RecoveryCrfromtan_sludge-hydrometallurgy.pdf

PEREIRA MARTÍN, María. Toxicidad del cromo trivalente sobre el alga dictyosphaerium chlorelloides y su adaptación a ambientes acuáticos altamente contaminados con este estado de oxidación del metal pesado [En línea](tesis). (Doctoral) Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Veterinaria, Madrid-España. 2013. pp. 8-18 [consulta: 10 de octubre del 2016]. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/17865/1/T34128.pdf>

PORTILLA POZO, Álvaro. Análisis técnico ambiental del proceso de la Curtiduría Serrano de la ciudad de Ambato y diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales. (tesis). (Pregrado) Universidad Central del Ecuador, Facultad en Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Escuela de Ingeniería Ambiental, Quito-Ecuador. 2013. pp. 21-42.

PUENTE, Cesar. Reutilización del cromo residual proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la curtiembre El AL-CE. (tesis). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2010. pp. 1-40.

ROJAS AMAYA, Franklin. Estudio Económico-Financiero del aprovechamiento de las grasas extraídas del residuo del descarte “unche” derivado del proceso de curtición en el municipio de Villapinzon-Cundinamarca. [En línea](tesis). (Maestría) Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá-Colombia. 2010. pp. 30-38 [consulta: 30 de octubre del 2016]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3052/1/790655.2010.pdf>

RUIZ, María. *Hidrometalurgia*. [en línea]. Universidad de Concepción, Departamento de ingeniería metalúrgica. Concepción- Chile. 2013. pp. 1-20. [consulta: 30 de octubre del 2016]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/165289335/Libro-Hidrometalurgia-UDEC>

SILVA, J., et al. “Leaching behaviour of a galvanic sludge in sulphuric acid and amoniacal media”. *Journal of Hazardous Materials B121*. [en línea], 2005, (Portugal), pp. 195-202. [Consulta: 25de agosto 2016]. Disponible en: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1775/1/sdarticle8.pdf>

ŚWIERK, K., et al. “Investigation Heavy Metals leachind from Industrial Wasterwater Sludge”. *Polish J, Environ. Stud.* [en línea], 2007, (Polonia) 16(3), pp.447-441. [Consulta: 15 de agosto 2016]. Disponible en: <http://www.pjoes.com/pdf/16.3/447-451.pdf>

TAYUPANDA PAGALO, Segundo. Diseño de un sistema de tratamiento de agua residual del proceso de pelambre para su reutilización, Curtiembre Pieles “Puma”. [En línea](tesis). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba-Ecuador. 2010.pp. 14-38

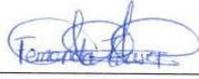
TÉLLEZ, J., et al. “Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización de cromo en el proceso productivo de curtiembres”. *Revista de la Facultad de medicina de la Universidad Nacional de Colombia* [en línea], 2004, (Colombia) 52(1), pp. 53-59. [Consulta: 1 noviembre2016]. ISSN 2357-3848. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/download/43297/44595>.

TISCAREÑO, Julio. *Hidrometalurgia*. [Blog]. Hidrometalurgia: Introducción. [Consulta: 6 de febrero 2017]. Disponible en: <http://hidrometalurgiasonmx.blogspot.com>

TREYBAL, R. *Operaciones de transferencia de masa*, 2a ed. Mc Graw Hill, 1980, pp.792-822.

ANEXOS

ANEXO A: Análisis fisicoquímico del agua residual del proceso de curtido

	UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN																
INFORME DE RESULTADOS AGUA																	
		Informe No: 17-09-08-A-1 Fecha: 2017-10-02															
Referencia:	OT-17-09-08-A																
Empresa:	CURTIDURÍA SERRANO																
Atención:	Ing. Gonzalo Camacho																
Dirección:	Ambato																
Tipo de ensayos:	Análisis fisicoquímicos																
Tipo de muestra:	AGUA																
Identificación de la muestra:	AGUA RESIDUAL DE CURTIDO																
Descripción de la Muestra:	Sin descripción específica																
Muestra tomada por:	El cliente																
Fecha de ingreso de muestra:	2017-09-22																
Código de la muestra:	OE-17-09-08-A-1																
Fecha de realización de ensayos:	2017-10-02																
<table border="1"><thead><tr><th>DETERMINACIÓN</th><th>UNIDAD</th><th>MÉTODO</th><th>RESULTADO</th><th>Incertidumbre U=± (K=2)</th><th>**Limite Max. Permisible</th></tr></thead><tbody><tr><td>CROMO*</td><td>mg/l</td><td>PNE/DPEC/A/SM 3111 B</td><td>341,056</td><td>-</td><td>-</td></tr></tbody></table>						DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre U=± (K=2)	**Limite Max. Permisible	CROMO*	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	341,056	-	-
DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre U=± (K=2)	**Limite Max. Permisible												
CROMO*	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	341,056	-	-												
Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE																	
Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.																	
Condiciones Ambientales: Humedad: 52,2 %; Temperatura: 16,7 °C																	
An: ABO Realizado por: VRT																	
Revisado por:			Aprobado por:														
 x Ing. Fernanda Toasa L.T. RESPONSABLE TÉCNICO			 Ing. Ghem Carvajal C. DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC														
ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.																	
Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolívia		Teléfono: 2904794 / 2544631, ext. 26		E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec													
MC2201-A01-8		QUITO - ECUADOR		Hoja 1 de 3													

ANEXO B: Análisis fisicoquímico de los lodos



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
SUELOS

Informe No: 17-09-09-A-1
Fecha: 2017-10-02

Referencia: OT-17-09-09-A
Empresa: CURTIDURÍA SERRANO
Atención: Ing. Gonzalo Camacho
Dirección: Ambato
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: LODO
Identificación de la muestra: LODO DE CROMO
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Muestra tomada por: El cliente
Fecha de ingreso de muestra: 2017-09-22
Código de la muestra: OE-17-09-09-A-1
Fecha de realización de ensayos: 2017-10-02

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre U=± (K=2)	**Limite Max. Permissible
CROMO*	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	15050,647	-	-

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados únicamente con la muestra entregada por el cliente al DPEC.

Condiciones Ambientales: Humedad: 52,2 %; Temperatura: 16,7 °C

An: ABO
Realizado Por: VRT

Revisado por:

x Ing. Fernanda Toasa L.T.
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por:

Ing. Ghem Carvajal C.
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
QUITO - ECUADOR

E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-A01-8

Hoja 1 de 1

ANEXO C: Lixiviación con ácido sulfúrico, parte 1

a



b.



c.



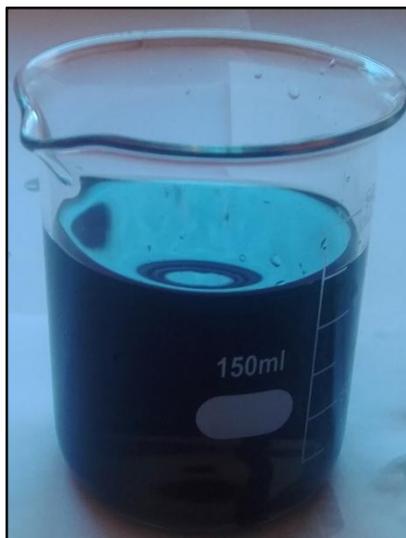
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Lixiviación con ácido sulfúrico		
a. Adición de ácido sulfúrico b. Lodos acidificados c. Decantación de la mezcla (acido-lodo)	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Gonzalo Camacho Borja	Lamina	Escala	Fecha
			1	A4	13/02/17

ANEXO D: Lixiviación con ácido sulfúrico, parte 2

a.



b.



c.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	Lixiviación con ácido sulfúrico		
a. Filtrado de la mezcla b. Sulfato de cromo III obtenido c. Residuo sólido insoluble (sulfato de calcio)	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Gonzalo Camacho Borja			
			Lamina	Escala	Fecha
			2	A4	13/02/17

ANEXO E: Calcinación/disolución del calcinado con ácido sulfúrico, parte 1

a



b.



c.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Gonzalo Camacho Borja	Calcinación/disolución del calcinado con ácido sulfúrico		
a. Lodo calcinado b. Acidulación del lodo calcinado c. Decantación de la mezcla	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado		Lamina 3	Escala A4	Fecha 13/02/17

ANEXO F: Calcinación/disolución del calcinado con ácido sulfúrico, parte 2

a



b.



c.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p align="center">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por: Gonzalo Camacho Borja</p>	<p align="center">Calcinación/disolución del calcinado con ácido sulfúrico</p>					
a. Filtración de la mezcla b. Sulfato de cromo III obtenido c. Residuo sólido	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado		<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1644 1321 1753 1353">Lamina</th> <th data-bbox="1760 1321 1906 1353">Escala</th> <th data-bbox="1912 1321 2056 1353">Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center" data-bbox="1644 1353 1753 1385">8</td> <td align="center" data-bbox="1760 1353 1906 1385">A4</td> <td align="center" data-bbox="1912 1353 2056 1385">13/02/17</td> </tr> </tbody> </table>	Lamina	Escala	Fecha	8	A4
Lamina	Escala	Fecha						
8	A4	13/02/17						

ANEXO G: Análisis del extracto de la prueba de lixiviación



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
AGUA

Informe No: 17-09-08-A-2
 Fecha: 2017-10-02

Referencia: OT-17-09-08-A
Empresa: CURTIDURÍA SERRANO
Atención: Ing. Gonzalo Camacho
Dirección: Ambato
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: AGUA
Identificación de la muestra: LODO HÚMEDO + ÁCIDO SULFÚRICO
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Muestra tomada por: El cliente
Fecha de ingreso de muestra: 2017-09-22
Código de la muestra: OE-17-09-08-A-2
Fecha de realización de ensayos: 2017-10-02

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre U=± (K=2)	**Limite Max. Permisible
CROMO*	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	7315,776	-	-

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.

Condiciones Ambientales: Humedad: 52,2 %; Temperatura: 16,7 °C

An: ABO
 Realizado por: VRT

Revisado por:

Victoria Salas
 x Ing. Fernanda Toasa L.T.
 RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por:



Fernanda Toasa
 x Ing. Ghem Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-A01-8

Hoja 2 de 3

ANEXO H: Análisis del extracto de la prueba de calcinación/disolución



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
AGUA

Informe No: 17-09-08-A-3
 Fecha: 2017-10-02

Referencia: OT-17-09-08-A
Empresa: CURTIDURÍA SERRANO
Atención: Ing. Gonzalo Camacho
Dirección: Ambato
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: AGUA
Identificación de la muestra: LODO SECO + ÁCIDO SULFÚRICO
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Muestra tomada por: El cliente
Fecha de ingreso de muestra: 2017-09-22
Código de la muestra: OE-17-09-08-A-3
Fecha de realización de ensayos: 2017-10-02

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre U=± (K=2)	**Limite Max. Permisible
CROMO*	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	9693,396	-	-

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.

Condiciones Ambientales: Humedad: 52,2 %; Temperatura: 16,7 °C

An: ABO
 Realizado por: VRT

Revisado por:

x Ing. Fernanda Toasa L.T.
 RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado por:



x Ing. Ghem Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia
 MC2201-A01-8

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

ANEXO I: Hoja de seguridad del hidróxido de calcio

 <p>CALIZAS HUAYCO S.A. "Calidad y economía para el Cliente"</p>	<h2 style="margin: 0;">FICHA TÉCNICA CAL P-24</h2>	Código: SI-FT-001
		Edición: 01
		Fecha:
		Página 1 de 1

DATOS DEL PRODUCTO	
Nombre del Producto	CAL P-24
Nombre Común	Cal apagada, Cal Hidratada.
Fórmula Química	Ca(OH) ₂
Nombre Químico	Hidróxido de Calcio
Registro Sanitario Unificado	No. 5858



COMPOSICIÓN QUÍMICA			
Óxido de Calcio Aprovechable : (CaO) (ASTM C-25)	60,00	%	Mínimo
Hidróxido de Calcio: Ca(OH) ₂ ; (CaO x 1.321)	79,00	%	Mínimo

ANÁLISIS TÍPICO		
Oxido de Silicio (SiO ₂)	3,97	%
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0,36	%
Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	0,23	%
Oxido de Calcio (CaO)	62,4	%
Hidróxido de Calcio (Ca(OH) ₂)	82,37	%
Oxido de Magnesio (MgO)	0,78	%
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	0,028	%
Oxido de Potasio (K ₂ O)	0,014	%

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS			
Retenido malla 230 (INEN 244)	6,5	%	Máximo
Densidad Aparente	0,5 - 0,6	gr/cm ³	Rango.

CARACTERÍSTICAS DEL EMPAQUE	
Envase	Bolsa de papel Kraft, 2 capas 95 gr/m ² .
Tipo	Multipliegos pegados y con válvula.
Capacidad	25 Kg. Aprox.

INFORMACIÓN ADICIONAL	
Descripción	Es un producto de uso múltiple a base de hidróxido de calcio, obtenido luego de un proceso de calcinación en un horno tipo vertical a 1200 °C. Es un polvo suave blanco o blanco grisáceo.
Usos y Aplicaciones	Sus principales usos son en la acuicultura, industria azucarera, curtiembres, agricultura, construcción de carreteras, sanidad urbana, sanidad animal.
Beneficios	Polvo de tamaño muy fino (partícula malla 230). Esto asegura un efecto inmediato de acción o corrección de parámetros en los diversos usos que se le da.
Presentación	Sacos de 25 kilos en envase doble de papel kraft. Al granel se vende por tonelada métrica.
Almacenamiento	Se recomienda que el sitio donde se almacene CAL P 24 sea fresco, seco, ventilado y bajo sombra. La rotación de los sacos en las bodegas no debe ser mayor de un año.

ANEXO J: Hoja de seguridad del ácido sulfúrico

Ultima Revisión:
09/03/2011

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

ACIDO SULFURICO



SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre del Producto: ACIDO SULFURICO
Sinónimos: Aceite de vitriolo, Acido para baterías, Sulfato de hidrógeno, Acido de decapado, Espiritus de Azufre, Acido electrolito, Sulfato de dihidrógeno
Fórmula: H2SO4
Número Interno: *****
Número UN: 1830 al 1832
Clase UN: 8
Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad: Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema, así como las de nuestros proveedores. La base de la información de este software fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad y por el personal de Brenntag Ecuador S.A.
Teléfonos de emergencia: Gye: (593)4 6023200 - Uio: (593)2 6023100 - Cel: (593)9 9769522

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

Usos: En la manufactura de fosfato y sulfato de amonio. Otros usos importantes incluye la producción de rayón y fibras textiles, pigmentos inorgánicos, explosivos, alcoholes, plásticos, tintas, drogas, detergentes sintéticos, caucho sintético y natural, pulpa, papel, celulosa y catalizadores. Es usado en la refinación del petróleo, acero y otros metales. En electroplateado y como reactivo de laboratorio.

COMPONENTES				
Nombre	CAS	TWA	STEL	%
Acido Sulfurico	7664-93-9	1 mg/m3	3 mg/m3	50-100

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

Apariencia: Líquido aceitoso incoloro. Peligro. Corrosivo. Higróscopico. Reacciona con el agua. Puede ocasionar daños en riñones y pulmones, en ocasiones ocasionando la muerte. Causa efectos fatales de acuerdo a estudios con animales de laboratorio. Peligro de cancer. Puede ser fatal si se inhala. Ocasiona severas irritaciones en ojos, piel, tracto respiratorio y tracto digestivo con posibles quemaduras.

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación: Irritación, quemaduras, dificultad respiratoria, tos y sofocación. Altas concentraciones del vapor pueden producir ulceración de nariz y garganta, edema pulmonar, espasmos y hasta la muerte.
Ingestión: Corrosivo. Quemaduras severas de boca y garganta, perforación del estómago y esófago, dificultad para comer, náuseas, sed, vómito con sangre y diarrea. En casos severos colapso y muerte. Durante la ingestión o el vómito se pueden broncoaspirar pequeñas cantidades de ácido que afecta los pulmones y ocasiona la muerte.
Piel: Quemaduras severas, profundas y dolorosas. Si son extensas pueden llevar a la muerte (shock circulatorio). Los daños dependen de la concentración de la solución de ácido sulfúrico y la duración de la exposición.
Ojos: Es corrosivo y puede causar severa irritación (enrojecimiento, inflamación y dolor) Soluciones muy concentradas producen lesiones irreversibles, opacidad total de la córnea y perforación del globo ocular.
Efectos crónicos: La repetida exposición a bajas concentraciones puede causar dermatitis. La exposición a altas concentraciones puede causar erosión dental y posibles trastornos respiratorios. El efecto crónico es la generación de cáncer.

SECCIÓN 4: PROCEDIMIENTOS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Evitar el método boca a boca. Mantener la víctima abrigada y en reposo. Buscar atención médica inmediatamente. Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua para diluir el ácido. No inducir el vómito. Si éste se presenta en forma natural, suministre más agua. Buscar atención médica inmediatamente.
Ingestión: Si éste se presenta en forma natural, suministre más agua. Buscar atención médica inmediatamente.
Piel: Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica inmediatamente.
Ojos: Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.
Nota para los médicos: Después de proporcionar los primeros auxilios, es indispensable la comunicación directa con un médico especialista en toxicología, que brinde información para el manejo médico de la persona afectada, con base en su estado, los síntomas existentes y las características de la sustancia química con la cual se tuvo contacto.

SECCIÓN 5: MEDIDAS EN CASO DE INCENDIO

Punto de inflamación (°C): N.A.
Temperatura de autoignición (°C): N.A.
Limites de inflamabilidad (%V/V): N.A.

BRENNTAG ECUADOR S.A

BRENNTAG ECUADOR S.A

BRENNTAG ECUADOR S.A

Peligros de incendio y/o explosión: No es inflamable, ni combustible, pero diluido y al contacto con metales produce hidrógeno el cual es altamente inflamable y explosivo. Puede encender materias combustibles finamente divididas. Durante un incendio se pueden producir humos tóxicos e irritantes. Los contenedores pueden explotar durante un incendio si están expuestos al fuego o por contacto con el agua por la alta liberación de calor.

Medios de extinción: Usar el agente de extinción según el tipo de incendio del alrededor. No use grandes corrientes de agua a presión. Use polvo químico seco, espuma tipo alcohol, dióxido de carbono.

Productos de la combustión: Dióxido de azufre y trióxido de azufre los cuales son irritantes y tóxicos.

Precauciones para evitar incendio y/o explosión: Mantener alejado de materiales combustibles finamente divididos y de metales. Evitar el contacto con agua porque genera calor. Mantener retirado de materiales incompatibles.

Instrucciones para combatir el fuego: Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Si usa agua (agua en forma de rocío) para apagar el fuego del alrededor evitar que haga contacto con el ácido. Mantenerse a favor del viento. Si es posible, retirarlo del fuego.

SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. Eliminar toda fuente de ignición. No tocar el material. Contener el derrame con diques hechos de arena, tierras diatomáceas, arcilla u otro material inerte para evitar que entre en alcantarillas, sótanos y corrientes de agua. No adicionar agua al ácido. Neutralizar lentamente, con ceniza de soda, cal u otra base. Después recoger los productos y depositar en contenedores con cierre hermético para su posterior disposición.

SECCIÓN 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Manejo: Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Evitar la formación de vapores o neblinas de ácido. Cuando diluya adicione el ácido al agua lentamente. Nunca realice la operación contraria porque puede reaccionar violentamente.

Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor, ignición y de la acción directa de los rayos solares. Separar de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente. No almacenar en contenedores metálicos. No fumar porque puede haberse acumulado hidrógeno en tanques metálicos que contengan ácido. Evitar el deterioro de los contenedores. Mantenerlos cerrados cuando no están en uso. Almacenar las menores cantidades posibles. Los contenedores vacíos deben ser separados. Inspeccionar regularmente la bodega para detectar posibles fugas o corrosión. El almacenamiento debe estar retirado de áreas de trabajo. El piso debe ser sellado para evitar la absorción. Los equipos eléctricos, de iluminación y ventilación deben ser resistentes a la corrosión. Disponer en el lugar de elementos para la atención de emergencias.

SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Controles de ingeniería: Ventilación local y general, para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional. Control exhaustivo de las condiciones de proceso. Debe disponerse de duchas y estaciones lavajos.

EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL:

Protección de los ojos y rostro: Gafas de seguridad para químicos con protección lateral y protector facial completo si el contacto directo con el producto es posible.

Protección de piel: Guantes, botas de caucho, ropa protectora de cloruro de polivinilo, nitrilo, butadieno, viton, neopreno/butilo, polietileno, teflón o caucho de butilo

Protección respiratoria: Respirador con filtro para vapores ácidos.

Protección en caso de emergencia: Respirador de acuerdo al nivel de exposición. Traje de caucho, nitrilo, butadieno, cloruro de polivinilo, polietileno, teflón, caucho de butilo, o vitón. En contracción no conocida use traje encapsulado.

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Apariencia, olor y estado físico: Líquido aceitoso incoloro o café. Inodoro, pero concentrado es sofocante e higroscópico.

Gravedad Específica (Agua=1): 1.84(98%), 1.4(50%).

Punto de Ebullición (°C): 274 (100%), 280(95%)

Punto de Fusión (°C): 3 (98%); -64(65%).

Densidad relativa del vapor (Aire=1): 3.4

Presión de vapor (mm Hg): Menor de 0.3 /25°C, 1.0 / 38°C

Viscosidad (cp): 21 / 25°C.

pH: 0.3 (Solución acuosa 1 N).

Solubilidad: Soluble en agua y alcohol etílico (descompone en este último).

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química: Descompone a 340°C en trióxido de azufre y agua. El producto reacciona violentamente con el agua, salpicando y liberando calor.

Condiciones a evitar: Calor, humedad, incompatibles.

Incompatibilidad con otros materiales: Reacciona vigorosamente en contacto con el agua. Es incompatible además con Carburos, cloratos, fulminatos, metales en polvo, sodio, fósforo, acetona, ácido nítrico, nitratos, picratos, acetatos, materias orgánicas, acrilonitrilo, soluciones alcalinas, percloratos, permanganatos, acetiluros, epíclorhidrina, anilina, etilendiamina, alcoholes con peróxido de hidrógeno, ácido clorosulfónico, ácido fluorhídrico, nitrometano, 4-nitrotolueno, óxido de fósforo, potasio, etilenglicol, isopreno, estireno.

Productos de descomposición peligrosos: Vapores Tóxicos de óxido de azufre cuando se calienta hasta la descomposición. Reacciona con el agua o vapor produciendo vapores tóxicos y corrosivos. Reacciona con carbonatos para generar gas dióxido de carbono y con cianuros y sulfuros para formar el venenoso gas cianuro de hidrógeno y sulfuro de hidrógeno respectivamente.

Polimerización peligrosa: No ocurre polimerización.

SECCIÓN 11: INFORMACION TOXICOLOGICA

Las propiedades toxicológicas son dadas para la sustancia pura. DL50 (oral, ratas)= 2140 mg/Kg. LC50 (inhalación, conejillo de indias) = 18 mg/m³. LC50/2H (inhalación, rata) = 510 mg/m³. LC50/2H (inhalación, ratón) = 320 mg/m³. El producto (forma de neblina) se ha clasificado como : cancerígeno humano categoría 1 (IARC); sospechoso como cancerígeno humano, grupo A2 (ACGIH), carcinógeno OSHA. Se reportan efectos teratógenicos y mutagénicos en animales de laboratorio. Se considera un irritante primario. No existe información disponible sobre efectos neurotóxicos y reproductivos.

SECCIÓN 12: INFORMACION ECOLOGICA

Perjudicial para todo tipo de animales Toxicidad acuática: LC50/48H(agua aireada, camarón)=80-90ppm/48h. Condiciones de bioensayo no especificada. CL50/48H Camarón adulto, agua salada=42.5-48 ppm. Condiciones de bioensayo no especificadas. En el agua el producto se disuelve rápidamente, produciendo una disminución de la viscosidad, facilitando su difusión en cuerpos de agua. A pH 6 y pH menor a 5, aumenta la concentración de iones calcio (provenientes de rocas y suelos). El ácido sulfúrico reacciona con el calcio y magnesio presentes para producir sulfatos. Es considerado tóxico para la vida acuática. En el suelo el producto puede disolver algunos minerales como calcio y magnesio, deteriorando las características de estos. En la atmósfera el producto puede removerse lentamente por deposición húmeda. En el aire puede ser removido por deposición en seco.

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES DE DISPOSICION

Neutralizar las sustancia con carbonato de sodio o cal apagada. Descargar los residuos de neutralización a la alcantarilla. Una alternativa de eliminación es considerar la técnica para cancerígenos, la cual consiste en hacer reaccionar dicromato de sodio con ácido sulfúrico concentrado (la reacción dura aproximadamente 1-2 días). Debe ser realizado por personal especializado. La incineración química en incinerador de doble cámara de combustión, con dispositivo para tratamiento de gases de chimenea es factible como alternativa para la eliminación del producto.

SECCIÓN 14: INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

Etiqueta negra y blanca de sustancia corrosiva. No transporte con sustancias explosivas, sustancias que en contacto con agua pueden desprender gases inflamables, sustancias comburentes, peróxidos orgánicos, materiales radiactivos, ni alimentos. Grupo de empaque: II.

SECCIÓN 15: INFORMACION REGLAMENTARIA

1. Ley 769/2002. Código Nacional de Tránsito Terrestre. Artículo 32: La carga de un vehículo debe estar debidamente empacada, rotulada, embalada y cubierta conforme a la normatividad técnica nacional. 2. Decreto 1609 del 31 de Julio de 2002, Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. 3. Ministerio de Transporte. Resolución número 3800 del 11 de diciembre de 1998. Por el cual se adopta el diseño y se establecen los mecanismos de distribución del formato único del manifiesto de carga. 4. Los residuos de esta sustancia están considerados en: Ministerio de Salud. Resolución 2309 de 1986, por la cual se hace necesario dictar normas especiales complementarias para la cumplida ejecución de las leyes que regulan los residuos sólidos y concretamente lo referente a residuos especiales. 5. Ministerio de Justicia. Ley 30 de 1986. Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Estupefacientes y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Justicia. Resolución 0009 del 18 de febrero de 1987. Consejo Nacional de Estupefacientes. Resolución No 0031 de junio 13 de 1991. Consejo Nacional de Estupefacientes. Resolución No 007 de 1992. Consejo Nacional de Estupefacientes. Resolución 0001 del 30 de enero de 1995 por el cual se adiciona la resolución 09 de 1987. Mediante las cuales se establecen regulaciones para aquellas sustancias que puedan utilizarse para el procesamiento de drogas que producen dependencia.

SECCIÓN 16: OTRAS INFORMACIONES

La información relacionada con este producto puede no ser válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular

Bibliografía